



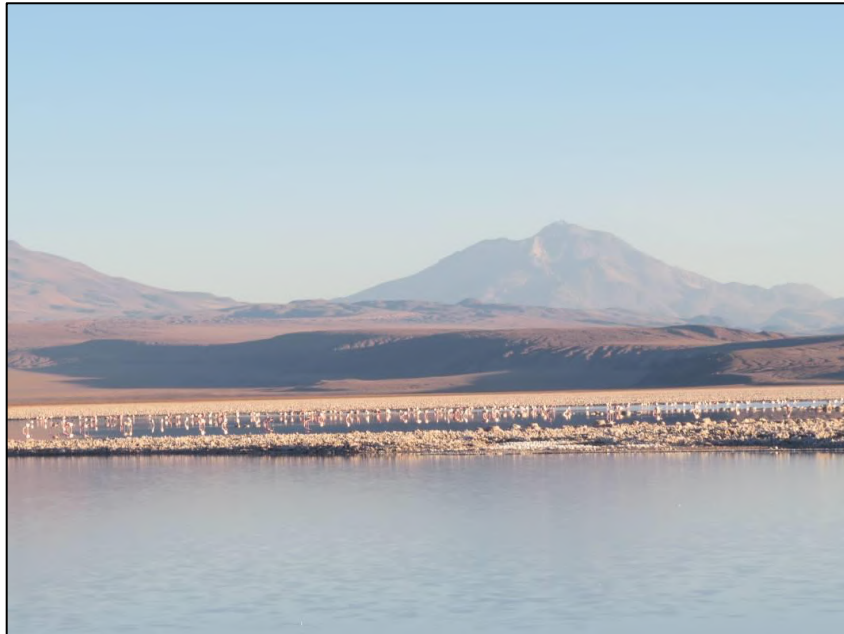
Plan de Seguimiento Ambiental Biótico – PMB

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

(RCA N°21/2016)”

Informe Semestral N°7

Monitoreo Invierno 2019



Región de Antofagasta

Noviembre de 2019

TABLA DE CONTENIDOS

1	RESUMEN	17
2	INTRODUCCION	38
3	OBJETIVO.....	44
4	ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME	44
5	FLORA Y VEGETACIÓN.....	45
5.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
5.1.1	Área de estudio	46
5.1.2	Ubicación de puntos y sectores de muestreo	49
5.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	57
5.1.4	Metodología de muestreo.....	57
5.1.5	Metodología de cálculo y análisis	58
5.1.6	Materiales y equipos utilizados.....	59
5.1.7	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	59
5.2	RESULTADOS	60
5.2.1	Resultados cobertura y vegetación (COT).....	60
5.2.2	Resultados flora y vegetación.....	76
5.2.3	Límites considerados en la evaluación de la Flora y Vegetación	93
6	FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES.....	94
6.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	95
6.1.1	Área de estudio	95
6.1.2	Ubicación de puntos muestreo	96
6.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	97
6.1.4	Metodología de muestreo, análisis y/o control.....	97
6.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	98
6.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	98
6.2	RESULTADOS	99
6.2.1	Resultados del monitoreo campaña de invierno 2019	99
6.2.2	Límites considerados en la evaluación	118
7	TAPETES MICROBIANOS.....	119
7.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	119
7.1.1	Área de Estudio.....	119

7.1.2	Estaciones de Monitoreo	120
7.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	121
7.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	122
7.1.5	Materiales y Equipos Utilizados.....	123
7.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	123
7.2	RESULTADOS	124
7.2.1	Campaña Invierno 2019.....	124
7.2.2	Límites Considerados en la evaluación de Tapetes Microbianos	161
8	SUELO O SUSTRATO	161
8.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	162
8.1.1	Área de estudio	162
8.1.2	Ubicación de puntos de muestreo	162
8.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	164
8.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	165
8.1.5	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	167
8.2	RESULTADOS	168
8.2.1	Resultados campaña de invierno 2019.....	168
8.2.2	Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato .	180
9	LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS).....	181
9.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	182
9.1.1	Área de estudio	182
9.1.2	Ubicación de puntos monitoreo	182
9.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	184
9.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	185
9.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	191
9.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	191
9.2	RESULTADOS	193
9.2.1	Caracterización del hábitat durante la campaña de invierno 2019	193
9.2.2	Resultados del muestreo campaña de invierno 2019 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)	198
9.2.3	Límites considerados en la evaluación de Limnología.....	219
10	AREA DE LAGUNAS	221

10.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	224
10.1.1 Área de estudio	224
10.1.2 Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua	226
10.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua	227
10.1.4 Metodología de muestreo y/o medición, análisis y control	227
10.1.5 Metodología de análisis de las imágenes satelitales para delimitación de cuerpos de agua	228
10.1.6 Materiales y equipos utilizados.....	240
10.1.7 Fechas de medición, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	240
10.2 RESULTADOS	240
10.2.1 Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....	240
10.2.2 Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar	242
10.2.3 Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua	245
11 NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS	246
11.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	246
11.1.1 Área de Estudio.....	246
11.1.2 Ubicación de Puntos de Monitoreo.....	248
11.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables	249
11.1.4 Metodología de Muestreo, Medición y Análisis.....	250
11.1.5 Materiales y Equipos utilizados	250
11.1.6 Fechas de medición, muestro y/o análisis.	251
11.2 RESULTADOS	252
11.2.1 Resultados de los registros Abril a Septiembre 2019.	252
11.2.2 Límites considerados para niveles freáticos	256
12 DISCUSIÓN	257
12.1 En relación con Flora y Vegetación.....	257
12.1.1 Análisis Vegetación (COT)	257
12.1.2 Análisis Flora y Vegetación (Transectas)	265
12.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres	274
12.2.1 Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres (análisis campañas invernales de 2016, 2017, 2018 y 2019)	274
12.2.2 Análisis por clase (campañas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019).....	281

12.2.3	Composición por ambiente (campañas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019)	282
12.2.4	Similitud (campañas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019)...	285
12.2.5	Abundancia y frecuencia (campañas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019)	287
12.2.6	Abundancia por ambiente (densidad, campañas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019).....	291
12.2.7	Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres	294
12.3	En relación con Tapetes Microbianos	313
12.3.1	Análisis y Evolución de Tapetes Microbianos por Sector.....	313
12.3.2	Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos 316	
12.3.3	Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas	332
12.4	En relación con Suelo o Sustrato	333
12.4.1	Análisis de resultados campaña invierno 2019.....	334
12.4.2	Análisis de la evolución de los parámetros del suelo (invierno 2016 – 2017, 2018 y 2019).....	354
12.5	En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos).....	394
12.5.1	En relación con Limnología Campaña Invierno 2019 (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos)	394
12.5.2	Calidad de agua y su evolución en el tiempo.....	397
12.5.3	Calidad de sedimentos y su evolución en el tiempo	404
12.5.4	Biota acuática y evolución en el tiempo.....	408
12.6	En relación con Área de Lagunas	428
12.6.1	Análisis de superficies por sector	428
12.6.2	Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....	436
12.6.3	Análisis de comparación con registros históricos de línea de base	436
12.7	En relación con Nivel Freático.	437
12.7.1	Análisis comparativo período Abril – Septiembre 2016, 2017, 2018, 2019.	438
12.7.2	Análisis comparativo abril-septiembre, en relación a los valores históricos.....	442
13	CONCLUSIONES	445
13.1	En relación con Flora y Vegetación	445
13.2	En relación con Fauna Vertebrados Terrestres	446
13.3	En relación con Tapetes Microbianos	449
13.4	En relación con Suelo o Sustrato	451
13.5	En relación con Limnología.....	455
13.6	En relación con Área de Lagunas	455

13.7	En relación con Niveles freáticos en Sector Lagunas	457
14	REFERENCIAS	458
14.1	Flora y Vegetación	458
14.2	Fauna Vertebrados Terrestres	460
14.3	Tapetes microbianos	466
14.4	Suelo o Sustrato.....	466
14.5	Limnología.....	467
14.6	En relación con Área de Lagunas	471
14.7	Nivel Freático en Lagunas	474
15	ANEXOS.....	474

FIGURAS

FIGURA N° 2-1. DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO DEL PLAN DE MANEJO BIÓTICO AREA NORTE: SECTOR SONCOR Y QUELANA; AREA SUR: SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA, PEINE Y TILOPOZO.....	39
FIGURA N° 5-1. ÁREA DE ESTUDIO VEGETACIÓN	48
FIGURA N° 5-2. LOCALIZACIÓN GENERAL DE TRANSECTAS DE MONITOREO DEL SUBCOMPONENTE BIÓTICO FLORA Y VEGETACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO, SALAR DE ATACAMA.....	56
FIGURA N° 5-3. DISTRIBUCIÓN DE FORMACIONES VEGETALES Y OTROS RECUBRIMIENTOS SEGÚN CARTA DE OCUPACIÓN DE TIERRAS (COT), EN LA ZONA NORTE DEL ÁREA DE ESTUDIO. INVIERNO DE 2019.....	65
FIGURA N° 5-4. 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 2019.	66
FIGURA N° 5-5. 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 2019.	67
FIGURA N° 5-6. COBERTURA ABSOLUTA DE LAS ESPECIES REGISTRADAS EN LAS TRANSECTAS DE MONITOREO 7, EN LA FORMACIÓN DE HERBAZAL DE <i>DISTICHLIS SPICATA</i>	82
FIGURA N° 5-7. COBERTURA ABSOLUTA DE LAS ESPECIES REGISTRADAS EN LAS TRANSECTAS DE MONITOREO 7, EN LA FORMACIÓN DE HERBAZAL DE <i>JUNCUS BALTICUS</i>	82
FIGURA N° 5-8. COBERTURA ABSOLUTA DE LAS ESPECIES REGISTRADAS EN LAS TRANSECTAS DE MONITOREO 7, EN LA FORMACIÓN DE HERBAZAL DE <i>SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS</i>	83
FIGURA N° 5-9. COBERTURA ABSOLUTA DE LAS ESPECIES REGISTRADAS EN LAS TRANSECTAS DE MONITOREO 7, EN LA FORMACIÓN DE HERBAZAL DE <i>TRIGLOCHIN CONCINNA</i>	83
FIGURA N° 5-10. COBERTURA ABSOLUTA DE LAS ESPECIES REGISTRADAS EN LAS TRANSECTAS DE MONITOREO 7, EN LA FORMACIÓN DE MATORRAL DE <i>SARCOCORNIA FRUTICOSA</i>	84
FIGURA N° 5-11. COBERTURA ABSOLUTA DE LAS ESPECIES REGISTRADAS EN LAS TRANSECTAS DE MONITOREO 7, EN LA FORMACIÓN DE MATORRAL DE <i>TESSARIA ABSINTHIOIDES</i>	84
FIGURA N° 6-1. ÁREA DE ESTUDIO SUBCOMPONENTE FAUNA DE VERTEBRADOS TERRESTRES, Y PUNTOS DE MUESTREO EN TRES SECTORES (LÍNEAS DISCONTINUAS).	95
FIGURA N° 6-2. FENOGRAMA DE SIMILITUD DE FAUNA POR AMBIENTES. INVIERNO 2019.	114
FIGURA N° 7-1. UBICACIÓN ESTACIONES DE MONITOREO, TAPETES MICROBIANOS.	121
FIGURA N° 7-2. NÚMERO DE CAPAS (\bar{x}) Y DISTRIBUCIÓN DE TAPETES MICROBIANOS, INVIERNO 2019.....	125
FIGURA N° 7-3. ESPESOR DE TAPETES MICROBIANOS (\bar{x}), INVIERNO 2019.....	126
FIGURA N° 7-4. 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 2019.	127
FIGURA N° 7-5. TIPOLOGÍAS DE TAPETES MICROBIANOS (%), POR ESTACIÓN DE MONITOREO EN LOS SECTORES PEINE, LA PUNTA-LA BRAVA Y TILOPOZO, INVIERNO 2019.	128
FIGURA N° 7-6. VARIABLES DE RELEVANCIA AMBIENTAL PARA LA CALIDAD DE AGUA, EN LOS SECTORES PEINE Y LA PUNTA-LA BRAVA. INVIERNO 2019.	157
FIGURA N° 8-1. LOCALIZACIÓN ORIGINAL Y FINAL DE CALICATAS DE MONITOREO DEL COMPONENTE FÍSICO – SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO, SALAR DE ATACAMA.....	164
FIGURA N° 9-1. UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO DE LIMNOLOGÍA; BIOTA ACUÁTICA, CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS, SALAR DE ATACAMA.....	184

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).	225
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 2019.	229
FIGURA N°10-3. IMAGEN LANDSAT 8 (BANDA 5) CORRESPONDIENTE AL CUADRANTE QUE INCLUYE EL ÁREA DE ESTUDIO EN INVIERNO 2019.	230
FIGURA N°10-4. MODELO CONCEPTUAL DE ÁRBOL DE DECISIONES USADO PARA LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE CUERPOS DE AGUA A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES.	232
FIGURA N°10-5. DIAGRAMA DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN Y DEPURACIÓN DE IMÁGENES FORMATO DE COBERTURA CONTINUA (<i>RASTER</i>) A POLÍGONOS (<i>SHAPE</i>).....	239
FIGURA N° 10-6. COBERTURA DE CUERPOS DE AGUA DETERMINADA A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES PLEIADES-1A (AR) Y LANDSAT 8 (L8) EN EL SISTEMA LAGUNAR LA PUNTA Y LA BRAVA, AGOSTO DE 2019.	243
FIGURA N° 10-7. COBERTURA DE CUERPOS DE AGUA DETERMINADA A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES PLEIADES 1A (AR) Y LANDSAT 8 (L8) EN EL SISTEMA LAGUNAR PEINE, AGOSTO DE 2019.	244
FIGURA N° 11-1. AREA DE ESTUDIO	247
FIGURA N° 11-2. PUNTOS DE MONITOREO EN SISTEMA LA PUNTA-LA BRAVA Y PEINE.....	249
FIGURA N° 11-3. VARIACIÓN DE NIVELES EN EL SISTEMA LAGUNAR LA PUNTA-LA BRAVA	255
FIGURA N° 11-4. VARIACIÓN DE NIVELES EN EL SISTEMA LAGUNAR PEINE.....	255
FIGURA N° 12-1. COBERTURA PROMEDIO DE OTROS RECUBRIMIENTOS POR FORMACIÓN VEGETAL EN LOS MONITOREOS DE INVIERNO.	271
FIGURA N° 12-2. TENDENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL PROMEDIO Y RIQUEZA POR SECTOR (INVIERNO 2019).	273
FIGURA N° 12-3. FENOGRAMA DE SIMILITUD DE FAUNA POR AMBIENTES (CAMPAÑAS INTEGRADAS INVERNALES DE 2016, 2017, 2018 y 2019).	286
FIGURA N° 12-4. 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 (CAMPAÑAS DE INVIERNO). LA LÍNEA PUNTEADA VERTICAL SEPARA LOS PERIODOS EN LÍNEA DE BASE Y MONITOREO.....	302
FIGURA N° 12-5. 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 (CAMPAÑAS DE MONITOREO INVERNALES). LA LÍNEA PUNTEADA VERTICAL SEPARA LOS PERIODOS EN LÍNEA DE BASE Y MONITOREO.	304
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 EL SISTEMA HIDROLÓGICO LA PUNTA Y LA BRAVA (CAMPAÑAS DE MONITOREO INVERNALES Y CAMPAÑA DE LÍNEA DE BASE). LA LÍNEA PUNTEADA VERTICAL SEPARA LOS PERIODOS EN LÍNEA DE BASE Y MONITOREO.	307
FIGURA N° 12-7. COMPARACIÓN DE ABUNDANCIA ABSOLUTA ENTRE LAS ESPECIES DE FLAMENCOS REGISTRADAS EN LOS SISTEMAS LAGUNARES DE LA PUNTA, LA BRAVA Y PEINE (CAMPAÑAS DE INVIERNO). LA LÍNEA PUNTEADA VERTICAL SEPARA EL PERIODO DE LÍNEA DE BASE Y MONITOREO.....	308
FIGURA N° 12-8. COMPARACIÓN DE ABUNDANCIA ABSOLUTA ENTRE LAS ESPECIES DE FLAMENCOS REGISTRADAS EN EL SISTEMA HIDROLÓGICO PEINE (CAMPAÑAS DE MONITOREO INVERNALES). LA LÍNEA PUNTEADA VERTICAL SEPARA LOS PERIODOS EN LÍNEA DE BASE Y MONITOREO.	309

FIGURA N° 12-9. COMPARACIÓN DE ABUNDANCIA ABSOLUTA ENTRE LAS ESPECIES DE FLAMENCOS REGISTRADAS EN EL SISTEMA HIDROLÓGICO DE LA PUNTA Y LA BRAVA (CAMPAÑAS DE MONITOREO INVERNALES). LA LÍNEA PUNTEADA VERTICAL SEPARA LOS PERIODOS EN LÍNEA DE BASE Y MONITOREO.	310
FIGURA N° 12-10. COMPARACIÓN DE ABUNDANCIA ABSOLUTA ENTRE LAS ESPECIES DE REPTILES REGISTRADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO (CAMPAÑAS DE MONITOREO INVERNALES). LOS VALORES SON EJEMPLARES CONTABILIZADOS EN 25 TRANSECTOS PARA CADA ESPECIE.	311
FIGURA N° 12-11. COMPARACIÓN DE ABUNDANCIA ABSOLUTA ENTRE LAS ESPECIES DE MICROMAMÍFEROS REGISTRADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO (CAMPAÑAS DE MONITOREO INVERNALES). LOS VALORES SON EJEMPLARES CAPTURADOS EN 9 PUNTOS DE MUESTREO (CON UN TOTAL DE 180 TRAMPAS POR 3 NOCHES).	312
FIGURA N° 12-12. NÚMERO DE CAPAS PROMEDIO DE TAPETES MICROBIANOS, EN LOS SECTORES PEINE Y LA PUNTA-LA BRAVA, INVIERNO 2016 A 2019.	314
FIGURA N° 12-13. NÚMERO DE CAPAS PROMEDIO DE TAPETES MICROBIANOS, POR ESTACIÓN DE MONITOREO, INVIERNO 2016 A 2019.	315
FIGURA N° 12-14. PROPORCIÓN DE TIPOLOGÍAS DE TAPETES EN EL SECTOR PEINE, INVIERNO 2016, 2017, 2018, 2019.	317
FIGURA N° 12-15. PROPORCIÓN DE TIPOLOGÍAS DE TAPETES EN EL SECTOR LA PUNTA-LA BRAVA, CAMPAÑAS DE INVIERNO 2016, 2017, 2018, 2019.	325
FIGURA N° 12-16. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{CM}$).	335
FIGURA N° 12-17. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA (%).	337
FIGURA N° 12-18. RESULTADOS DETERMINACIÓN PH.	339
FIGURA N° 12-19. RESULTADOS DETERMINACIÓN SALINIDAD (MG/KG.).	341
FIGURA N° 12-20. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA 5H (CM/H).	343
FIGURA N° 12-21. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO DISPONIBLE (MG/KG.).	345
FIGURA N° 12-22. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE POTASIO DISPONIBLE (MG/KG.).	347
FIGURA N° 12-23. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE (MG/KG.).	349
FIGURA N° 12-24. RESULTADOS DETERMINACIÓN HUMEDAD (%).	351
FIGURA N° 12-25. RESULTADOS DETERMINACIÓN NIVEL FREÁTICO (CM).	353
FIGURA N° 12-26. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{CM}$). LA PUNTA – LA BRAVA.	355
FIGURA N° 12-27. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{CM}$). PEINE.	356
FIGURA N° 12-28. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{CM}$). TILOPOZO.	357
FIGURA N° 12-29. RESULTADOS DETERMINACIÓN MATERIA ORGÁNICA (MG/KG.). LA PUNTA-LA BRAVA.	360
FIGURA N° 12-30. RESULTADOS DETERMINACIÓN MATERIA ORGÁNICA (MG/KG.). PEINE.	361
FIGURA N° 12-31. RESULTADOS DETERMINACIÓN MATERIA ORGÁNICA (MG/KG.). TILOPOZO.	362
FIGURA N° 12-32. RESULTADOS DETERMINACIÓN PH. LA PUNTA – LA BRAVA.	364
FIGURA N° 12-33. RESULTADOS DETERMINACIÓN PH. PEINE.	365
FIGURA N° 12-34. RESULTADOS DETERMINACIÓN PH. TILOPOZO.	366
FIGURA N° 12-35. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA 5H (CM/H). LA PUNTA – LA BRAVA.	368
FIGURA N° 12-36. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA 5H (CM/H). PEINE.	369
FIGURA N° 12-37. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA 5H (CM/H). TILOPOZO.	370
FIGURA N° 12-38. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO DISPONIBLE (MG/KG.). LA PUNTA Y LA BRAVA.	372
FIGURA N° 12-39. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO DISPONIBLE (MG/KG.). PEINE. ...	373
FIGURA N° 12-40. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO DISPONIBLE (MG/KG.). TILOPOZO.	374

FIGURA N° 12-41. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE POTASIO DISPONIBLE (MG/KG.). LA PUNTA – LA BRAVA.....	376
FIGURA N° 12-42. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE POTASIO DISPONIBLE (MG/KG.). PEINE.	377
FIGURA N° 12-43. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE POTASIO DISPONIBLE (MG/KG.). TILOPOZO. ..	378
FIGURA N° 12-44. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE (MG/KG.). LA PUNTA – LA BRAVA.....	380
FIGURA N° 12-45. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE (MG/KG.). PEINE.	381
FIGURA N° 12-46. RESULTADOS DETERMINACIÓN CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE (MG/KG.). TILOPOZO...	382
FIGURA N° 12-47. RESULTADOS DETERMINACIÓN HUMEDAD (%). LA PUNTA-LA BRAVA.	385
FIGURA N° 12-48. RESULTADOS DETERMINACIÓN HUMEDAD (%). PEINE.....	386
FIGURA N° 12-49. RESULTADOS DETERMINACIÓN HUMEDAD (%). TILOPOZO.	387
FIGURA N° 12-50. RESULTADOS DETERMINACIÓN SALINIDAD (MG/KG.). LA PUNTA – LA BRAVA.....	389
FIGURA N° 12-51. RESULTADOS DETERMINACIÓN SALINIDAD (MG/KG.). PEINE.	390
FIGURA N° 12-52. RESULTADOS DETERMINACIÓN SALINIDAD (MG/KG.). TILOPOZO.	391
FIGURA N° 12-53. RESULTADOS DETERMINACIÓN NIVEL FREÁTICO (CM.).	393
FIGURA N° 12-54. VARIACIÓN TEMPORAL PARA ALGUNOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA DEL SECTOR PEINE.	399
FIGURA N° 12-55. RANGOS DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA ALGUNOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA DEL SECTOR LA PUNTA – LA BRAVA.....	401
FIGURA N° 12-56. RANGOS DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA ALGUNOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA DEL SECTOR TILOPOZO.....	403
FIGURA N° 12-57. RANGOS DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE SEDIMENTOS DEL SECTOR PEINE.	405
FIGURA N° 12-58. RANGOS DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE SEDIMENTOS DEL SECTOR LA PUNTA – LA BRAVA.	406
FIGURA N° 12-59. RANGOS DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE SEDIMENTOS DEL SECTOR TILOPOZO.....	407
FIGURA N° 12-60. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA EL FITOBENTOS DEL SECTOR PEINE.	409
FIGURA N° 12-61. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA EL FITOBENTOS DEL SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA.	410
FIGURA N° 12-62. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA EL FITOBENTOS DEL SECTOR VEGAS DE TILOPOZO	411
FIGURA N° 12-63. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA EL FITOPLANCTON DEL SECTOR PEINE.....	413
FIGURA N° 12-64. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA EL FITOPLANCTON DEL SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA.	414
FIGURA N° 12-65. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL PARA EL FITOPLANCTON DEL SECTOR VEGAS DE TILOPOZO.....	415
FIGURA N° 12-66. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL DEL ZOOPLANCTON EN EL SECTOR PEINE	416
FIGURA N° 12-67. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL DEL ZOOPLANCTON EN EL SECTOR LA PUNTA – LA BRAVA.....	417
FIGURA N° 12-68. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL DEL ZOOPLANCTON EN EL SECTOR TILOPOZO.....	418
FIGURA N° 12-69. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL DEL ZOOBENTOS EN EL SECTOR PEINE	419
FIGURA N° 12-70. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL DEL ZOOBENTOS EN EL SECTOR LA PUNTA – LA BRAVA.	420
FIGURA N° 12-71. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL DEL ZOOBENTOS EN EL SECTOR TILOPOZO.....	421
FIGURA N° 12-72. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL DE LAS PLANTAS VASCULARES ACUÁTICAS EN EL SECTOR PEINE...	424
FIGURA N° 12-73. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL DE LAS PLANTAS VASCULARES ACUÁTICAS EN EL SECTOR LA PUNTA-LA BRAVA.	426
FIGURA N° 12-74. RANGO DE VARIACIÓN TEMPORAL DE LAS PLANTAS VASCULARES ACUÁTICAS EN EL SECTOR VEGAS DE TILOPOZO.....	427

FIGURA N°12-75. REGISTROS HISTÓRICOS Y SUPERFICIE DE LOS CUERPOS DE AGUA, SISTEMA LAGUNAR LA PUNTA Y LA BRAVA.....	428
FIGURA N° 12-76. REGISTROS DE SUPERFICIES LAGUNARES DE AGOSTO 2016 – 2017 – 2018 - 2019, SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA, A PARTIR DE IMÁGENES PLEIADES 1A.	430
FIGURA N°12-77. REGISTROS DE SUPERFICIES LAGUNARES DE AGOSTO 2016 – 2017 – 2018 - 2019, SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA, A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT 8.	431
FIGURA N°12-78. REGISTROS HISTÓRICOS Y SUPERFICIE DE LOS CUERPOS DE AGUA, SISTEMA LAGUNAR PEINE.	432
FIGURA N° 12-79. REGISTROS DE SUPERFICIES LAGUNARES DE AGOSTO 2016 – 2017 – 2018 - 2019, SECTOR PEINE, A PARTIR DE IMÁGENES PLEIADES 1A.....	434
FIGURA N°12-80. REGISTROS DE SUPERFICIES LAGUNARES DE AGOSTO 2016 – 2017 – 2018 - 2019, SECTOR PEINE, A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT 8.	435
FIGURA N° 12-81. VARIACIÓN DE NIVELES POZO BA-05 – SECTOR LP-LB	438
FIGURA N° 12-82. VARIACIÓN DE NIVELES POZO BA-07 – SECTOR LP-LB	439
FIGURA N° 12-83. VARIACIÓN DE NIVELES POZO BA-16 – SECTOR LP-LB	440
FIGURA N° 12-84. VARIACIÓN DE NIVELES POZO BA-21 – SECTOR PEINE	441
FIGURA N° 12-85. VARIACIÓN DE NIVELES POZO BA-22 – SECTOR PEINE	442

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.	40
TABLA N° 2-2. RESPONSABLES DE MEDICIONES, MUESTREO Y/O ANÁLISIS	41
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.	42
TABLA N° 5-1. PUNTOS DE VALIDACIÓN COT, CAMPAÑA DE INVIERNO 2019.	49
TABLA N° 5-2. COORDENADAS DE LAS TRANSECTAS DE MONITOREO DEL PLAN DE MANEJO BIÓTICO DEL SUBCOMPONENTE FLORA Y VEGETACIÓN, EN LOS SECTORES DE ESTUDIO.....	53
TABLA N° 5-3. REPRESENTATIVIDAD DE LOS RECUBRIMIENTOS DE SUELO EN LOS SECTORES DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO, INVIERNO DE 2019.....	62
TABLA N° 5-4. DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES VEGETALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO. INVIERNO 2019.	64
TABLA N° 5-5. TIPO DE VEGETACIÓN EN LAS TRANSECTAS DE MONITOREO.....	76
TABLA N° 5-6. RESUMEN DE LA VERIFICACIÓN COT Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LAS TRANSECTAS DE MONITOREO 7 (INVIERNO 2019), EN CADA SUBSECTOR.....	77
TABLA N° 5-7. RIQUEZA Y COBERTURA ABSOLUTA Y PROMEDIO DE LAS TRANSECTAS EN MONITOREO 7 (INVIERNO 2019).	87
TABLA N° 5-8. COBERTURA ABSOLUTA DE OTROS RECUBRIMIENTOS EN LAS TRANSECTAS DE MONITOREO 7 (INVIERNO 2019).....	90
TABLA N° 5-9. COBERTURA PROMEDIO Y RIQUEZA POR SUBSECTORES, EN MONITOREO 7 (INVIERNO 2019).	92
TABLA N° 5-10. COMPOSICIÓN DE ESPECIES VASCULARES POR SUBSECTORES, EN EL MONITOREO 7 (INVIERNO 2019). .	93
TABLA N° 6-1. PUNTOS DE MONITOREO DE FAUNA.....	96

TABLA N° 6-2. LISTA SISTEMÁTICA DE ESPECIES DE FAUNA REGISTRADAS EN LA SÉPTIMA CAMPAÑA DE MONITOREO (INVIERNO 2019). SE INDICA PRESENCIA (X) EN CADA SECTOR.....	100
TABLA N° 6-3. ESPECIES DE FAUNA REGISTRADAS POR AMBIENTE. (INVIERNO 2019).SE INDICA LA PRESENCIA (X) EN CADA AMBIENTE Y SECTOR.	112
TABLA N° 6-4. ABUNDANCIA Y FRECUENCIA ABSOLUTA Y RELATIVA (POR CLASE) DE FAUNA. (INVIERNO 2019).	116
TABLA N° 6-5. ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA (IDR) DE LOS MICROMAMÍFEROS TRAMPEADOS. (INVIERNO 2019).....	118
TABLA N° 7-1. ESTACIONES Y COORDENADAS DE MONITOREO, TAPETES MICROBIANOS, PMB.....	120
TABLA N° 7-2. PROPORCIÓN DE TAPETES EXPUESTOS Y SUMERGIDOS. INVIERNO 2019.....	124
TABLA N° 7-3. CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA TAPETES MICROBIANOS, INVIERNO 2019.	129
TABLA N° 7-4. CARACTERIZACIÓN DE LAS CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS EN LA ESTACIÓN DE MONITOREO S6-A. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).	131
TABLA N° 7-5. CARACTERIZACIÓN DE LAS CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS EN LA ESTACIÓN DE MONITOREO S-9. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).	132
TABLA N° 7-6. CARACTERIZACIÓN DE LAS CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS EN LA ESTACIÓN DE MONITOREO S-11. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).	133
TABLA N° 7-7. CARACTERIZACIÓN DE LAS CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS EN LA ESTACIÓN DE MONITOREO SA-25. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).	134
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).	135
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).	136
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).	136
TABLA N° 7-11. CARACTERIZACIÓN DE LAS CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS EN LA ESTACIÓN DE MONITOREO I-17. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).	137
TABLA N° 7-12. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 1, SECTOR PEINE. INVIERNO 2019.	138
TABLA N° 7-13. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 2, SECTOR PEINE. INVIERNO 2019.	140
TABLA N° 7-14. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 3, SECTOR PEINE. INVIERNO 2019.	141
TABLA N° 7-15. CARACTERIZACIÓN DE LAS CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS EN LA ESTACIÓN DE MONITOREO LP-23. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).....	143
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).....	144
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).....	145
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).....	146
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).....	146
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).....	148

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).....	149
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).....	150
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).....	151
TABLA N° 7-24. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 1, SECTOR LA PUNTA-LA BRAVA. INVIERNO 2019.	152
TABLA N° 7-25. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 2, SECTOR LA PUNTA-LA BRAVA. INVIERNO 2019.	153
TABLA N° 7-26. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES CAPAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 3, SECTOR LA PUNTA-LA BRAVA. INVIERNO 2019.	154
TABLA N° 7-27. REGISTRO DE MICROBIALITOS Y EVAPORITAS EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO, INVIERNO 2019. ...	154
TABLA N° 7-28. VARIABLES DE CALIDAD DE AGUA DE RELEVANCIA PARA TAPETES MICROBIANOS EN SECTORES PEINE Y LA PUNTA-LA BRAVA. INVIERNO 2019.	160
TABLA N° 7-29. VARIABLES DE CALIDAD DE SEDIMENTOS DE RELEVANCIA PARA TAPETES MICROBIANOS EN SECTORES PEINE Y LA PUNTA-LA BRAVA. INVIERNO 2019.....	160
TABLA N° 8-1. COORDENADAS UTM (DATUM WGS 84-HUSO 19S), ORIGINALES. POSICIÓN FINAL MONITOREO 6, PUNTOS DE MUESTREO SUELO	163
TABLA N° 8-2. PARÁMETROS MEDIDOS EN SUBCOMPONENTE SUELO.....	164
TABLA N° 8-3: PARÁMETROS EVALUADOS Y MÉTODO DE ANÁLISIS. COMPONENTE SUELO.	166
TABLA N° 8-4. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{S}/\text{CM}$). MONITOREO INVIERNO, 2019.	168
TABLA N° 8-5 . RESULTADOS ANÁLISIS LABORATORIO MATERIA ORGÁNICA (%). MONITOREO INVIERNO, 2019.	169
TABLA N° 8-6. PH. MONITOREO INVIERNO, 2019.	170
TABLA N° 8-7. RESULTADOS ANÁLISIS LABORATORIO SALINIDAD (MG/KG.). MONITOREO INVIERNO,.....	172
TABLA N° 8-8. RESULTADOS ANÁLISIS LABORATORIO CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (CM/HR). MONITOREO INVIERNO, 2019.	173
TABLA N° 8-9. RESULTADOS ANÁLISIS LABORATORIO NITRÓGENO DISPONIBLE (MG/KG). MONITOREO INVIERNO, 2019.	174
TABLA N° 8-10. RESULTADOS ANÁLISIS LABORATORIO POTASIO DISPONIBLE (MG/KG). MONITOREO INVIERNO, 2019.	175
TABLA N° 8-11. RESULTADOS ANÁLISIS LABORATORIO FÓSFORO DISPONIBLE (MG/KG). MONITOREO INVIERNO, 2019.	176
TABLA N° 8-12. RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO HUMEDAD (%). MONITOREO INVIERNO, 2019.....	177
TABLA N° 8-13: RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO TEXTURA. MONITOREO INVIERNO, 2019.....	179
TABLA N° 8-14: RESULTADOS PROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO (CM). MONITOREO INVIERNO, 2019.....	180
TABLA N° 9-1. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO POR SECTOR.	183
TABLA N° 9-2. METODOLOGÍAS Y UNIDADES ASOCIADAS A LOS ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA.	186
TABLA N° 9-3. METODOLOGÍAS Y UNIDADES ASOCIADAS A LOS ANÁLISIS DE CALIDAD DE SEDIMENTOS.....	187
TABLA N° 9-4. ESCALA DE TAMAÑO DE GRANO UTILIZADA EN BASE A WENTWORTH (1922).....	188
TABLA N° 9-5. RESUMEN DE METODOLOGÍAS DE MUESTREO DE COMPONENTES BIOLÓGICOS.	188
TABLA N° 9-6. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN <i>IN SITU</i> DE PARÁMETROS DEL AGUA	191
TABLA N° 9-7. MATERIALES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE BIOTA ACUÁTICA.....	191
TABLA N° 9-8. FECHAS DE MUESTREO DE CADA UNA DE LAS VARIABLES EVALUADAS.	192
TABLA N° 9-9. RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA EN EL SECTOR PEINE (INVIERNO 2019).....	198

TABLA N° 9-10. RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA EN EL SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA (INVIERNO 2019).....	199
TABLA N° 9-11. RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA EN EL SECTOR TILOPOZO (INVIERNO 2019).	201
TABLA N° 9-12. RESULTADOS DE CALIDAD DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR PEINE (INVIERNO 2019).	203
TABLA N° 9-13. RESULTADOS DE CALIDAD DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA (INVIERNO 2019). ..	203
TABLA N° 9-14. RESULTADOS DE CALIDAD DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR TILOPOZO (INVIERNO 2019).	204
TABLA N° 9-15. COMUNIDAD FITOBENTOS ABUNDANCIA Y RIQUEZA EN SECTOR PEINE. CAMPAÑA INVIERNO 2019....	206
TABLA N° 9-16. COMUNIDAD FITOBENTOS, ABUNDANCIA Y RIQUEZA EN SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA. CAMPAÑA INVIERNO 2019.	207
TABLA N° 9-17. COMUNIDAD FITOBENTOS, SECTOR TILOPOZO. CAMPAÑA INVIERNO 2019.	208
TABLA N° 9-18. COMUNIDAD FITOPLANCTON, ABUNDANCIA Y RIQUEZA EN SECTOR PEINE. CAMPAÑA INVIERNO 2019.	209
TABLA N° 9-19. COMUNIDAD FITOPLANCTON, ABUNDANCIA Y RIQUEZA EN SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA. CAMPAÑA INVIERNO 2019.	210
TABLA N° 9-20. COMUNIDAD FITOPLANCTON, ABUNDANCIA Y RIQUEZA EN SECTOR TILOPOZO. CAMPAÑA INVIERNO 2019.	211
TABLA N° 9-21. COMUNIDAD DE ZOOPLANCTON, ABUNDANCIA (IND/L) Y RIQUEZA EN EL SECTOR PEINE (INVIERNO 2019).	213
TABLA N° 9-22. COMUNIDAD DE ZOOPLANCTON, ABUNDANCIA (IND/L) Y RIQUEZA EN EL SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA (INVIERNO 2019).	214
TABLA N° 9-23. COMUNIDAD DE ZOOPLANCTON, ABUNDANCIA (IND/L) Y RIQUEZA EN EL SECTOR TILOPOZO (INVIERNO 2019).	215
TABLA N° 9-24. COMUNIDAD DE ZOOBENTOS, ABUNDANCIA (IND/M ²) Y RIQUEZA EN SECTOR PEINE (INVIERNO 2019).	216
TABLA N° 9-25. COMUNIDAD ZOOBENTOS, ABUNDANCIA (IND/M ²) Y RIQUEZA EN SECTOR LA PUNTA Y LA BRAVA (INVIERNO 2019).	217
TABLA N° 9-26. COMUNIDAD ZOOBENTOS, ABUNDANCIA (IND/M ²) Y RIQUEZA EN SECTOR TILOPOZO (INVIERNO 2019).	217
TABLA N° 9-27. PLANTAS VASCULARES ACUÁTICAS DETECTADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO. CAMPAÑA INVIERNO 2019 .	218
TABLA N° 9-28. COMUNIDAD DE PLANTAS VASCULARES ACUÁTICAS (% COBERTURA) EN EL ÁREA DE ESTUDIO. CAMPAÑA INVIERNO 2019.	219
TABLA N°10-1. RESUMEN DE COMPONENTES Y VARIABLES.....	222
TABLA N°10-2. IDENTIFICACIÓN DE INSTITUCIONES Y/O EQUIPOS DE TRABAJO ENCARGADA DE REALIZAR EL MUESTREO, MEDICIÓN, ANÁLISIS Y/O CONTROL.	222
TABLA N°10-3. NÚMERO DE PUNTOS DE MONITOREO CATASTRADOS EN LA CAMPAÑA DE INVIERNO 2019, 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.	226
TABLA N°10-4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SENSOR PLEIADES-1A.	228
TABLA N°10-5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BANDAS ESPECTRALES DE LA IMAGEN LANDSAT 8.....	230
TABLA N°10-6. 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 DE 2019.	236
TABLA N°10-7. 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, 2019.	241

TABLA N°10-8. VALIDACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE CUERPOS DE AGUA DESDE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 8: MATRIZ DE CONFUSIÓN Y EL ÍNDICE <i>KAPPA</i> POR SISTEMA LAGUNAR. AGOSTO, 2019.....	241
TABLA N° 10-9. RESULTADOS DE SUPERFICIES DE CUERPOS DE AGUA ESTIMADAS A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES PLEIADES 1A Y LANDSAT 8, A PARTIR DE DATOS OBTENIDOS EN AGOSTO DE 2019 (INVIERNO DE 2019).	243
TABLA N° 11-1. IDENTIFICACIÓN Y COORDENADAS DE PUNTOS DE MEDICIÓN DE NIVELES EN LAGUNAS	248
TABLA N° 11-2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	250
TABLA N° 11-3. FECHAS DE MEDICIÓN DEL AÑO	251
TABLA N° 11-4. RESULTADOS DE NIVELES FREÁTICOS SECTOR LA PUNTA-LA BRAVA.....	253
TABLA N° 11-5. RESULTADOS DE NIVELES FREÁTICOS SECTOR PEINE	254
TABLA N° 12-1. COMPARACIÓN DE SUPERFICIES POR RECUBRIMIENTO DE SUELO Y FORMACIONES VEGETALES EN EL MONITOREO DE INVIERNO 2019, MÉTODO COT, RESPECTO A LOS MONITOREOS DE INVIERNO 2018, 2017 Y 2016.	259
TABLA N° 12-2. VARIACIONES EN LA CANTIDAD Y TIPOLOGÍA DE FORMACIONES DESCRITAS POR CAMPAÑA.	264
TABLA N° 12-3. RANGOS DE VARIACIÓN DE SUPERFICIE RELATIVA POR TIPO DE VEGETACIÓN DESDE LA LÍNEA DE BASE HASTA EL MONITOREO DE INVIERNO DE 2019.	265
TABLA N° 12-4. LISTA SISTEMÁTICA DE ESPECIES DE FAUNA REGISTRADAS A LO LARGO DE LAS CUATRO CAMPAÑAS DE MONITOREO INVERNALES (2016, 2017, 2018 Y 2019). SE INDICA ADEMÁS, LA PRESENCIA (X) EN CADA SECTOR.	277
TABLA N° 12-5. ESPECIES DE FAUNA REGISTRADAS POR AMBIENTE. TOTAL ACUMULADO EN LAS CUATRO CAMPAÑAS DE MONITOREO INVERNALES (2016, 2017, 2018 Y 2019). SE INDICA LA PRESENCIA (X) EN CADA AMBIENTE Y SECTOR.	283
TABLA N° 12-6. ABUNDANCIA ABSOLUTA (AA) Y RELATIVA (AR) (POR CLASE) DE FAUNA. CAMPAÑAS DE MONITOREO DE INVIERNOS 2016, 2017, 2018 Y 2019.	288
TABLA N° 12-7. FRECUENCIA ABSOLUTA (FA) Y RELATIVA (FR) (POR CLASE) DE FAUNA. CAMPAÑAS DE MONITOREO DE INVIERNO 2016, 2017, 2018 Y 2019.	290
TABLA N° 12-8. ABUNDANCIA RELATIVA (IND/ TRANSECTO) DE REPTILES Y AVES, EN CADA AMBIENTE, EN LAS 4 CAMPAÑAS DE MONITOREO INVERNALES (2016, 2017, 2018 Y 2019).....	293
TABLA N° 12-9. ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA (IDR) DE LOS MICROMAMÍFEROS TRAMPEADOS. CAMPAÑAS DE MONITOREO DE INVIERNO 2016, 2017, 2018 Y 2019.	294
TABLA N° 12-10. COMPARACIÓN DE LA RIQUEZA DE ESPECIES (POR CLASE) ENTRE LAS CAMPAÑAS DE ESTUDIO DE LÍNEA BASE, CON LAS CAMPAÑAS DE INVIERNOS DE 2016, 2017, 2018 Y 2019.....	296
TABLA N° 12-11. COMPARACIÓN DE LA RIQUEZA Y COMPOSICIÓN DE AVES EN LOS SISTEMAS LAGUNARES DEL ÁREA DE ESTUDIO (LA PUNTA Y LA BRAVA, JUNTO CON PEINE) PARA LA CAMPAÑA HISTÓRICA DEL PMB (INVIERNO 2014), Y DEL MONITOREO (INVIERNOS 2016, 2017, 2018 Y 2019).	298
TABLA N° 12-12. COMPARACIÓN DE LA RIQUEZA Y COMPOSICIÓN DE REPTILES Y MAMÍFEROS EN EL ÁREA DE ESTUDIO, PARA LA CAMPAÑA HISTÓRICA DEL PMB (INVIERNO 2014), Y DEL MONITOREO (INVIERNOS 2016, 2017, 2018 Y 2019).....	299
TABLA N° 12-13. COMPARACIÓN DE LA ABUNDANCIA DE AVES EN LOS SISTEMAS LAGUNARES (LA PUNTA-LA BRAVA Y PEINE), PARA LOS PERIODOS INVERNALES DE LÍNEA DE BASE Y MONITOREO.	300
TABLA N° 12-14. COMPARACIÓN DE LA ABUNDANCIA DE AVES EN EL SISTEMA HIDROLÓGICO PEINE (LAGUNAS SALADA, SALADITA E INTERNA), PARA LOS PERIODOS DE LÍNEA DE BASE (INVIERNO 2014) Y MONITOREOS INVERNALES. ..	303
TABLA N° 12-15. COMPARACIÓN DE LA ABUNDANCIA DE AVES EN EL SISTEMA HIDROLÓGICO LA PUNTA Y LA BRAVA, PARA LOS PERIODOS DE LÍNEA DE BASE (INVIERNO 2014) Y MONITOREOS INVERNALES.....	306

TABLA N° 12-16. CARACTERIZACIÓN DE CAPAS PIGMENTADAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 1 EN LAGUNA SALADA, INVIERNOS 2016 A 2019.	318
TABLA N° 12-17. CARACTERIZACIÓN DE CAPAS PIGMENTADAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 1 EN LAGUNA SALADITA E INTERNA, INVIERNOS 2016 A 2019.	321
TABLA N° 12-18. CARACTERIZACIÓN DE CAPAS PIGMENTADAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 2 EN LAGUNA SALADA, SALADITA E INTERNA, INVIERNOS 2016 A 2019. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).	323
TABLA N° 12-19. CARACTERIZACIÓN DE CAPAS PIGMENTADAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 3 EN LAGUNAS SALADITA E INTERNA, INVIERNOS 2016 A 2019.	324
TABLA N° 12-20. CARACTERIZACIÓN DE CAPAS PIGMENTADAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 1 EN LAGUNA LA PUNTA, INVIERNOS 2016 A 2019.	326
TABLA N° 12-21. CARACTERIZACIÓN DE CAPAS PIGMENTADAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 1 EN LAGUNA LA BRAVA, INVIERNOS 2016 A 2019. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).....	327
TABLA N° 12-22 (CONT.). CARACTERIZACIÓN DE CAPAS PIGMENTADAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 1 EN LAGUNA LA BRAVA, INVIERNOS 2016 A 2019. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).	327
TABLA N° 12-23. CARACTERIZACIÓN DE CAPAS PIGMENTADAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 2 EN LAGUNAS LA PUNTA Y LA BRAVA, PARA LOS INVIERNOS 2016 A 2019. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).	329
TABLA N° 12-24. CARACTERIZACIÓN DE CAPAS PIGMENTADAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 3 EN LAGUNAS LA PUNTA Y LA BRAVA, INVIERNOS 2016 A 2019. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).	330
TABLA N° 12-25. CARACTERIZACIÓN DE CAPAS PIGMENTADAS DE TAPETES MICROBIANOS DE TIPOLOGÍA 2 EN EL SECTOR VEGAS DE TILOPOZO, INVIERNOS 2016 A 2019. (S/C: SIN CAPAS PIGMENTADAS).	330
TABLA N° 12-26. REGISTRO DE MICROBIALITOS Y EVAPORITAS EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO, INVIERNO 2016, 2017, 2018 Y 2019.	333
TABLA N° 12-27. RESUMEN DE ESPECIES DETECTADAS SECTORES PEINE, LA PUNTA, LA BRAVA Y VEGAS DE TILOPOZO EN LAS CAMPAÑAS DE INVIERNO 2016 (M1), 2017 (M3), 2018 (M5) Y 2019 (M7).	422
TABLA N° 12-28. COMPARACIÓN DE SUPERFICIES DE CUERPOS DE AGUA ESTIMADAS A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES (PLEIADES 1A Y LANDSAT 8) Y DATOS OBTENIDOS EN EL MONITOREO DE AGOSTO DE 2019 (INVIERNO), RESPECTO DE LOS REGISTROS DE LÍNEA DE BASE (ADENDA 5 RWL, 2015).	437
TABLA N° 12-29. VALORES MÍNIMOS Y PROMEDIO DE LA SERIE SECTOR LP-LB.....	443
TABLA N° 12-30. VALORES MÍNIMOS Y PROMEDIO DE LA SERIE - SECTOR PEINE	444

FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA N° 5-1. FISONOMÍA DE FORMACIONES VEGETALES DE TIPO ZONAL. INVIERNO 2019.....	69
FOTOGRAFÍA N° 5-2. FISONOMÍA DE FORMACIONES VEGETALES DE TIPO AZONAL EN INVIERNO 2019.	73
FOTOGRAFÍA N° 5-3. FISONOMÍA DE OTROS RECUBRIMIENTOS (SIN VEGETACIÓN) EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	75
FOTOGRAFÍA N° 5-4. VEGETACIÓN EN LAGUNAS AL NORTE DEL SECTOR SONCOR.	75
FOTOGRAFÍA N° 5-5. FISONOMÍA DE HERBAZAL DE <i>DISTICHLIS SPICATA</i> EN INVIERNO 2019, EN DISTINTAS TRANSECTAS DE ESTUDIO.....	79
FOTOGRAFÍA N° 5-6. FISONOMÍA DE HERBAZAL DE <i>SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS</i> EN INVIERNO 2019, EN TRANSECTAS DE ESTUDIO.	79
FOTOGRAFÍA N° 5-7. FISONOMÍA DE HERBAZAL DE <i>JUNCUS BALTICUS</i> EN INVIERNO 2019, EN TRANSECTAS DE ESTUDIO.	80
FOTOGRAFÍA N° 5-8. FISONOMÍA DE HERBAZAL DE <i>TRIGLOCHIN CONCINNA</i> EN INVIERNO 2019, EN TRANSECTAS DE ESTUDIO.....	80
FOTOGRAFÍA N° 5-9. FISONOMÍA DE MATORRAL DE <i>SARCOCORNIA FRUTICOSA</i> EN INVIERNO 2019, EN TRANSECTAS DE ESTUDIO.....	80
FOTOGRAFÍA N° 5-10. FISONOMÍA DE MATORRAL DE <i>TESSARIA ABSINTHIOIDES</i> EN INVIERNO 2019, EN TRANSECTAS DE ESTUDIO.....	81
FOTOGRAFÍA N° 6-1. REPTILES DEL ÁREA DE ESTUDIO: LAGARTIJA DE FABIÁN (ARRIBA), LAGARTIJA DE CONSTANZA (ABAJO).	105
FOTOGRAFÍA N° 6-2. AVES DEL ÁREA DE ESTUDIO: PLAYERO DE BAIRD (SUPERIOR, IZQUIERDA), GARZA AZUL (SUPERIOR, DERECHA), CHORLO DE LA PUNA (ABAJO, IZQUIERDA) Y CAITÍ (INFERIOR, DERECHA).	107
FOTOGRAFÍA N° 6-3. MACROMAMÍFERO EN EL ÁREA DE ESTUDIO: ZORRO CULPEO.....	109
FOTOGRAFÍA N° 6-4. MICROMAMÍFEROS DEL ÁREA DE ESTUDIO: LAUCHÓN OREJUDO AMARILLO (SUPERIOR), Y RATÓN ANDINO (INFERIOR).	110

1 RESUMEN

El presente informe corresponde al Reporte Semestral N°7 de Monitoreo del **Plan de Manejo Biótico (en adelante PMB)**, comprometido en el Proyecto “**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta**” de Albemarle 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 Plan de Seguimiento Biótico, a las componentes y subcomponentes definidas en el PMB (Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto).

El presente Informe, da cuenta del monitoreo de frecuencia semestral correspondiente a la estación de **Invierno 2019**, cuya campaña se desarrolló entre los días 27 de agosto al 07 de septiembre de 2019, constituyendo la séptima campaña semestral de monitoreo biótico del proyecto. En cuanto a niveles freáticos, estos se reportan mensualmente desde abril a septiembre de 2019.

Los componentes evaluados en esta campaña son Biotas, Suelo y Agua, pero se presentan para cada una de las **subcomponentes monitoreadas** un capítulo correspondiente a cada una de ellas. Sin perjuicio de lo anterior, se describen a continuación los principales y más relevantes resultados y conclusiones de la campaña de invierno 2019, Informe Semestral N°7 del Plan de Manejo Biótico - PMB, según las subcomponentes o variables comprometidas por RCA 021/16.

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.

El periodo reportado en el presente informe se enmarca entre los días 27 de agosto y 02 de septiembre de 2019, fechas en que se realizó la campaña estacional de invierno de 2019 (Monitoreo M7) para el seguimiento de la vegetación (COT) y flora (composición y cobertura a través de transectas).

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

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

Puntos”. La definición de puntos de transectas se realiza en levantamiento previo, 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 cuales la transecta del sector Soncor no fue realizada por malas condiciones en los caminos de acceso hacia ésta. Paralelamente, se realiza el monitoreo del **subcomponente vegetación**, a través de la medición del parámetro de distribución y cobertura de la vegetación azonal mediante el método de Carta de Ocupación de Tierras (COT).

En el monitoreo COT de invierno 2019, se mantiene la identificación de los tres tipos de recubrimiento de suelo (vegetación azonal, vegetación zonal y superficie sin vegetación), 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”, se mantiene también la misma representatividad que el invierno anterior 2018, de 8,7% con vegetación zonal y un 13,2% con vegetación azonal. La cantidad de las formaciones descritas por la COT inicial se ha mantenido similar (COT de LB; 2015), 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. 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 (13 formaciones en total).

Entre las formaciones más representativas, destacan igualmente las superficies de las formaciones registradas en invierno 2018. Los matorrales zonales con dominancia de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.626,8 ha (4,9%), concentrados en el sector de Peine. Por otra parte, en la vegetación azonal son más representativas las formaciones de vega con dominancia de *Distichlis spicata* con 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 ha (6,5%), distribuidos de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana.

La formación con mayor cantidad de unidades continúa correspondiendo a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (42 unidades) en referencia a COT previas (invierno 2018), 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.

En resumen para la COT invierno 2019, la cantidad de las formaciones descritas por la COT inicial (33 en línea de base 2015) se ha mantenido similar (34), 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 cuanto a las formaciones vegetales, el análisis de flora y vegetación indica que en el monitoreo de invierno 2019 (M7) se observan, en general, las mismas características de estructura de las formaciones, composición de especies dominantes y fisonomía en relación a monitoreos de invierno anteriores (M1, M3 y M5). Con respecto a las características físicas del suelo en donde se desarrollan estas formaciones vegetales, se presentan algunas diferencias en la humedad del suelo, observando mayor saturación en M7 en algunas transectas de las formaciones de herbazal de *D. spicata*, *S. californicus* y matorral de *S. fruticosa*, con respecto a M1 y M3, aunque menos variable con respecto a M5. Y en el caso del herbazal de *T. concinna*, se observó mayor saturación en M3 y M5 con respecto a M7. En cuanto a la salinidad, se observan mayores variaciones en algunas transectas, principalmente con menor salinidad en M7 con respecto a M1 y M3 en formaciones de *D. spicata* y *J. balticus*, aunque mayor respecto a M5. En la formación de *T. absinthioides* se observa mayor variación entre transectas, observando aumentos y disminuciones de los afloramientos salinos en M7 respecto a inviernos anteriores.

En relación a la **riqueza de especies**, éstas se mantienen en general constantes. La única mayor diferencia se observa desde el 2017, en la transecta T12 del subsector La Punta, donde en M1 se registraron tres especies, sin embargo a partir de dicha campaña, se ha registrado solo una especie en M3, M5 y M7.

Referente a la **composición y coberturas** registradas en la campaña de invierno 2019 (M7), 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 transectas (seis) definidas en esta formación. Por otra parte, las especies acompañantes *Baccharis juncea*, *Lycium humile*, *Nitrophila atacamensis* y *Puccinellia frigida* presentes en las transectas de distintas formaciones, en general, mantienen similares sus coberturas en M7 con respecto a monitoreos de invierno anteriores M1, M3 y M5, y puntualmente destacan algunas diferencias, pero manteniéndose dentro de la cobertura media registrada.

Respecto de la **cobertura absoluta por transecta**, en M7 los mayores valores se observan en el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, coincidente con los monitoreos anteriores. En cuanto a los valores de menor cobertura absoluta por transecta (menor al 10%), en M7 destacan tres transectas en herbazales de *Distichlis spicata*, una transecta en herbazal de *Juncus balticus*, dos transectas en matorral de *Tessaria absinthioides*, y una transecta en un

herbazal de *Triglochin concinna*. En general, la cobertura muerta (absoluta) se registra para todas las formaciones estudiadas, exceptuando una transecta en el herbazal de *S. californicus* (T19 en Tilopozo), y a la vez, en esta misma formación es donde se registra uno de los máximos de cobertura muerta absoluta, correspondiente a la transecta T03 en Peine (84,8%), valor asociado a los rastrojos evidentes que dejó la quema ocurrida en la temporada de 2018, que sin embargo, no significó una disminución de la cobertura vegetal de la formación, recuperándose su cobertura vegetal en M6 y M7 con registros similares a inviernos anteriores.

Con respecto a la **cobertura absoluta de otros recubrimientos**, en general no se observan mayores diferencias de coberturas al comparar los resultados de M7 con los monitoreos de invierno anteriores. Este recubrimiento es generalmente alto (>50%), exceptuando pocas transectas con valores entre 40 y 50% (T08, T20, T17 y T24). Por otro lado, destaca el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, como la única formación que presenta muy baja o nula cobertura de otros recubrimientos, con menos de un 1% de cobertura registrado en la transecta T01 en M1 y M7 (agua superficial) y en la transecta T04 en M1 y M5 (costra salina).

En los valores de **cobertura promedio por subsector**, en **Peine** correspondiente al subsector con mayor cobertura vegetal promedio, mantiene sus valores entre un 60 y 70% en todos los monitoreos de invierno, con el valor más bajo registrado en M1 (62,5%), en contraste con el **subsector La Punta y La Brava**, que presenta la menor cobertura promedio de 26,4% registrada en M7. En general se observan diferencias de cobertura entre monitoreos, pero no representan más del 10% entre ellas en todos los subsectores.

De acuerdo a los resultados del monitoreo de invierno 2019, se concluye **que el componente vegetación y flora se mantiene en sus condiciones generales en relación a su estructura y composición**, comparadas con la condición inicial del proyecto (MB0). Por otro lado, se refleja una variabilidad en las coberturas absolutas por transecta, donde las formaciones con mayor cobertura vegetal son las que se desarrollan en condiciones de mayor contenido de humedad con especies de carácter hidrófilo, principalmente los herbazales de *Schoenoplectus californicus* y formaciones cercanas a cuerpos de agua como matorrales de *Sarcocornia fruticosa* y un herbazal de *Triglochin concinna*, condición reflejada en todos los monitoreos de invierno.

Específicamente en M7, se observa una recuperación de la cobertura vegetal con respecto a lo registrado desde M1 a M5. Si bien en nueve transectas la cobertura en M7 es menor que M5 y registros previos, el aumento general en M7 refleja que el aporte de las precipitaciones ocurridas en el verano de 2019, incidió en una mayor actividad en la vegetación, observada principalmente en los herbazales de *D. spicata*.

En relación a la cobertura muerta, los mayores valores se registran en el herbazal de *S. californicus* (T01, T02 y T03 en Peine) y en un herbazal de *D. spicata* (T20 en Tilopozo). No obstante, esta cobertura muerta no afecta a la cobertura absoluta vegetal en la formación, registrando igualmente coberturas sobre el 100% en los herbazales de *S. californicus*. La

formación de *D. spicata* corresponde a una de las transectas con menor variación de cobertura vegetal desde MB0 con los monitoreos de invierno.

En relación con Fauna Vertebrados Terrestres:

La séptima campaña de monitoreo semestral de fauna vertebrada terrestre, invierno 2019, se realizó entre el 2 y 7 de septiembre de 2019, con un equipo integrado por 6 especialistas, divididos en 3 grupos. Se realizaron los mismos 25 puntos de muestreo de las campañas previas. Dentro de la componente de Fauna, se evalúan las aves acuáticas, aves terrestres, mamíferos, reptiles y anfibios.

Se registró una riqueza total de 26 especies, identificándose: 2 especies de reptiles, 18 especies de aves y 6 especies de mamíferos. Del total, 10 de estas especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación (de ellas, seis se consideran amenazadas). En detalle, estas especies en categoría de conservación corresponden a las dos especies de reptiles, cuatro especies de aves y cuatro especies de mamíferos.

En esta séptima campaña de invierno 2019 no se registraron nuevas especies de fauna.

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

En cuanto a la composición por ambientes, se destaca que los humedales registraron la mayor riqueza en los distintos grupos (reptiles, aves y mamíferos), variando entre 14 especies en el humedal pajonal de Tilopozo, a 12 especies en el humedal salar de La Punta y La Brava, y 11 especies en el humedal salar de Peine.

En una primera escala gruesa de comparación con la Línea de Base, las 39 especies registradas en total, considerando las cuatro campañas invernales de monitoreo, 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.

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 todo el monitoreo 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. Los valores de abundancia de esta campaña de invierno 2019, para reptiles, micromamíferos y para el total de aves son los máximos de todos los monitoreos invernales, lo que se explicaría en parte por el fuerte invierno altiplánico

ocurrido en el verano de 2019, que determinó una mayor cobertura vegetal, y por lo tanto, más recursos disponibles para la fauna (como alimento, refugio).

En particular, la composición de las especies y el patrón de dominancia numérica de los flamencos en los sistemas acuáticos se mantienen. Esto se cumple tanto para los sistemas lagunares considerados en conjunto, como para el Sistema Peine (el que aporta la mayor abundancia absoluta de aves, con centenares de ejemplares), en el que se observan mayores valores de abundancia en el monitoreo que en la Línea de Base. Por otra parte, analizando el sistema 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 todo el monitoreo que en la Línea de Base, las abundancias de aves acuáticas muestran resultados disímiles: son relativamente similares (o incluso mayores) en el monitoreo y la Línea de Base, pero no ocurre lo mismo en el caso particular de los flamencos, con menores valores de abundancia en todo el monitoreo que en la Línea de Base, lo que está dado particularmente por la parina chica.

En relación con Tapetes microbianos:

La presente **campana de invierno 2019**, caracteriza los tapetes microbianos, de los siguientes sistemas lagunares: Sector Peine conformada por la Laguna Salada, Laguna Saladita y Laguna Interna; Sector La Punta-La Brava conformado por las Laguna La Brava y Laguna La Punta y Sector vegas de Tilopozo. Para ello se realizó una campaña de monitoreo en invierno 2019 (3, 4 y 5 de septiembre de 2019), que corresponde al séptimo periodo de monitoreo semestral del subcomponente tapetes microbianos.

Los resultados del monitoreo invierno 2019, indican para este periodo la presencia de tapetes microbianos en 11 de los 16 puntos de monitoreo establecidos (68,8%).

Se observó tapetes con estructura de pigmentación en la que se distinguen tres macro-zonas (Tipología 1), tapetes con pigmentación conformada en dos macro-zonas (Tipología 2), y con sólo una macro-zona (Tipología 3). Los tapetes de Tipología 1, tanto en el Sector Peine como La Punta-La Brava, presentaron, en general, capas subsuperficiales frecuentemente de tonalidad verde y/o naranja, capas intermedias de tonalidad rosado y/o púrpura, y capas Profundas de tonalidad marrón y/o verde.

El espesor máximo de los tapetes observados fue 22 mm, registrado en el Sector Peine (I-17). Por otro lado, el mayor número de capas observado fue de 9, también en el Sector Peine (S-11).

La Tipología 2 (tapetes microbianos con dos macro-zonas) fue predominante en la campaña de invierno 2019. Según los grupos funcionales asociados a cada macrozona se pueden observar capas verdes (macro-zona Subsuperficial), que representarían microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos; capas rosado y púrpura (macro-zona Intermedia), que representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos; capas de coloración

marrón y en menor medida, púrpura (macro-zona Profunda), las cuales representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos.

En el Sector Peine, se destaca que la mayoría de los tapetes fueron superficiales planos con continuidad espacial en relación al área de punto de muestreo. En el sector La Punta-La Brava, se destaca la presencia de tapetes convexos de textura superficial coriácea, de consistencia blanda y a veces mucilaginoso de coloración naranja. El sector vegas de Tilopozo en la campaña invierno 2019, no registró presencia de tapetes microbianos.

A través de la identificación visual, se sugiere la presencia de evaporitas en La Punta (LP-24) y de microbialitos en La Punta y La Brava (LP-23, LB-1).

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia mayoritaria de Tipología 2, se puede indicar que las fluctuaciones de la conductividad, la salinidad, el oxígeno disuelto y la turbiedad en estos sistemas, producto de una mayor intensidad en las precipitaciones en el Salar de Atacama, ha provocado el anegamiento de las lagunas aumentando las salinidades, ha disminuido el oxígeno disuelto en Peine (Laguna Interna), y por otro lado se ha observado la disminución de los niveles hídricos y la retrotracción del espejo de agua en otros sectores (La Brava), cuyos efectos en su conjunto podrían estar afectando las tasas de fotosíntesis y la diversidad de tipologías de los tapetes microbianos.

Respecto a la **evolución histórica de los tapetes**, los cambios observados en las 4 campañas de invierno (2016 a 2019), se destacan los siguientes aspectos. Se detectó la presencia de las Tipologías 1, 2 y 3, tanto en el sector Peine como La Punta-La Brava. En esta última campaña, predominó la Tipología 2, a diferencia de las anteriores campañas de invierno donde predominó la Tipología 1.

El aumento de tapetes de Tipología 2, estaría relacionado directamente con la disminución de tapetes de Tipología 1, particularmente en las estaciones de monitoreo S-6A, S-9, SA-25, I-11 (Sector Peine) y LP-24, LB-1 y LB-2 (Sector La Punta-La Brava). Los tapetes de Tipología 2 al respecto, carecían de i) la zona Subsuperficial de tonalidad verde y/o naranja, o ii) de la zona Profunda de tonalidad marrón y/o verde. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estaba presente la zona Intermedia, de tonalidad rosada y/o púrpura.

Para el caso del sector vegas de Tilopozo, pese a que en el PMB no se incluyó la variable Tapetes, y que posteriormente fueron agregadas 3 estaciones de monitoreo, voluntariamente por parte del Titular, a fin de robustecer la caracterización de los sectores, sólo se ha evidenciado, hasta el momento, la presencia de tapetes microbianos en la campaña de invierno 2016, durante las campañas siguientes de invierno 2017, 2018 y 2019, no se han detectado tapetes en este sector.

Entre las campañas de invierno, se han distinguido principalmente 3 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, los cuales predominan en Laguna La Brava (LB-1); 3) Tapetes planos, de textura superficial mucilaginosa, consistencia blanda, granular, detectados especialmente en Laguna La Brava (LB-2). Estas morfologías, si bien se han mantenido entre campañas de invierno, han sido más frecuentes en 2017 y 2019.

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, en invierno 2016, 2017, 2018, y 2019, se sigue detectando la presencia de microbialitos en el Sector La Punta-La Brava, en la estación LB-1 y la estación LP-23. En cambio, para las evaporitas, se sugiere la presencia en invierno 2018 para el Sector Peine en Laguna Interna (I-11) y Sector La Punta-La Brava, Laguna La Punta (LP-24). En invierno 2019, se observó presencia de evaporitas solo en el Sector La Punta- La Brava (LP-24).

En relación Suelo o Sustrato:

El periodo reportado para la componente de Suelos (subcomponente sustrato), corresponde a la campaña realizada entre los días 29 agosto al 1 de septiembre de 2019, fechas entre las cuales se llevó a cabo el monitoreo semestral de invierno (M7) para esta componente.

Para el área de estudio se evaluaron 14 puntos de muestreo, con igual número de calicatas y dos muestras de suelo en cada una de ellas a profundidades diferentes. Las calicatas se confeccionaron en forma manual, y las muestras extraídas fueron etiquetadas y embaladas adecuadamente, siendo enviadas a laboratorio vía terrestre (Santiago) para los análisis de los parámetros requeridos (pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, salinidad, conductividad hidráulica (permeabilidad), nitrógeno, fósforo, potasio, humedad y textura).

El área de estudio comprende tres sectores:

- (i) Tilopozo, con los puntos de muestreo: S 1 (VT6)², S 2 (VT5), S 7 (VT1), S 8 (VT2), S 9 (VT3) y S 13 (VT4);
- (ii) Peine, se encuentran los puntos: S 10 (VTM1), S 11 (VB01), S 12 (VB02) y S 14 (VB03), y;
- (iii) La Punta-La Brava: los puntos S 3 (VLP3), S 4 (VLP2), S 5 (VLP1) y S 6 (VLB2).

Los suelos del área de estudio corresponden a entisoles, de texturas dominantes medias (**franca y franca limosa**), gruesas (**areno francosa**) y moderadamente gruesas (**franco arenosa**) con una menor participación los suelos de texturas muy finas (**arcillosa**).

En el sector **La Punta-La Brava** dominan los suelos **salinos**, luego los **ligeramente salinos** y con una participación muy escasa los **muy salinos**. En **Peine** los suelos dominante son los **salinos**, luego los **no salinos** y **muy salinos**, finalmente, los **ligeramente salinos**. En cambio, en **Tilopozo** los suelos dominantes son los **muy salinos**, luego los **ligeramente salinos**, **no salinos**, **salinos** y muy escasos los **extremadamente salinos**.

² Entre paréntesis se indica código original Punto Muestreo Suelos (PMB, 2015)

En el sector **La Punta-La Brava** en la totalidad de los puntos de muestreo la materia orgánica es muy alta. Mientras que, en **Peine** en la mayoría de los puntos el contenido de materia orgánica es **muy alto**, siendo escasos los contenidos **bajo** y **normal**, igual situación se presenta en **Tilopozo**, donde además de la categoría muy alta se presenta suelos con contenidos **bajo**, **normal** y **alto**.

En lo referente al pH, en **La Punta-La Brava** en la mayoría de los suelos éste es **moderadamente básico**, luego **ligeramente alcalino** y muy escasos aquellos donde éste es **alcalino**, al igual que en **Peine**, pero siendo mayoritarios los primeros. En cambio, en **Tilopozo** sólo se determinaron suelos **moderadamente básico** y **ligeramente alcalinos**.

En el área de estudio, la concentración de sales solubles es muy amplia, es así como en **La Punta-La Brava** varía entre 11.886 a 48.062 mg/kg. Mientras que, en **Peine** lo hace entre 7.614 a 45.796 mg/kg., y en **Tilopozo** fluctúa entre 4.596 a 93.267 mg/kg.

En relación a la permeabilidad, en el sector de **La Punta-La Brava** en la mayoría de los suelos ésta es **muy alta**, luego aquellos de velocidad **alta** y siendo muy escasos los suelos con permeabilidad **moderadamente alta**, situación similar se presenta en **Tilopozo**. En cambio, en **Peine** sólo se determinaron velocidades **muy alta** y **alta**.

Respecto a los macronutrientes, específicamente el nitrógeno, en **La Punta-la Brava** la concentración dominante en los suelos es **media** y escasa la **alta**. Mientras que, en **Peine** la mayoría de los suelos presenta categoría **media** y muy escasos aquellos donde ésta es **muy baja** y **alta**, y en **Tilopozo** son frecuentes en igual proporción los suelos con concentración **media** y **alta**. Mientras que, para el fósforo disponible, tanto en **La Punta-La Brava** como en **Tilopozo**, los suelos presentan concentraciones **muy baja** y con una menor frecuencia los suelos con contenido **medio** y **bajo**. En cambio en **Peine** los suelos pueden presentar concentraciones **media**, **muy baja**, **baja** y **alta** en **muy baja** frecuencia.

En relación al potasio, en la totalidad de los suelos de **La Punta-La Brava** la disponibilidad es **adecuada**, mientras que en **Peine** en la mayoría de los suelos ésta es **adecuada** y en un menor número **alta**, y en **Tilopozo** la disponibilidad es **alta** en casi la totalidad de los suelo, y muy escasos aquellos con disponibilidad **adecuada**.

En **La Punta-La Brava** la humedad varía entre 15,55 y 64,27%, en **Peine** fluctúa entre 5,3 y 67,08% y en **Tilopozo** ésta lo hace entre un 9,28 y 78,85%, para el área de estudio en la mayoría de los muestreos, el contenido de humedad es superior a 30%.

En la totalidad de los puntos del sector de **La Punta-La Brava** se detectó presencia de nivel freático a profundidad de trabajo, entre los 6 y 48 cm. de profundidad. Mientras que, en **Peine** sólo 2 puntos presentan esta condición (25 y 30 cm.) y en **Tilopozo** en la mitad de los puntos el nivel freático se presenta entre los 33 y 50 cm.

Comparando los resultados de la presente campaña de invierno (M7), con el resto de las campañas de invierno, se puede indicar que: En el sector **La Punta-La Brava**, la conductividad

eléctrica es muy variable en los monitoreos M1, M3 y M5, aun cuando los valores mayores y menores corresponden en general a los mismos puntos (S 6 y S 3), esta variación disminuye en M7. Sin embargo, las mayoría de los suelos son **no salinos** o **ligeramente salinos** y escasos los **muy salinos**. En cambio, en el sector de **Peine**, en la mayoría de los puntos de M1, se presenta una menor conductividad eléctrica respecto a los otros monitoreos, con un aumento en la mayoría de los puntos de M3 a M7. Dado las variaciones en la conductividad entre monitoreos, algunos puntos cambian de categoría, incluso en algunos de ellos puede involucrar hasta dos.

En el sector de **Tilopozo**, la conductividad eléctrica presenta una variación en términos numéricos, tanto entre los puntos como entre los monitoreos, destacando los puntos S 7-1 y S 2-1, los cuales presentan valores altos en la mayoría de los monitoreos, como también S 8-1, con los menores valores en los cuatro monitoreos.

Respecto a la materia orgánica en el sector **La Punta-La Brava**, se observa una disminución en algunos puntos (S 3-1, S 3-2 y S 6-1) para M3 y M5, y en los restantes, los porcentajes de materia orgánica son similares a M1, y en aquellos en los cuales se presenta una disminución ésta es mínima. Mientras que, en M7 en la totalidad de los muestreos los valores de materia orgánica son muy superiores a los observados en las anteriores evaluaciones.

En el sector de **Peine** en la mayoría de los puntos de muestreo de los monitoreos M3 y M5, se observa una fuerte disminución en los porcentajes de materia orgánica, excepto en el punto S 11, donde la concentración es similar o superior. En cambio, en M7 la totalidad de los puntos presenta un importante aumento en los porcentajes respecto a los monitoreos anteriores.

En el sector de **Tilopozo**, tanto en M3 como M5 en la mayoría de los puntos de muestreo se presenta un descenso en el porcentaje de materia orgánica, y en M7 se observa un fuerte aumento en todos los muestreos. Destacando en este sector, los puntos S 7-1, S 7-2, S 8-1 y S 8-2, donde la materia orgánica presenta los mayores porcentajes para todos los monitoreos.

Respecto al pH, en el sector de **La Punta- La Brava**, en M1 y M3 los valores son similares, observándose una acidificación del suelo en M5, para luego en M7 volver a valores similares a los dos primeros, este sector se caracteriza por presentar mayoritariamente un pH **moderadamente básico** a **ligeramente alcalino**.

En **Peine**, el pH presenta una variación numérica tanto entre los diferentes monitoreos, como entre los puntos de muestreo. Sin embargo, ésta es mínima en M2 y M3, respecto a M1, y se observa una acidificación de los suelos en M5 y en M7 vuelve a valores similares a los dos primeros, En general, el pH de los suelos **moderadamente básico** y en menor proporción a **ligeramente alcalino**, los suelos **alcalino** son muy escasos.

En el sector de **Tilopozo** los monitoreos M1 y M3, aun cuando presentan variaciones numéricas en el pH, estas no son significativas, por cuanto la mayoría de los puntos mantiene su categoría (**moderadamente básico y ligeramente alcalino**). En cambio, en M5 se observa una acidificación del suelo y en M7 aumentan los valores sin llegar a ser similares a los presentados en las 2 primeras evaluaciones invernales.

Respecto a la concentración de sales solubles, en el sector **La Punta-La Brava**, se observa un aumento a partir de M3 en la mayoría de los puntos, igual situación se presenta en **Peine** y **Tilopozo**, donde destacan algunos puntos con valores extremadamente alto en algunas evaluaciones.

En relación a 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 los suelos de **La Punta-La Brava**, el nitrógeno disponible en M1, M3 y M5 para la mayoría de los puntos es **muy baja** siendo similar en todos ellos, y en M7 la disponibilidad es **media** y **alta**, similar condición presentan los suelos en **Peine**, al igual que en **Tilopozo**.

La concentración de potasio para el sector **La Punta-La Brava**, es **alto** en la totalidad de los monitoreos, aun cuando se observan importantes variaciones en la concentración para los mismos puntos, en los diferentes monitoreos. En **Peine**, en M1 y M5 la concentración de potasio es similar, igual condición a la presentada por M3 y M7, en todas las evaluaciones los mayores valores corresponden a los mismos puntos. En el sector de **Tilopozo**, aun cuando los valores de potasio presentan un amplio rango de variación, en la totalidad de los puntos de M1, M3 y M5 la disponibilidad es alto, y en M7 sólo un punto es adecuado (S 8-2).

En lo referente al fósforo en **La Punta-La Brava**, la concentración de la mayoría de los puntos en M1 es **muy baja**, aumentando en M3 y disminuyendo en M5 y M7, pero a concentraciones mayores que las presentadas en el primer monitoreo, aun cuando en estos 2 últimos monitoreos no hay cambio en la categoría. Mientras que, en **Peine**, se observa un aumento en la concentración de fósforo en la mayoría de los puntos a partir de M3, siendo estos valores muy superiores a los determinados en M1, incluso en la mayoría de ellos la categoría aumenta.

En la mayoría de los puntos, en el sector de **Tilopozo**, se observa un aumento en la concentración de fósforo a partir de M3, alcanzando los más altos valores en M5 y presentando una leve disminución en M7.

En términos generales, la humedad de los suelos del área de estudio presenta una variación del porcentaje entre monitoreos como también entre los puntos, y no se observa una tendencia clara del comportamiento estacional.

Para el sector de **La Punta-La Brava**, en la mayoría de los puntos de muestreo de los monitoreos M3 y M5 se determinó un aumento en el contenido de humedad, excepto S 5-1 (M3) y S 6-1, S 6-2 para M5. Mientras que en M7, la mayoría de los puntos presentan valores inferiores a M3 y M5, e incluso a M1 (S 3-2, S 5-1 y S 5-2), no observándose una tendencia clara entre los monitoreos invernales.

Para el sector de **Peine**, en la mayoría de los puntos de los monitoreos M1, M3, M5 y M7, la humedad presenta un comportamiento similar en términos de porcentajes altos y bajos de humedad. En el sector de **Tilopozo**, en general tanto los puntos de mayor porcentaje de humedad como los de menor, corresponden a los mismos para todos los monitoreos, no observándose grandes variaciones, esto sugiere cierta estabilidad de la variable en este sector a lo largo de las evaluaciones.

En el área de estudio, en M1, M5 y M7 se detectaron 9 puntos de muestreo con el nivel freático a profundidad, disminuyendo a 8 para M3, observándose una variabilidad en la profundidad para todos los monitoreos.

En el sector de **La Punta-La Brava**, los puntos S 6, S 5 y S 3 presentan el agua a mayor profundidad en M7, respecto a los anteriores monitoreos y en S 4 presentó un ascenso en M7 respecto al último, pero sin alcanzar la profundidad de los primeros monitoreos.

En el sector de **Peine**, en la mitad de los puntos de muestreos, se determinó nivel freático a profundidad de trabajo, correspondiendo a S 14 y S 11, en el primero la profundidad permanece relativamente constante, y en S 11 la profundidad aumenta a partir de M5 en adelante.

En el sector de **Tilopozo** en la mitad de los puntos de muestreo se detectó la presencia de nivel freático. Destacando la ausencia en el punto S 9 para M3, la profundidad permanece constante en todos los monitoreos. Mientras que en S 8, se observa que el nivel freático es más superficial a partir de M3 aun cuando en M7 se observa una leve profundización, y en el punto S 13 ésta es variable.

En relación con Limnología:

El presente informe semestral de la componente limnología corresponde a la campaña de monitoreo invierno 2019. El área estudiada se encuentra dividida en tres sectores: Sector Peine, con seis estaciones; Sector La Punta-La Brava, con cinco estaciones; y Sector Tilopozo que presenta tres estaciones de monitoreo. Las variables del componente 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.

Respecto a la **calidad del agua** en el **Sector Peine** durante esta campaña de invierno de 2019, la conductividad mantuvo su incremento espacial desde laguna Salada hacia laguna Interna (que se ha observado en todas las campañas anteriores), alcanzando los 119.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-17 y correspondiente a una salinidad de 94 g/Kg (la más alta registrada para los monitoreos de invierno). Estos parámetros están asociados a las sales como cloruros y sulfatos, que muestran la misma tendencia de incrementarse hacia laguna Interna, acordes con el tipo de sedimentos de esta zona, ricos en sulfatos y yeso, dado por la cercanía de las lagunas al núcleo del salar. Ahora bien, los registros de calidad de agua para los inviernos de 2016, 2017, 2018 y 2019, mostraron que los parámetros de Conductividad, Salinidad y Cloruro, tuvieron valores por sobre el máximo registrado durante la Línea Base de invierno en este sector. Sin embargo, cabe mencionar que tales valores reportados son propios de lagunas salinas e hipersalinas y la gran mayoría de éstos son menores a los reportados durante las campañas de verano. Referente al pH, las lagunas del sector de Peine han presentado un marcado carácter básico en todas las campañas de invierno, con un pH mayor o igual a 8 en todos los registros, esto en concordancia con los altos valores de alcalinidad total registrados, observándose para estos parámetros una tendencia a disminuir desde laguna Salada hacia laguna Interna. En el caso del oxígeno disuelto, sus concentraciones están en su mayoría dentro de los valores de LB para todos los inviernos, mostrando una tendencia a disminuir desde laguna Salada hacia laguna Interna, lo cual está en coherencia con las altas salinidades y temperaturas registradas, que generan una menor solubilidad del oxígeno en el agua.

La calidad de agua en el **Sector La Punta - La Brava**, mostró que los registros de monitoreos de invierno estuvieron en algunos casos dentro, y otros fuera de los rangos de referencia determinados para este sistema (considera sólo los valores de LB de invierno). Para los parámetros de conductividad y salinidad, que se relacionan con la concentración de sales de cloruro y sulfato, se observó que en todas las estaciones los menores valores se registraron en invierno 2018 y los más altos en invierno 2019. En laguna La Brava, las estaciones LB-1 y LB-2 presentaron las más altas salinidades y conductividades del sector (máximo 87,2 g/Kg y 112.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente en LB-2). Por su parte, en la estación LB-3 ubicada en la desembocadura de un afluente de laguna La Brava, se registraron los menores valores y variación de estos parámetros que el resto de las estaciones (conductividad de 44.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y salinidad de 28,2 g/Kg en invierno 2019). En laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades altas (más bajas en invierno 2018 y máximas en invierno 2019), con valores para LP-23 y LP-24 de 54.860 y 55.470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de 36,1 y 36,5 g/Kg, respectivamente. Cabe mencionar que en todos los inviernos monitoreados hubo un marcado incremento en conductividad y salinidad desde la laguna La Punta hacia La Brava (exceptuando LB-3). Las temperaturas registradas en este sector muestran un incremento en todas las estaciones desde el invierno 2016 al 2019, junto con un incremento de las temperaturas desde La Punta hacia La Brava. En el sector se registraron valores alcalinos de pH, con valores principalmente entre 8 y 8,8 unidades. Respecto al oxígeno disuelto, este presentó concentraciones bajas cercanas a 4 mg/L (bajo el mínimo de la LB), excepto en la estación LB-3 en los inviernos de

2016 y 2018, donde sobrepasaron los 8 mg/L. Las concentraciones de clorofila “a” en este sistema fueron bajas, lo que se puede relacionar con la baja actividad fotosintética.

Los valores de calidad de agua obtenidos en el **Sector Tilopozo**, muestran un sistema mucho menos salino que los otros sectores monitoreados, con valores más bajos en conductividad (entre 4.148 y 4.690 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (2 a 3 g/Kg) y con un pH básico a neutro (9 a 6,7) durante las campañas de invierno, condición esperable dada las características de este sector de sistema de vegas y pozas, además de su lejanía del núcleo del salar. Las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden cada una a una poza con afloramiento de agua subterránea, y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad, que en la campaña de invierno 2019 se encontró sin agua, la cual no pudo ser muestreada. Las temperaturas en general han sido estables para las estaciones TB-1 y TB-3, las cuales fueron cercanas a 25°C, mientras que en la estación TB-2 ha ido disminuyendo la temperatura desde invierno 2016 a 2018.

Los resultados de **calidad de sedimentos** para el **Sector Peine**, muestran que los parámetros de carbono orgánico total (26,5 a 108,5 g/Kg), materia orgánica (4,57 a 18,71%), fósforo total (0,5 a 404,31 mg/Kg) y potencial redox (-442,2 y -182,6 mV) presentaron valores fuera del rango de LB para los monitoreos de invierno. La variación del carbono orgánico total y materia orgánica en los sedimentos podrían estar relacionados directamente con la actividad biológica, dada por la acumulación de subproductos orgánicos e inorgánicos que generan los microorganismos halofílicos. Aunque los sedimentos son relativamente ricos en materia orgánica, gran parte de esa materia orgánica es aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica. El potencial redox mostró valores de ambientes con características reductoras en todas las estaciones y monitoreos (entre -442,2 y -182,6 mV), registrándose valores menos negativos durante los monitoreos de invierno 2016 y 2018. 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.

La calidad de sedimentos para el **Sector La Punta - La Brava** muestran que los parámetros de carbono orgánico total (39,62 a 126,3 g/Kg) y materia orgánica (6,83 a 21,77%), han tenido valores sobre el máximo registrado para la LB en la mayoría de las estaciones durante todos los monitoreos de invierno. Por su parte el fósforo total tuvo valores elevados por sobre la LB principalmente en los monitoreos de invierno de 2018 y 2019, mientras que el nitrógeno total Kjeldahl presentó concentraciones elevadas por sobre la LB en los monitoreos de invierno 2016 y 2017. Por su parte, el potencial redox presentó características reductoras con valores negativos en todas las estaciones y monitoreos (-475,1 a -235,7 mV), registrándose valores menos negativos durante los monitoreos de invierno 2016 y 2018.

Cabe mencionar la LB para la calidad de sedimentos en Peine, La Punta y La Brava, corresponde tan solo a una campaña realizada en verano de 2015, no habiendo registros de LB en invierno. Tales valores de LB deben tomarse solo como un registro puntual,

considerando además, que los parámetros han mostrado durante los monitoreos del PMB desde invierno 2016, valores habitualmente fuera de ese rango de LB, evidenciando sedimentos ricos en fósforo y nitrógeno, con elevadas concentraciones de carbono orgánico y materia orgánica, junto con presentar ambientes de características reductoras.

La calidad de sedimentos en las estaciones del **Sector Tilopozo**, mostraron elevados valores para los parámetros de carbono orgánico total (1,6 a 288,5 g/Kg) y materia orgánica (0,28 y 49,74%), exceptuando en TB-2 en invierno 2017. También se registraron altos valores en fósforo total (sobre 392 mg/Kg), exceptuando en TB-1 en invierno 2016. El potencial óxido-reducción presentó valores negativos indicando características reductoras en todos los monitoreos de invierno. Cabe mencionar, que los registros de carbono orgánico total, materia orgánica y fósforo fueron variables en TB-2, lo que se relaciona con que esa estación se ubica en una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, el cual ha variado su condición hídrica (en la campaña de invierno 2019 se encontró sin agua). Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden principalmente a pozas de afloramiento subsuperficial de agua, de modo que tienden a ser más estables.

Respecto a los análisis granulométricos, éstos no se pudieron llevar a cabo en laboratorio debido a factores técnicos explicados por la ETFA encargada de realizar los análisis (ANAM S.A.). La entidad informó que las muestras de sedimento obtenidas, formaron una masa compacta al evaporar el contenido de agua a baja temperatura, imposibilitando la determinación del ensayo de Granulometría.

A continuación, se comentan las variables de riqueza y abundancia de las distintas comunidades del componente de **biota acuática**, para la campaña de invierno 2019 y en lo que respecta a la Línea Base y a la comparación entre campañas de monitoreo del mismo periodo estacional.

Las comunidades de microalgas, *Fitobentos* y *Fitoplancton*, presentaron riquezas dentro del rango establecido previamente en la Línea Base (campañas de invierno). No así en relación a la abundancia las que fueron considerablemente bajas en la actual campaña invierno 2019, respecto de la Línea Base y de campañas anteriores de monitoreo. Las fluctuaciones de la conductividad y la salinidad en estos sistemas, producto del aumento de las precipitaciones en el salar (2018 y 2019), sumado a la disminución de los niveles hídricos y la retrotracción del espejo de agua en algunos sectores (La Brava) y el anegamiento con altas salinidades en otros (Laguna Interna), podrían estar afectando las tasas de fotosíntesis y la diversidad microalgal, repercutiendo en las abundancias de estos componentes.

Cabe destacar que, en la actual campaña como en las anteriores, se reportó la alta frecuencia y dominancia de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas). En relación a los géneros frecuentes y dominantes históricamente reportados, éstos correspondieron a *Haloroundia*, *Halamphora*,

Navicymbula, *Cymbellonitschia*, *Nitzschia* y *Navicula* (de estas últimos géneros solo algunas especies), todos relacionados a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos. Además de la cianófita *Oscillatoria*.

En el **Sector Peine** para fitobentos y fitoplancton la riqueza en invierno 2019 fue similar y osciló dentro del rango de variación de la LB en períodos de invierno. No así en lo observado para las abundancias totales, las que fueron mucho menores en la actual campaña. Cabe destacar, que en el fitobentos se observó mayor abundancia total en la campaña de monitoreo de invierno 2017, en tanto para el fitoplancton, la campaña de Línea Base invierno 2008 presentó la mayor abundancia total. En general y en la campaña de invierno 2019, las mayores diversidades para fitobentos fueron detectadas en la Laguna Salada, en tanto, las menores en Laguna Interna. En cambio, en el fitoplancton las mayores diversidades se observaron en la Laguna Salada y menores en Interna.

En el **Sector La Punta - La Brava**, para el fitobentos y fitoplancton, la riqueza de géneros, en el contexto comparativo con la Línea Base (periodos de invierno), se observó registros similares de riqueza, en cambio, la abundancia presentó los menores valores en invierno 2019 respecto de la Línea Base y entre monitoreos de invierno. En general, las mayores diversidades de fitobentos y fitoplancton fueron detectadas en la Laguna La Punta, respecto de la Laguna La Brava.

El **Sector Vegas de Tilopozo** para fitobentos y fitoplancton no presenta antecedentes de Línea Base, por lo tanto su seguimiento y variación fue evaluada en relación a la campañas de monitoreo anterior considerando el mismo periodo estacional. Los registros de riqueza de géneros para fitobentos entre invierno 2016, 2017, 2018 y 2019 fueron similares, en cambio para las abundancias presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 y los menores en invierno 2019. En tanto, los registros de riqueza de géneros y la abundancia total para fitoplancton entre invierno 2016, 2017, 2018 y 2019 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016. Finalmente, en la campaña de invierno 2019, los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitobentos fueron similares entre la estación TB-1 y TB-3, en tanto para el fitoplancton fueron mayores en TB-3.

La comunidad de *zooplancton* en el **Sector Peine** durante los inviernos monitoreados, registró en general bajos valores de abundancia total, y riqueza dentro del rango establecido por la LB de invierno del PMB, exceptuando por las abundancias registradas en S-9 (laguna Salada) e I-17 (laguna Interna) durante el monitoreo de invierno 2017. Tales mayores abundancias totales, fueron dadas por el branquiópodo *Artemia franciscana*. Las riquezas de taxa en general han sido bajas en todos los monitoreos de invierno, con valores entre 1 y 4. Cabe mencionar, que en este sistema los zooplancteres más abundantes fueron copépodos Harpacticoidea y el branquiópodo *A. franciscana*. En el caso de esta última, se ha constatado 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.

Para la comunidad de zooplancton en el **Sector La Punta - La Brava**, también se registraron algunos valores de abundancia y riqueza fuera del rango establecido por la LB del PMB, observándose las mayores abundancias totales en LP-23 (La Punta) y LB-2 (La Brava) en invierno de 2017. En este sistema se observó que dominaron copépodos Harpacticoidea y secundariamente branquiópodos de la especie *Artemia franciscana* (conformado por larvas Nauplius y adulto), principalmente en invierno 2017, mientras que en el resto de monitoreos de invierno se registraron generalmente abundancias totales menores a 10 ind/L, principalmente en invierno 2019. Las riquezas de *taxa* en general han sido bajas en todos los monitoreos de invierno, con valores entre 1 y 5.

El **Sector Tilopozo** no posee registros en la LB, por lo que los resultados del componente zooplancton se compararon con las abundancias y riquezas registradas en el Plan de Manejo Biótico (solo inviernos). Las riquezas variaron entre 0 y 5 *taxa* y las mayores abundancias totales se registraron en invierno 2016 en TB-1 y TB-2, sin embargo, la mayoría de las abundancias totales fueron menores a 2,5 ind/L o cercanas a 0.

Respecto al *zoobentos*, en el **Sector Peine** se registró una riqueza que varió entre 0 y 5 *taxa*, con los valores menores registrados en invierno de 2018. Cabe mencionar que los *taxa* dominantes fueron los copépodos Harpacticoidea y los dípteros Ceratopogonidae. No se observa una relación de mayor o menor abundancia y riqueza en las estaciones, que pueda obedecer a variables de calidad de agua o sedimentos propios del lugar de muestreo. Las mayores abundancias totales se registraron en las lagunas Salada (S-9) y Saladita (S-10) principalmente durante el monitoreo de invierno 2017, mientras que las menores abundancias se registraron en invierno 2018 para esas lagunas.

En el **Sector La Punta - La Brava** se registró una riqueza de *zoobentos* con valores entre 0 y 6 *taxa*, con valores máximos principalmente en invierno 2016 y los mínimos en invierno 2019. Por su parte, la máxima abundancia total registrada fue en LB-1 (La Brava) en invierno 2018, sin embargo, en invierno 2017 se registraron altas abundancias totales en laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y en laguna La Brava (LB-1). Los *taxa* dominantes corresponden principalmente a Cochliopidae (*Heleobia* sp.) seguido por copépodos Harpacticoidea.

En el **Sector Tilopozo** para el componente *zoobentos*, se registraron riquezas que variaron entre 0 y 5 *taxa*, con el máximo registro en TB-2 en invierno 2018. Las mayores abundancias totales se registraron en invierno 2017 para TB-1, en invierno 2018 para TB-2 y en invierno 2019 para TB-3. Por su parte, en el monitoreo de invierno 2016 no se registró ocurrencia de *zoobentos* en la estación TB-1, mientras que en invierno 2017 las estaciones TB-2 y TB-3

estuvieron ausentes de organismos zoobentónicos. En este sector los organismos con mayor frecuencia fueron los gasterópodos Cochliopidae *Heleobia* sp y *Heleobia atacamensis*, los cuales se encontraron en las estaciones TB-1 y TB-3.

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.

Respecto de las *plantas vasculares acuáticas*, en los sectores evaluados, fueron detectadas 11 especies en invierno 2019, 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. Todas especies nativas, y la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación. Las especies detectadas correspondieron a las mismas detectadas en las campañas de invierno anteriores.

En las campañas de invierno LB y monitoreos PMB, los sectores evaluados presentaron baja riqueza de plantas acuáticas. Además, se observó entre los **Sectores 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 helófito emergente *S. fruticosa*, además de *P. frigida*, mientras que, *T. concinna* fue reportada en invierno 2018 y 2019 en las lagunas La Punta y La Brava. Cabe destacar que, en la laguna Interna del sector Peine en la Línea Base se observaron 3 especies, en tanto, en los monitoreos de invierno no se ha reportado plantas vasculares acuáticas.

En el **Sector Vegas de Tilopozo**, se detectó la hidrófito libre flotante *Zannichellia palustris* en altos porcentajes de cobertura. Otras especies detectadas, correspondieron a las helófitas emergentes *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus*, *Distichlis spicata* y *Baccharis* sp. Cabe destacar que, *Z. palustris* en invierno 2019 como en las campañas de invierno anteriores, 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.

En relación con Área de las 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 de 2019, específicamente en los meses de agosto y septiembre de 2019.

Las etapas metodológicas empleadas durante la campaña y análisis correspondieron a: i) Trabajo en terreno para revalidación estacional de puntos de monitoreo registrados en invierno de 2019 y anteriores, clasificando el recubrimiento de suelo en dichos puntos como “*cuerpos de agua*” u “*otros recubrimientos*”; ii) Obtención y procesamiento de las imágenes satelitales en forma paralela a las campañas de terreno; iii) Desarrollo y validación del modelo de clasificación supervisada, para determinar umbrales de clasificación de los parámetros espectrales NDWI, NDVI, NIR, Transformada *Tasseled Cap* “*Wetness*” y Algebra de bandas espectrales en alta resolución; seguido por una depuración cartográfica, obteniendo de esta forma las coberturas de lagunas por sector.

Los valores de ajuste en base al índice *Kappa*³ del sector de La Punta y La Brava presentan una concordancia de 0,66 desde alta resolución y de (0,54) desde media resolución para invierno de 2019. En tanto Peine presenta una concordancia de 0,83 desde alta resolución y de (0,79) para media resolución en la misma temporada. Lo anterior es congruente con los valores de precisión global⁴, que presentan rangos entre 0,93 y 0,84, desde alta resolución para Peine y La Punta y La Brava respectivamente; mientras que el rango para media resolución es de 0,91 para Peine y 0,76 para La Punta y La Brava. Todos los valores antes indicados indican una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado y muestra consistencia con el índice *Kappa*.

Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de alta resolución (Pleiades 1A) corresponden a: 52,8 ha en La Punta y La Brava y 86,7 ha en Peine.

Las superficies lagunares estimadas en el monitoreo desde imágenes de media resolución (Landsat 8) corresponden a: 53,8 ha en La Punta y La Brava y 85,1 ha en Peine.

En relación al análisis comparativo de las superficies con la línea de base, 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 coberturas están por sobre los registros mínimos de línea de base, donde las diferencias porcentuales se atribuyen principalmente a las variaciones estacionales intranuales e interanuales y a la fisonomía y dinámica de estos sistemas lagunares.

³ 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.

⁴ Este valor 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.e. 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.

En relación al análisis comparativo entre las imágenes satelitales, las diferencias entre las imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8 son atribuibles principalmente a la resolución espacial y, por ende, a la generalización de los datos validados en terreno en función del modelo de clasificación supervisada. La variación mayor se observa en el sistema lagunar de La Punta y La Brava, con una diferencia de superficie de 0,9 ha (+1,8%) de Landsat por sobre Pleiades; en tanto para el sector de Peine se observa una diferencia de -1,6 ha (-1,8%) de Landsat menor a Pleiades. No obstante, los resultados de los valores de ajuste para ambos tipos de imágenes son, en síntesis, considerables en ambos sectores.

En relación con los monitoreos de invierno desde imágenes de alta resolución, el sector de La Punta y La Brava presenta valores de superficie mayores en comparación con todos los inviernos anteriores, excepto al invierno de 2018. El sector de Peine presenta el mayor valor de superficies de invierno de todos los monitoreos realizados hasta ahora, lo que dice relación con el llenado esporádico de laguna Interna como efecto de la intensidad del recién pasado invierno altiplánico a inicios del presente año.

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 PMB, con una frecuencia de medición mensual, para el periodo comprendido en el semestre de **abril a septiembre 2019**.

La metodología continúa siendo la misma de los últimos 3 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 (barreno), que corresponde al collar del brocal del mismo. La obtención de la cota del nivel de agua en cada piezómetro, se obtiene restándole la profundidad medida a la cota de referencia del punto.

Para este semestre, se presentan registros de mayor frecuencia de medición, como una manera de robustecer el análisis, para los pozos que son parte del PAT Hídrico (PATH), es decir los barrenos BA-05, BA-07 y BA-16. En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, si bien éstos no son pozos puntos PATH, si son parte del seguimiento ambiental, razón por la cual se presenta una medición mensual para éstos. Lo anterior, se enmarca dentro de lo comprometido **para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH)**, específicamente lo estipulado en el Plan de Alerta Temprana Hídrico (PATH⁵).

⁵ El PATH (Plan de Alerta Temprana Hídrico), tiene por objetivo detectar anticipadamente (en el tiempo y en el espacio) desviaciones respecto de los pronósticos del comportamiento del componente hídrico que pudieren llegar a afectar los sistemas objeto de protección (cuerpos lagunares) y, activar las medidas preventivas necesarias para evitar efectos no previstos. Existen 3 sectores de alerta PATH: núcleo, acuífero y norte, los cuáles presentan diferentes condiciones de activación; entre ellas, para el PATH del sector norte, Albemarle se activa automáticamente si lo hace SQM.

Del monitoreo de niveles en los 5 puntos comprometidos como parte del PMB, en los Sistemas de Lagunas, se puede concluir que de los valores registrados para esta campaña, para el período abril-septiembre 2019, los valores registrados se encuentran por sobre los valores históricos y sólo un valor bajo éste, que se dio para el pozo BA-16 con un mínimo de 2.300,816 ms.n.m, registrado en la primera medida de abril 2019. Después de esta fecha, todos los niveles suben y vuelven a bajar, retomando el ciclo de invierno.

Para el **Sector La Punta-La Brava**, se tiene para pozo **BA-05**, se observan niveles de la campaña semestral N°7 todos por sobre el mínimo histórico. Se observan en general niveles similares a las de invierno 2017 y del orden y menores a los niveles del invierno 2018, con niveles mínimos registrados (2019) mas bajos que los mínimos de años anteriores (2016, 2017 y 2018), con un mínimo de 2.300,139 ms.n.m, registrado en la primera medida de abril 2019.

En el caso del pozo **BA-07** (mismo sector LP-LB), el cual se ubica en un borde de laguna, se observa un efecto de ascenso de nivel en este invierno 2019 que alcanza un máximo de 2300,098 ms.n.m en junio 2019, mas elevado que los inviernos anteriores y además una mayor diferencia de ascenso que el observado en los otros 2 pozos BA-05 y BA-16. En general, se puede observar que en el semestre (abril-sept 2019) se presentan niveles freáticos que cambian las tendencias de niveles de este pozo, a un comportamiento mas alto que los años anteriores y estable respecto de lo que se venía observando los años previos

Para el **Sector de Peine**, caracterizado por los pozos BA-21 y BA-22, se tiene para **BA-21**, ubicado en la zona medias de lagunas, considerando los valores mínimos de la serie, los registros indican para la temporada invierno 2019 valores mayores a éstos y mayores a los niveles medidos durante el invierno pasado 2018, registrando un máximo de 2300,162 ms.n.m en abril y mínimo de 2300,120 ms.n.m en agosto.

Para el pozo **BA-22**, la serie presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus niveles, mayores al mínimo histórico, con comportamiento para el semestre abril – sept 2019 de rango de valores similares a abril-septiembre 2018, pero menores niveles que los de invierno 2016 y 2017. Los últimos valores de niveles del pozo BA-22, se presentan muy estables, casi parejos con cota de 2300,292 ms.n.m para septiembre 2019.

2 INTRODUCCION

El presente informe corresponde al Reporte Semestral N°7 de Monitoreo del **Plan de Manejo Biótico (en adelante PMB)**, comprometido en el Proyecto “**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta**” de Albemarle Limitada⁶ (en adelante Albemarle o ALB), aprobado por Resolución de Calificación Ambiental (RCA) mediante **RCA N° 21 de fecha 20 de enero del 2016**.

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

El presente Informe, da cuenta del monitoreo de frecuencia semestral correspondiente a la estación de **Invierno 2019**, cuya campaña se desarrolló entre los días 27 de agosto al 07 de septiembre de 2019, constituyendo la séptima campaña semestral de monitoreo biológico del proyecto.

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 Biotas, Agua y Suelo del proyecto.

El área de estudio definida para el seguimiento del PMB se presenta en la **Figura N° 2-1**, e 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):

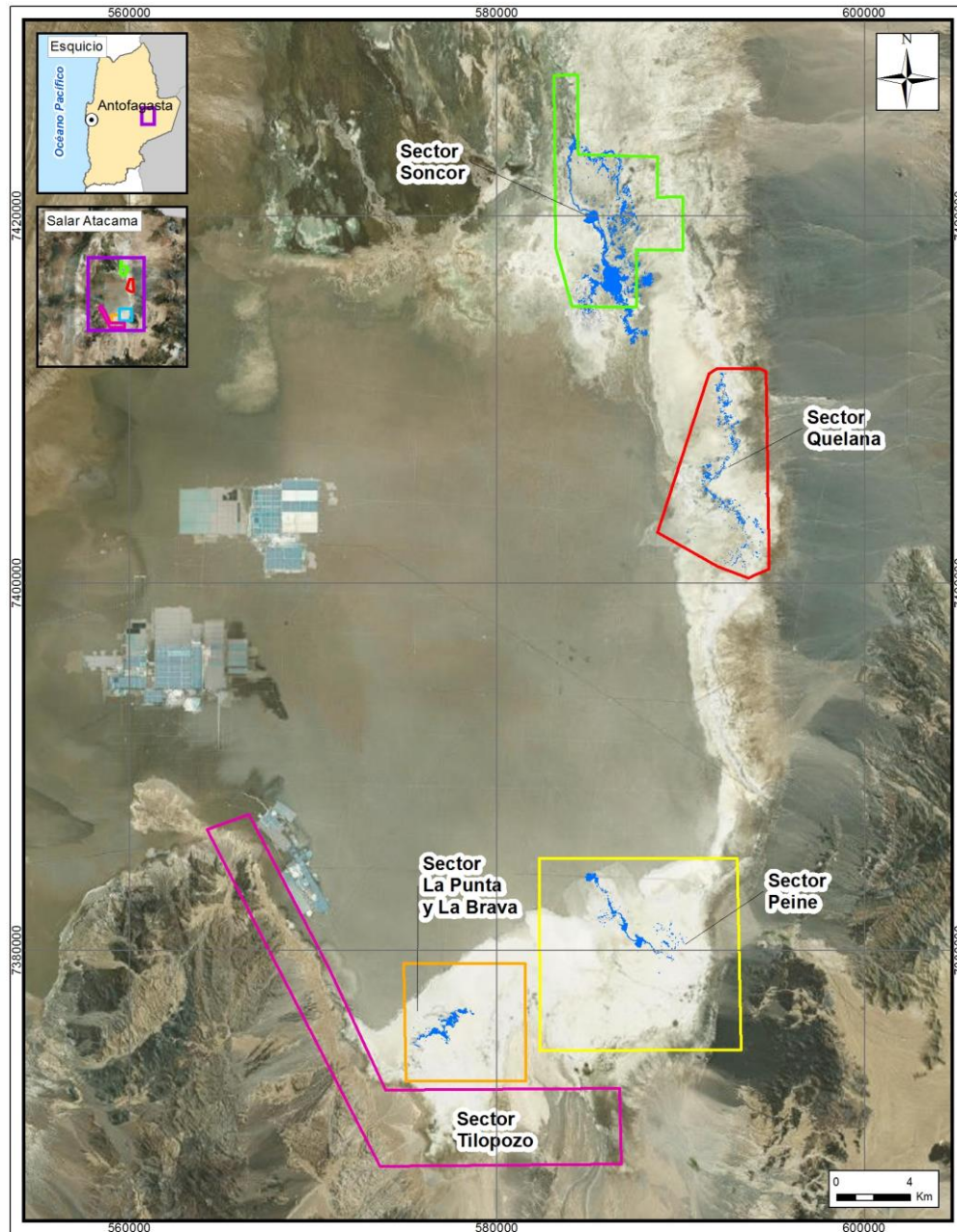
- 4) Sistema Soncor (*), constituido por las lagunas Barros Negros y Chaxa; y
- 5) Quelana (*), Aguas de Quelana (ubicadas ambas 4 y 5 en la Reserva Nacional Los Flamencos).

(*) Los sectores de Soncor y Quelana, se incorporan posterior a la RCA 21/2016, y obedecen a 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

⁶ Rockwood Litio Limitada a partir del día 01 de noviembre de 2017 modificó su razón social a “Albemarle Limitada”.

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 Area Norte: Sector Soncor y Quelana; Area Sur: Sector La Punta y La Brava, Peine y Tilopozo



Fuente: Elaboración Propia

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

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

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

Componente	Subcomponente	Frecuencia	Variables generales	Número Estaciones PMB	Estaciones voluntarias	Número de Estaciones Totales
Biota	Flora terrestre	Semestral	Composición y cobertura de especies	31*	-	31*
	Vegetación terrestre	Semestral/ Anual	Distribución y cobertura de la vegetación azonal	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 inicial de Monitoreo Base 0 (RWL-Cedrem agosto 2016), como cumplimiento al acápite 10.2 de la RCA 21/2016. Modifica código, cantidad y ubicación de puntos de monitoreo establecidos originalmente para componentes vegetación-suelos en PMB (2015).

** Estos 59 puntos de monitoreo corresponden a puntos de validación semestral de la COT del área de estudio.

*** 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.

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 la campaña de invierno 2019 reportadas en el presente informe semestral de acuerdo a las variables y/o parámetros correspondientes. En **Anexo Responsables y Participantes de las actividades de muestreo** se presentan 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	Amakaik Consultoría Ambiental SpA
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	Laboratorio acreditado como EFTA	Laboratorio acreditado como EFTA

Subcomponente	Variable	Medición	Muestreo	Análisis
		(ANAM S.A.)	(ANAM S.A.)	(ANAM S.A.)
Lagunas	Nivel de agua	SGA CONSULTORES	No aplica	No aplica
	Superficie	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores

Fuente: Elaboración propia

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

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

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.

RCA y Adendas	Considerando	Transcripción
		<p>Composición, Riqueza y Abundancia de Reptiles, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Transectas.</p> <p>Composición, Riqueza y Abundancia de Anfibios, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Transectas.</p> <p>Todos con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.</p>
	<p>7.- FÍSICO Parámetros físico-químicos del agua (pág. 58, 59)</p>	<p>Columna de agua en 12 puntos.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Composición, Riqueza y Abundancia de especies planctónicas (fitoplancton y zooplancton) en 12 puntos. Con procedimiento de medición de agua colectada y fijada, enviada al laboratorio.</p> <p>Composición, Riqueza y Abundancia de especies bentónicas (fitobentos y zoobentos) en 12 puntos. Con procedimiento de medición de sedimentos colectados y fijados, enviados al laboratorio.</p> <p>Todos con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.</p>
	<p>7.- Componentes Especiales (pág. 60)</p>	<p>Tapetes microbianos en 10 puntos, con procedimiento de medición de Puntos de descripción de la estratificación.</p> <p>Microbialitos en 10 puntos, con procedimiento de medición puntual. Evaporitas en 10 puntos, con procedimiento de medición puntual.</p> <p>Todos con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.</p>

RCA y Adendas	Considerando	Transcripción
Adenda 5, Anexo 2	4.2.4. Niveles Freáticos Lagunas	<p><u>Niveles de freáticos en 5 puntos</u>, Numeral 4.2.4 (Anexo 2) Ubicación de Estaciones de Monitoreo (Pág. 401) <i>“5 Puntos de Niveles freáticos, 3 en La Punta-La Brava los que coinciden con los puntos de monitoreo de niveles del Plan de Alerta Temprana del proyecto en el sector de Alerta Acuífero, más 2 puntos en Peine, en los cuales se cuenta con mayor información histórica.”</i> Procedimiento de medición manual, con frecuencia mensual.</p> <p><u>Superficie de lagunas en La Punta-La Brava y Peine</u>, con procedimiento de medición de imágenes satelitales de alta resolución, con frecuencia semestral. (Tabla 4.2-6)</p>

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

3 OBJETIVO

El objetivo de este Informe, es presentar los resultados del monitoreo correspondiente a la campaña semestral de invierno 2019, que corresponde al Informe Semestral N°7 del Plan de Manejo Biótico del Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta” de Albemarle Limitada, comprometido en la RCA 21/2016, que involucran las componentes y variables de medición de frecuencia Semestral, las que fueron monitoreadas en el período comprendido entre la última semana del mes de agosto y la primera del mes de septiembre de 2019.

4 ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME

El presente informe da cuenta de los resultados obtenidos en las campaña de invierno 2019, del Plan de Manejo Biótico (PMB), para las componentes de Biota, Suelo y Agua, las cuales han sido reportadas por el equipo Consultor especialista para el desarrollo de estas actividades, Cedrem Consultores.

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 variable de las componentes, en su capítulo correspondiente, se indican los materiales y métodos utilizados, resultados de la campaña y límites considerados en la evaluación.

Las componentes a tratar en este informe semestral corresponden a Flora y Vegetación; Fauna Vertebrados Terrestres; Tapetes microbianos; Suelo o Sustrato; Limnología, Calidad de Aguas y Sedimento; Área de Lagunas; y Nivel Freático en Lagunas.

En el Capítulo “Discusión” se presenta el análisis de la evolución de cada parámetro en el tiempo en relación a los límites y resultados de monitoreos anteriores, para dar cuenta de la evolución que se pudiera haber percibido en el semestre.

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 semestral de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en el monitoreo semestral de invierno 2019, para el subcomponente ambiental Flora y Vegetación, 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 se enmarca entre los días 27 de agosto al 02 de septiembre de 2019, fechas en que se realizó la campaña estacional de invierno de 2019 (Monitoreo M7) para el relevamiento de la vegetación (COT) y flora (composición y cobertura a través de transectas).

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: carta ocupación de tierras, transectas con método de intercepto de puntos en base a la metodología *point quadrat*, con el fin de contrastar los resultados del monitoreo con la situación pre operacional del proyecto y su evolución en el tiempo.

Para dar cumplimiento a lo anterior, se desarrollan los siguientes objetivos específicos para el presente informe:

- Monitorear la distribución y la cobertura de la vegetación (zonal y azonal), en su estructura comunitaria horizontal y vertical, a través del método de carta de ocupación de tierras (COT).
- Determinar la cobertura real, riqueza, abundancia, y composición vegetal en las transectas de vegetación azonal.

- Comparar en la discusión la cobertura y composición vegetal actual (Monitoreo 7) con el monitoreo inicial (MB0) realizado en la etapa pre operacional del proyecto, junto con la variación o evolución de los monitoreos de invierno anteriores, Monitoreo 1 (2016), Monitoreo 3 (2017) y Monitoreo 5 (2018).

5.1 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.1 Área de estudio

Tal como se indica en el Capítulo 2 de Introducción de este Informe Semestral, el área de estudio del PMB, corresponde específicamente a: los sectores de Sistema La Punta y La Brava (conformado por las lagunas LP-LB); Sistema Peine (constituido por las lagunas Salada, saladita e Interna); y Sistema Tilopozo (constituido por las vegas de Tilopozo).

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 Brava⁷, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana⁸ (**Figura N° 5-1**). Es importante mencionar que para la transecta localizada en Soncor (T14), no se ha tenido acceso desde el primer monitoreo, principalmente por daños en el camino de acceso vehicular, e inundaciones en el acceso a la transecta, siendo validada a distancia.

En cuanto a la vegetación del Salar, según lo descrito por Gajardo (1993), el territorio se encuentra inserto en la Región del Desierto, específicamente en el área que corresponde a 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* –

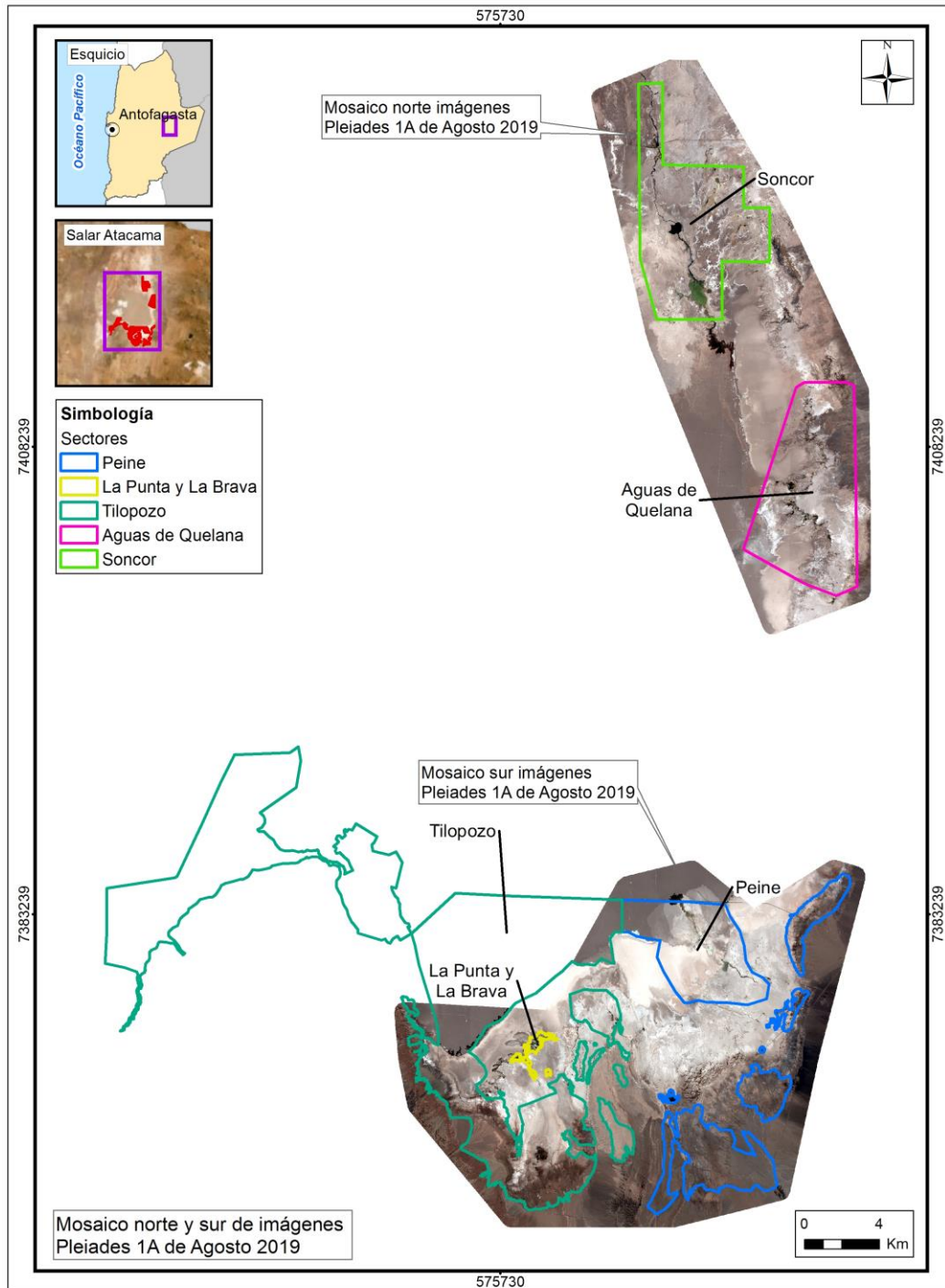
⁷ Con el fin de homologar la sectorización a la establecida por el PMB, se decidió seccionar el área de Tilopozo en dos subsectores: *La Punta y La Brava*, y *Tilopozo*.

⁸ 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.

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 .



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Ubicación de puntos y sectores de muestreo

5.1.2.1 Cobertura y Vegetación (COT)

La **Tabla 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 5.1.2.2 de este capítulo), 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) y en el informe Anual N°3 (2018-2019) y también en los Informes Semestrales.

Para este monitoreo de invierno 2019, correspondiente al primer semestre del cuarto año de seguimiento, se levantó información de 60 puntos de monitoreo correspondientes a cada polígono sujeto a seguimiento definido en la COT y en los 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 esta última campaña (MPC001). 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 esta campaña (**Tabla N° 5-1** y **Anexo Vegetación y Flora: Cartografía COT (Invierno 2019)**).

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 2019.

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

SUBSECTOR	CÓDIGO PUNTOS COT	CÓDIGO ASOCIADO A TRANSECTAS/COT	Coordenadas UTM (WGS84)	
			Este	Norte
	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
	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	

SUBSECTOR	CÓDIGO PUNTOS COT	CÓDIGO ASOCIADO A TRANSECTAS/COT	Coordenadas UTM (WGS84)	
			Este	Norte
	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 y punto COT sin muestreo estacional en Monitoreo 7 por restricciones de acceso al subsector Soncor.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2 Flora y vegetación (transectas)

Para el presente estudio, 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 el marco del “Informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016)”, aprobado a través del Ord. SAG N°315/2016. “Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL”, 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 se incorporaron siete puntos adicionales en los sectores de lagunas de La Punta, La Brava, y como áreas de control de vegetación en Aguas de Quelana y Soncor. Éstas son parte del Plan de Manejo Biótico y fueron propuestas por Albemarle (ex.Rockwood) a la autoridad ambiental competente, a través de este Informe Ejecutivo de monitoreo, correspondiendo a las transectas y puntos de monitoreo T10 (La Brava), T11 y T12 (La Punta), T14 (Soncor) y T15, T16 y T17 (Aguas de Quelana), ver **Tabla N° 5-2**.

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 7 (invierno 2019) no se tuvo acceso directo a la transecta T14 en el subsector de Soncor, 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° 5-2** se presentan las coordenadas de las 31 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). En la **Figura N° 5-2** se observa la localización general de las transectas en el área de estudio y en el **Anexo Vegetación flora Cartografía COT (Invierno 2019)** se observa la localización específica de las transectas por subsector.

Tabla N° 5-2. 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 PMB*	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 PMB*	FORMACIÓN VEGETAL	TRANSECTA		COORDENADAS UTM (WGS84)		ALTITUD (m.s.n.m.)	ORIENTACIÓN TRANSECTA					
			Número	Código	Este	Norte							
	VLP3	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T13	T13i	580099	7376130	2.304	NE					
				T13f	580149	7376130							
Soncor**	VS*	Área desprovista de vegetación	T14	T14i	585970	7418664	2.300	SO					
		T14f		585937	7418624								
Quelana	VS*	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T15	T15i	593317	7403472	2.301	SO					
				T15f	593279	7403439							
	VQ*	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T16	T16i	591112	7405899	2.296	NE					
				T16f	591159	7405919							
T17			T17	T17i	591450	7405511	2.299	SO					
				T17f	591402	7405498							
Tilopozo	VT1	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T18	T18i	576735	7370058	2.306	SO					
				T18f	576733	7370008							
	VT2	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	T19	T19i	577853	7370416	2.307	SO					
				T19f	577828	7370372							
	VT2	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T20	T20i	577581	7370304	2.307	SE					
				T20f	577629	7370300							
	VT3	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T21	T21i	579122	7370660	2.305	SO					
				T21f	579074	7370655							
	VT4	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T22	T22i	578107	7369841	2.306	SO				
					T22f	578068	7369811						
					T23			T23	T23i	578198	7369527	2.307	SO
									T23f	578153	7369506		
					T24			T24	T24i	577922	7369310	2.310	SO
T24f									577879	7369283			
T25			T25	T25i	577901	7369109	2.311	SO					
				T25f	577851	7369103							
VT5	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T26	T26i	571909	7375029	2.303	SE						

SUB SECTOR	PUNTO ASOCIADO PMB*	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 PMB*: Puntos propuestos para monitoreo en el Plan de Manejo Biótico;

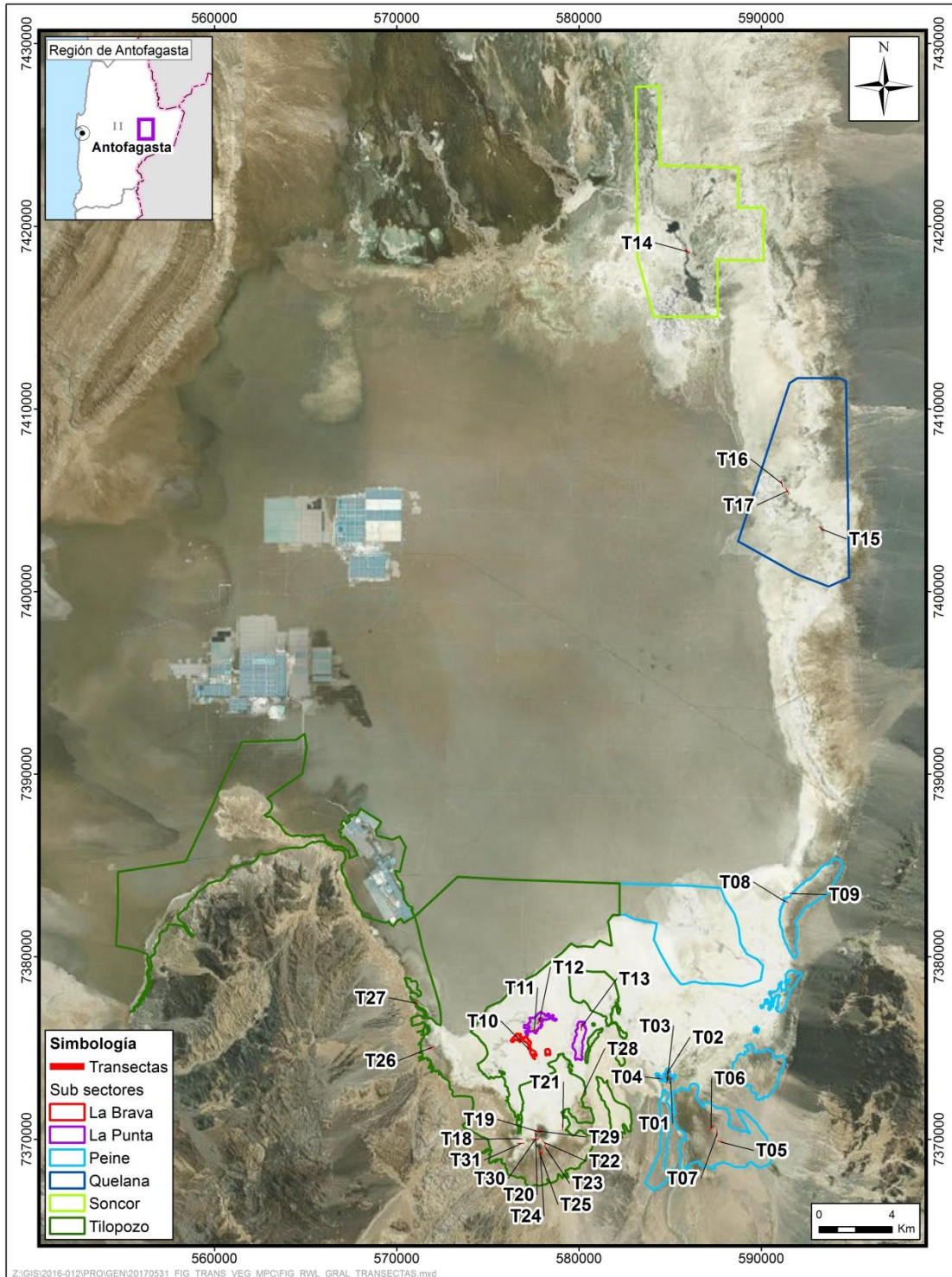
VTM1*: Cabe señalar que en Plan de Manejo Biótico (PMB 2015) esta transecta fue identificada para el sector Peine, sin embargo ésta se muestra en el subsector de Tilopozo para efectos del Seguimiento, dada su mayor cercanía a este sector (T28).

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.

** : Transecta T14 en sector Soncor sin muestreo en Monitoreo 7 debido a malas condiciones de caminos, aunque validada a través de un punto COT a distancia identificando que no registra cobertura vegetal.

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.

5.1.3 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 2019.

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.

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 (otros recubrimientos), y ii) la vegetación muerta (rastrojo).

5.1.4 Metodología de muestreo

El tipo de muestreo utilizado corresponde al diseño estratificado-dirigido, a través del **método de Carta de Ocupación de Tierras (COT)**, para el muestreo de la vegetación. Los estratos corresponden a los tipos de formaciones vegetales definidos por la COT. En estos estratos se localizaron los puntos de muestreo, distribuidos 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, incluyendo la validación COT en los puntos de transectas del monitoreo de flora.

El relevamiento en terreno, considera los siguientes procedimientos: validación en terreno de la delimitación de unidades fotointerpretadas, levantamiento COT (estratificación, cobertura y composición), identificar cualidades topográficas, identificar el estado actual de la vegetación mediante los criterios de grado de alteración.

En el proceso de delimitación de gabinete, se 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, además de identificar los “otros recubrimientos” 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.

En cuanto a la caracterización de la flora, el **método utilizado fue el de “Intercepto de Puntos”** (ver ficha de terreno tipo en **Anexo Vegetación y Flora**), según lo establecido por el informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (2016), citado anteriormente.

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.

Durante el muestreo de los taxa en las transectas, se considera una subdivisión de las especies de flora en relación a su estado fenológico y condición sanitaria, distinguiendo entre vegetación viva (individuos de determinada especie o planta vascular) o rastrojo (restos de una planta vascular, muertos o en descomposición). Asimismo, también se registran los otros recubrimientos en caso de no interceptar con cobertura vegetal (costra salina, agua superficial, sustrato terroso). Esto, además se complementa con una caracterización general en el punto de transectas, con el registro de las características físicas del terreno correspondientes a la altitud, orientación de la transecta, contenido de humedad del suelo y porcentaje de afloramiento salino.

5.1.5 Metodología de cálculo y análisis

Para el análisis de la vegetación, 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 partir de los registros sistematizados y analizados (ver **Anexo de Vegetación y Flora**) a través del método de intercepto de puntos y los registros asociados en las transectas, se

revisó la información de la vegetación existente permitiendo validar o reclasificar cuando fue necesario, las distintas formaciones vegetales y composición florística de cada transecta.

Para el análisis de coberturas de la vegetación y flora en su condición estacional (transectas de intercepto de punto), 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 subsectores.

5.1.6 Materiales y equipos utilizados

Los implementos utilizados para el muestreo son un navegador Garmin 20X ETREX (GPS), en Datum WGS 84 Huso 19S (para el muestreo COT y la localización de las transectas), un formulario tipo (uno para COT y otro para el método de intercepto de puntos o transectas), cartografía de terreno, cámara fotográfica. Para la COT se toman cuatro fotografías orientadas según los puntos cardinales y en cada transecta de flora se toman tres fotografías en las secciones inicial y final, y cuatro fotografías en la sección central. Por otro lado, para la validación de la fotointerpretación de la COT se utilizaron imágenes satelitales (imágenes multiespectrales de alta resolución del sensor Pleiades-1A de agosto de 2019),

En el caso específico del levantamiento de información de las transectas de flora se utiliza una huincha de medir de 50 metros de longitud para ubicar los puntos de intercepción a lo largo de la transecta, cada 0,1 m. Cabe recordar, que desde el monitoreo inicial (MB0) los puntos de transectas fueron estacados en su coordenada de inicio y fin para disminuir el error de muestreo en los siguientes monitoreos, por lo tanto la huincha de distancia en cada transecta se fija en un mismo punto (estaca) en cada monitoreo estacional.

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

El monitoreo de invierno 2019 se llevó a cabo en una campaña de terreno ejecutada entre los días 27 de agosto y 02 de septiembre de 2019, tanto para el levantamiento y validación COT como para las transectas de flora.

5.2 RESULTADOS

5.2.1 Resultados cobertura y vegetación (COT)

5.2.1.1 Resultados del muestreo campaña de invierno de 2019

5.2.1.1.1 Caracterización de la vegetación en el área de estudio

De acuerdo a lo observado en invierno 2019, 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 2019 (**Tabla N° 5-3**), 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° 5-5**). 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° 5-4**). 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° 5-3**). En la **Tabla N° 5-3** 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° 5-4**, se presenta un resumen de las coberturas y especies dominantes por formación vegetal.

Como se observa en la **Tabla N° 5-3**, 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° 5-4**). Los resultados en detalle se pueden revisar en los anexos cartográficos de invierno 2019, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Invierno 2019)**.

Tabla N° 5-3. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2019.

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i> Tipo de formación o recubrimiento <i>Formación vegetal</i>	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
OTROS RECUBRIMIENTOS	14.408,0	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	2.815,0	3.410,1	4.749,3	50	24.081,4	72,8
Salares	12.474,0	18,4	2.658,0	3.410,1	4.749,3	33	23.309,8	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	121,0	25,4	244,2	37	504,6	1,5
Lagunas	74,2	39,8	121,0	25,4	244,2	37	504,6	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	1.998,6	124,9	808,0	1.404,0	24,8	102	4.360,4	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

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i> Tipo de formación o recubrimiento <i>Formación vegetal</i>	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
<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
<i>Vega de ph dp sca</i>	42,5					1	42,5	0,1
MATORRAL - HUMEDAL	955,3	105,8	699,7	1.200,1	7,8	34	2.968,7	9,0
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh*</i>	80,7	64,6	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	0,2
<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° 5-4. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2019.

RECUBRIMIENTO DE SUELO		Cobertura vegetal	
<i>Formación vegetal</i>	Especies dominantes	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			

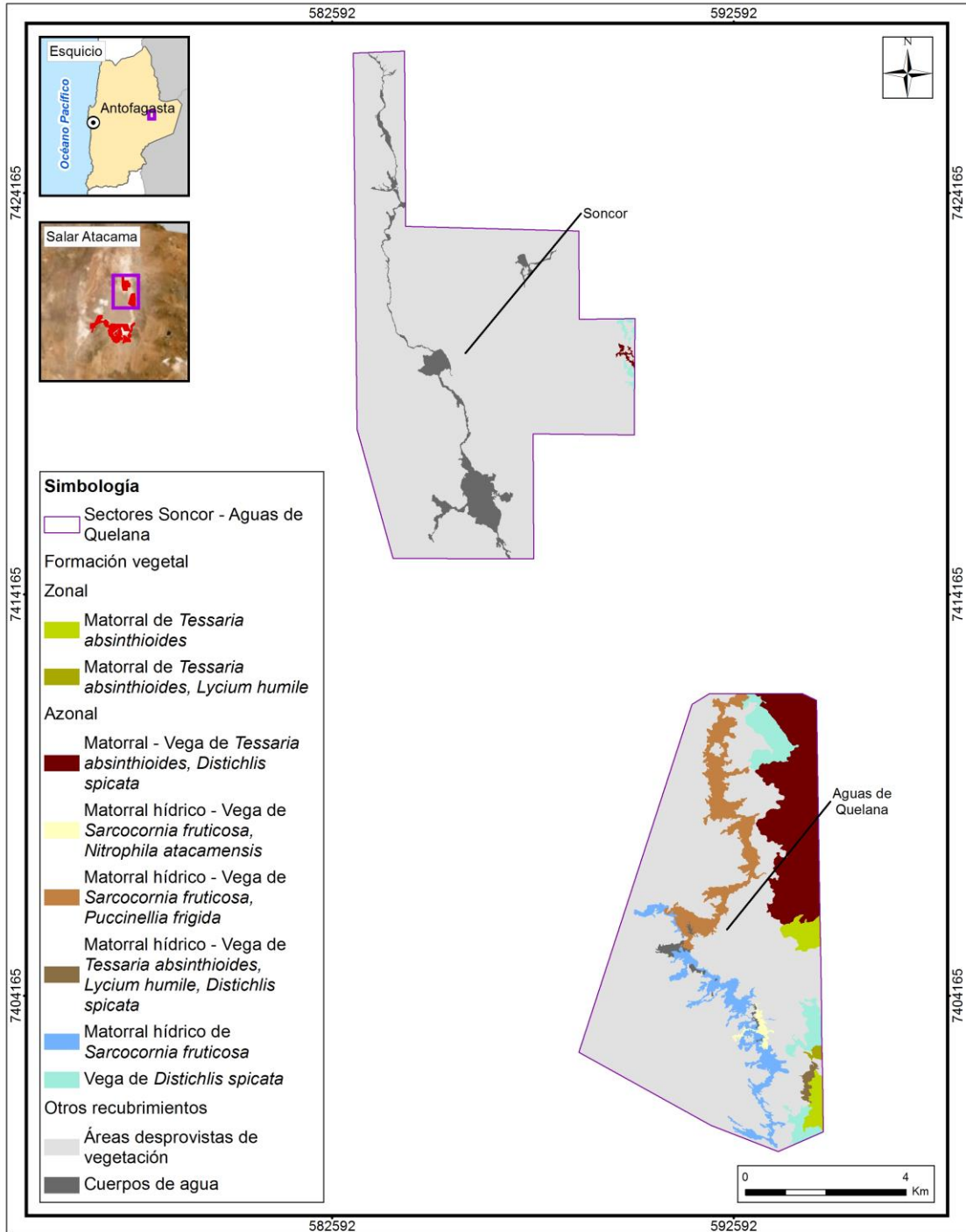
*: El rango no se indica para aquellos casos de valor único registrado.

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>

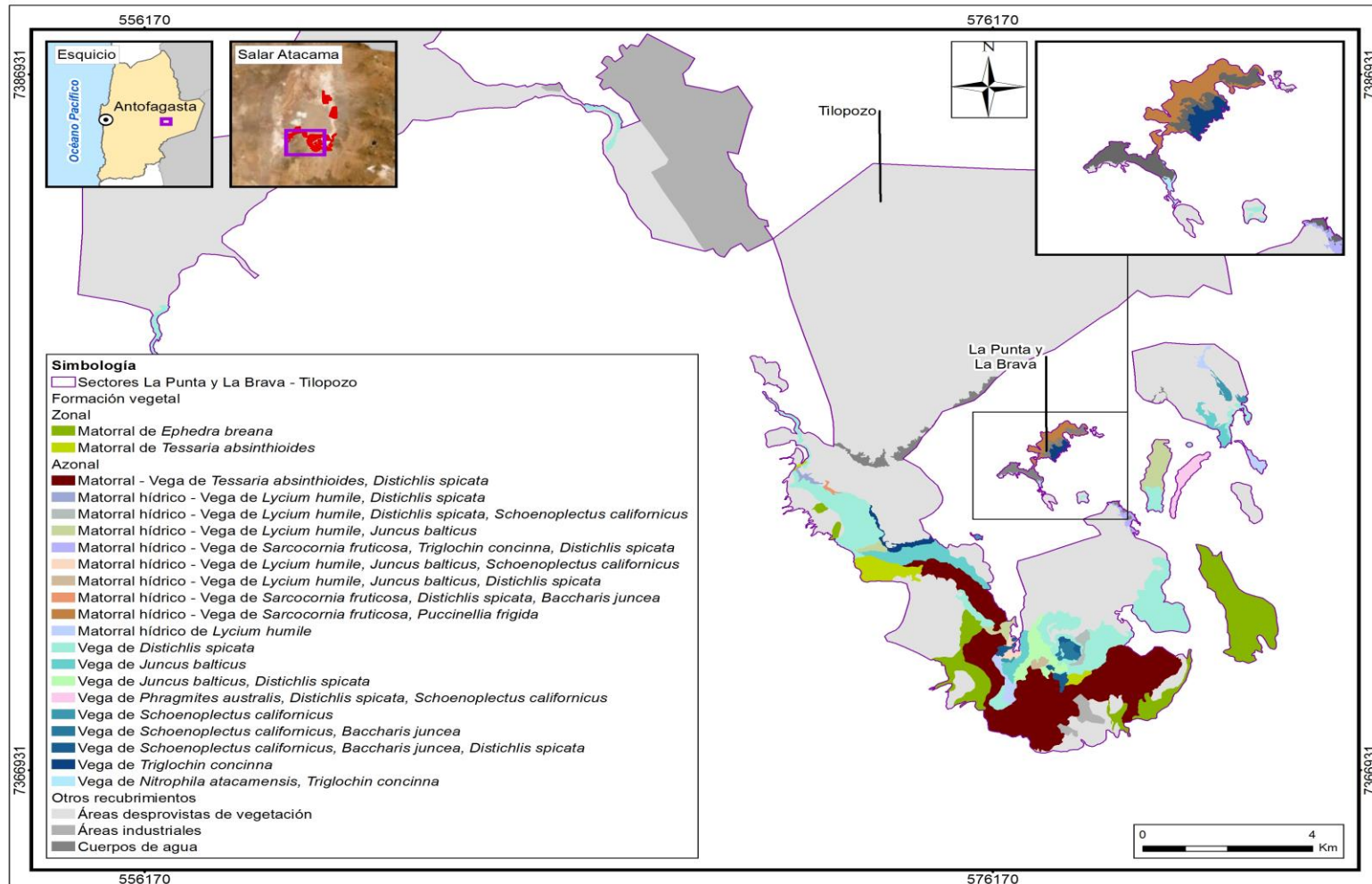
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-3. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Invierno de 2019.



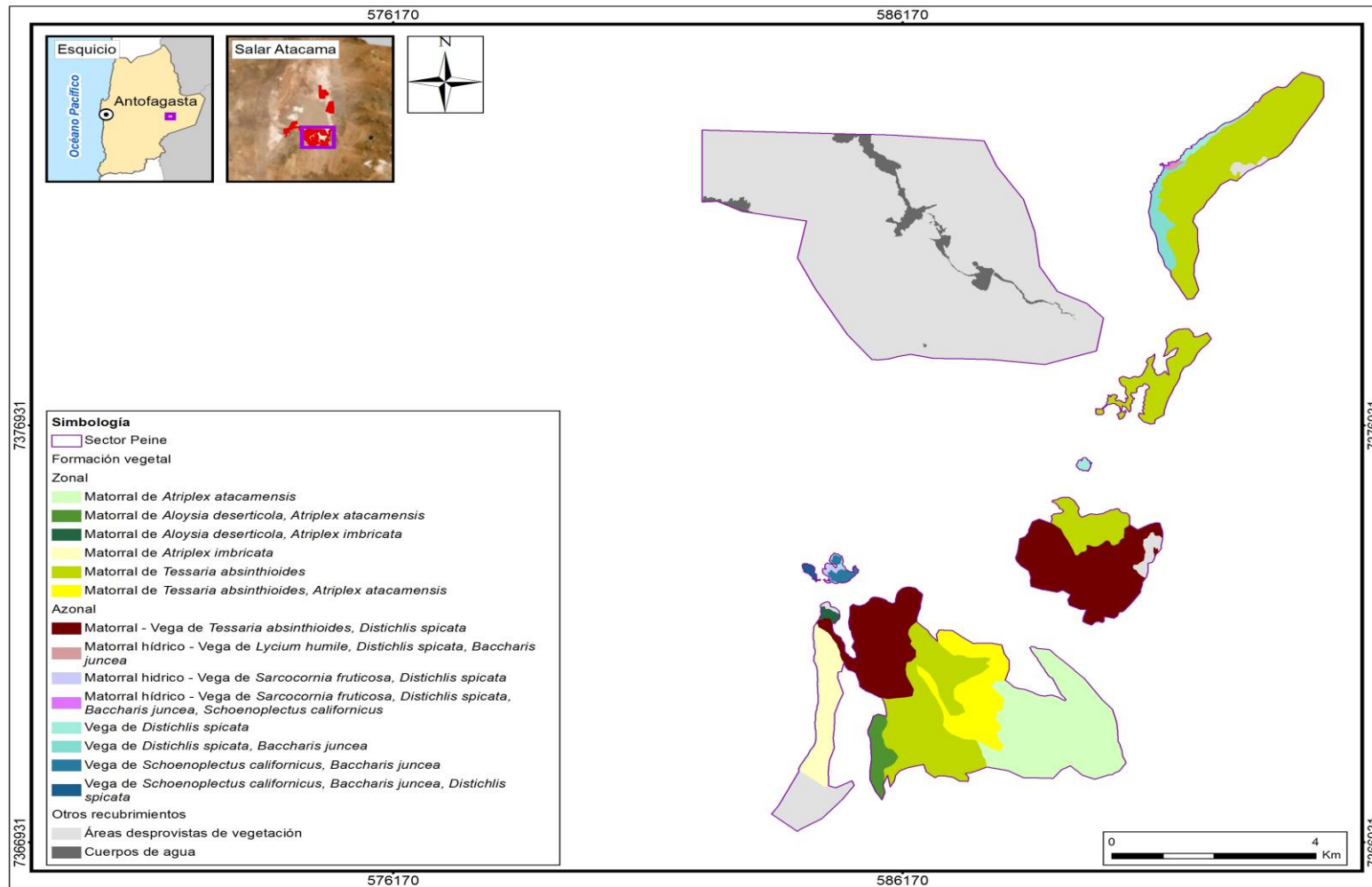
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-4. 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 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-5. 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 2019.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1.2 Formaciones vegetales - invierno 2019

Como resultado de la campaña de invierno 2019, 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° 5-3**, **Figura N° 5-4** y **Figura N° 5-5**, 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 2019 se pueden revisar en detalle en los anexos cartográficos de invierno 2019, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Invierno 2019)**.

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° 5-4**).

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° 5-3**).

- *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° 5-4**).

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° 5-3**).

- *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° 5-4**).

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° 5-3**).

- *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° 5-4**.

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° 5-3**).

- *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° 5-4**.

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° 5-3**).

Fotografía N° 5-1. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Invierno 2019.



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° 5-4**.

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° 5-3**).

- *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° 5-4**).

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° 5-3**).

- *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° 5-4**).

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° 5-3**).

- *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° 5-4**.

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° 5-3**).

- *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° 5-4**).

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° 5-3**).

- *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° 5-4**.

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° 5-3**).

- *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° 5-4**.

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° 5-3**).

- *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° 5-4**).

Esta formación se observó en tres unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 49,6 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-3**).

- *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° 5-4**.

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° 5-3**).

- *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° 5-4**.

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° 5-3**).

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

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominado por el arbusto *Sarcocornia fruticosa* “sosa” y un estrato herbáceo 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° 5-4**.

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° 5-3**).

- *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° 5-4**).

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° 5-3**).

Fotografía N° 5-2. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en Invierno 2019.



Donde a: Vega de *Schoenoplectus californicus* en Peine; b: Vega de *Distichlis spicata*, en Tilopozo; c: Matorral hídrico – vega de *Sarcocornia fruticosa* y *Puccinellia frígida* en Aguas de Quelana y d: Matorral – Vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, en Tilopozo.

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 denudadas que corresponderían a formaciones sin desarrollo de suelo ni vegetación, por efectos de erosión natural localizadas en los bordes del salar.

Este recubrimiento presenta una superficie de 24.081,4 hectáreas, lo que representa la mayor superficie del área de estudio con un 72,8%, distribuido en todos los sectores en 50 unidades cartográficas (**Tabla N° 5-3**).

- Áreas industriales

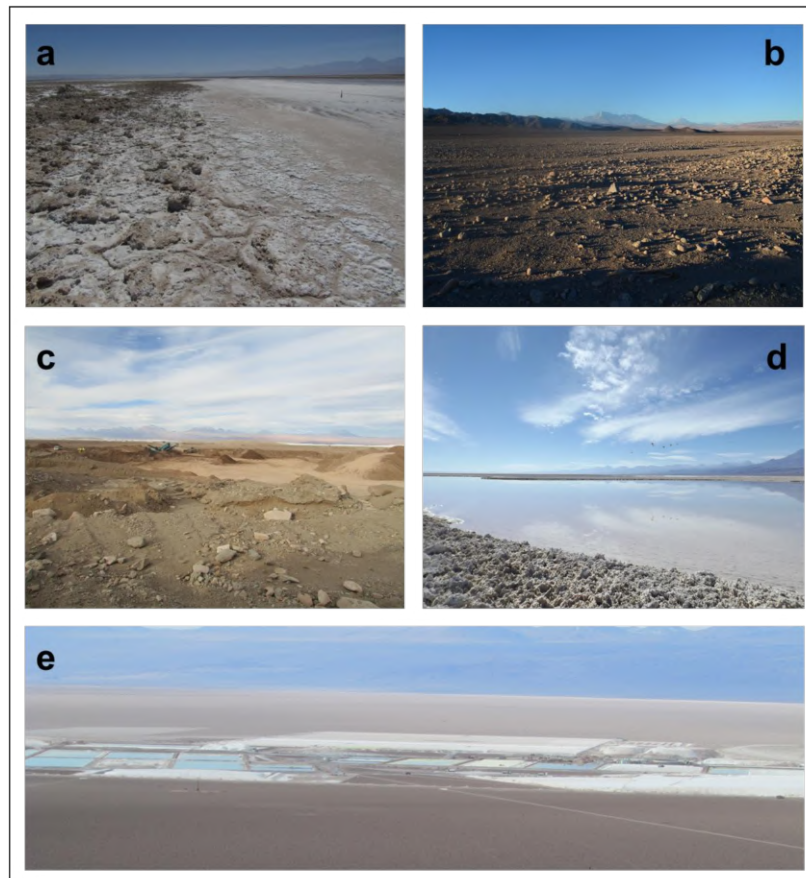
Las áreas industriales están representadas por dos tipos de recubrimiento, donde una unidad está caracterizada como centro industrial, la cual correspondería a las instalaciones de Albemarle, y por otro lado, tres unidades se encuentran identificadas como suelos removidos, que son zonas claramente intervenidas 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° 5-3**).

- 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 504,6 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 hectáreas⁹ (48,4% del total; **Tabla N° 5-3**) y en la parte norte, la presencia notable de vegetación acuática al interior de éstas (**Fotografía N° 5-4**).

⁹ 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° 5-3. 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° 5-4. 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

5.2.2.1 Resultados del muestreo de flora vegetación, campaña de invierno de 2019

5.2.2.1.1 Formaciones vegetales

En la **Tabla N° 5-5**, se presentan los tipos de vegetación identificados en cada una de las transectas durante la campaña de invierno 2019.

Cabe destacar que, por mala accesibilidad de caminos, 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), aunque fue validada a distancia mediante un punto COT. Es importante recordar que a esta zona se ingresa con apoyo del guardaparque de CONAF de la Reserva Nacional Los Flamencos.

Tabla N° 5-5. 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° 5-6**, se presentan las principales características de las transectas para el monitoreo de invierno 2019, 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° 5-5**, **Fotografía N° 5-6**, **Fotografía N° 5-7**, **Fotografía N° 5-8**, **Fotografía N° 5-9** y **Fotografía N° 5-10**.

Tabla N° 5-6. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 7 (invierno 2019), 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	Saturado	30-50%	1	2
		T09	H4	dp	Saturado	30-50%	1	1
	Tilopozo	T20	H5	dp	Saturado	<10%	1	1
		T21	H2	dp	No saturado	>80%	1	2
		T22	LB2 H3	dp Lh	No saturado	>80%	1	3
		T26	H3	dp	No saturado	10-30%	1	1
		T27	H3	dp	No saturado	<10%	1	1
		T28	H4	dp	No saturado	>80%	1	1
	Riqueza total en formación vegetal							
Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	La Punta	T13	LB2 H4	jb Lh	No saturado	50-80%	1	2
	Tilopozo	T18	LB1 H4	jb	No saturado	50-80%	1	2
		T30	H4	jb dp	No saturado	>80%	1	3
		T31	LB1 H3	jb dp	No saturado	>80%	1	3
	Riqueza total en formación vegetal							
Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	Peine	T01	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2*	3
		T02	H7	sca bj	Saturado	<10%	1	4
		T03	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2*	3
		T04	H7	sca bj dp	Saturado	<10%	1	4
	Tilopozo	T19	H7	sca bj	Saturado	<10%	2*	3
		T29	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2*	3
	Riqueza total en formación vegetal							
Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	H2	nia tc	No saturado	>80%	1	3
	La Punta	T11	LB1 H4	tc	Sobresaturado	50-80%	1	2
	Riqueza total en formación vegetal							
	La Punta	T12	LB3 H2	Sf pu	Saturado	>80%	1	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	Sobresaturado	>80%	1	4
		T16	LB3	Sf	Saturado	>80%	1	1
		T17	LB4 H2	Sf pu	Sobresaturado	>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	Tb Aa	No saturado	<10%	1	2
		T07	LB4	Tb Aa	No saturado	<10%	1	2
	Tilopozo	T23	LB4	Tb	No saturado	>80%	1	1
		T24	LB4 H3	Tb dp	No saturado	>80%	1	2
		T25	LB4 H3	Tb dp	No saturado	>80%	1	2
Riqueza total en formación vegetal								3
Área desprovista de vegetación	Soncor**	T14	ADV	-	-	-	-	-

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

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

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-5. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en invierno 2019, en distintas transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-6. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en invierno 2019, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-7. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en invierno 2019, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-8. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en invierno 2019, en transectas de estudio.

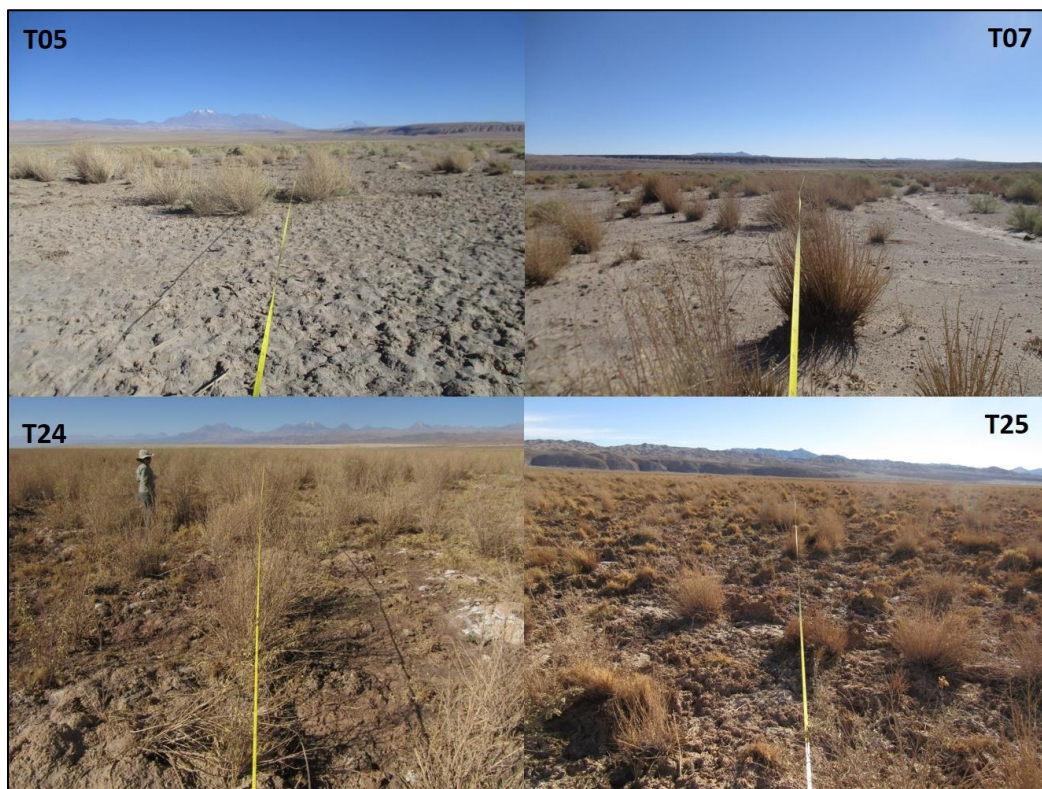


Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-9. Fisonomía de matorral de *Sarcocornia fruticosa* en invierno 2019, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-10. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en invierno 2019, en transectas de estudio.

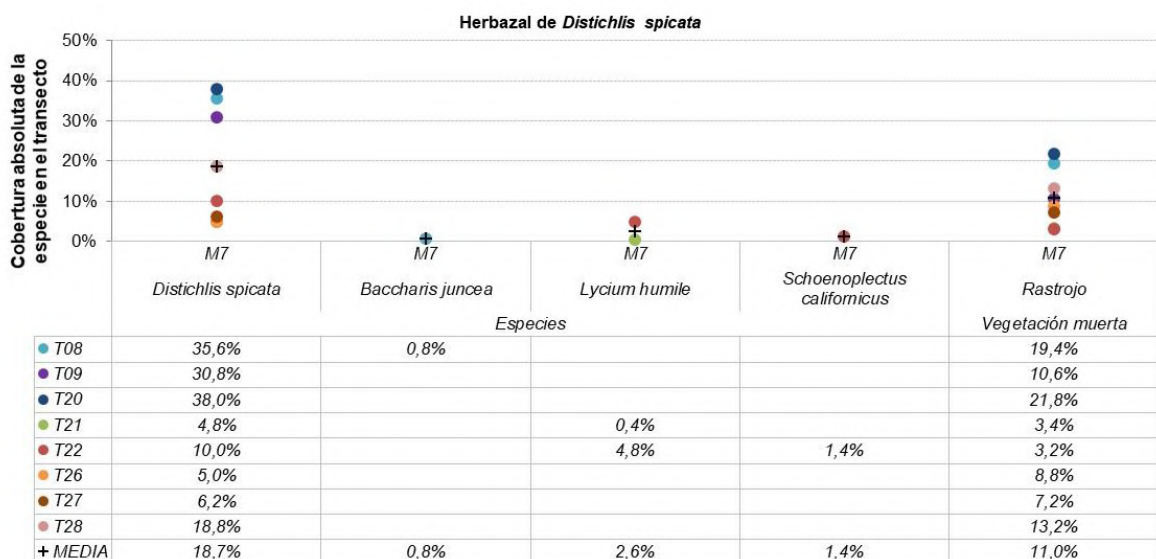
Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2 Composición y cobertura

5.2.2.1.2.1 Cobertura absoluta de especies

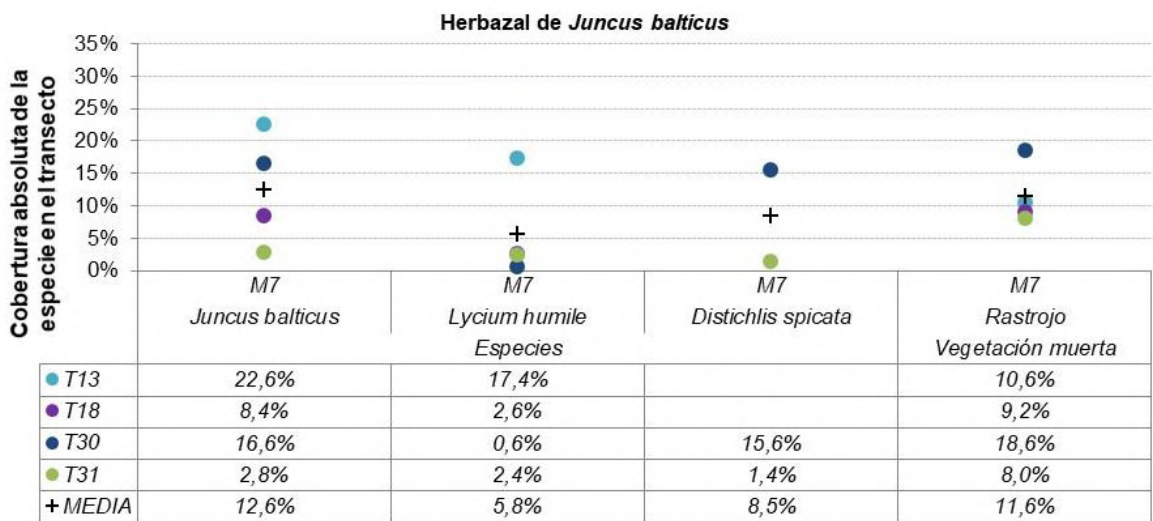
La cobertura absoluta de las especies, calculada para el Monitoreo 7 (invierno 2019), se presenta por transecta en los siguientes seis gráficos, ordenados según las seis formaciones vegetales. En cuanto a las coberturas de los otros recubrimientos por transecta y por formación vegetal, se detallan en 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° 5-6. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de *Distichlis spicata*.



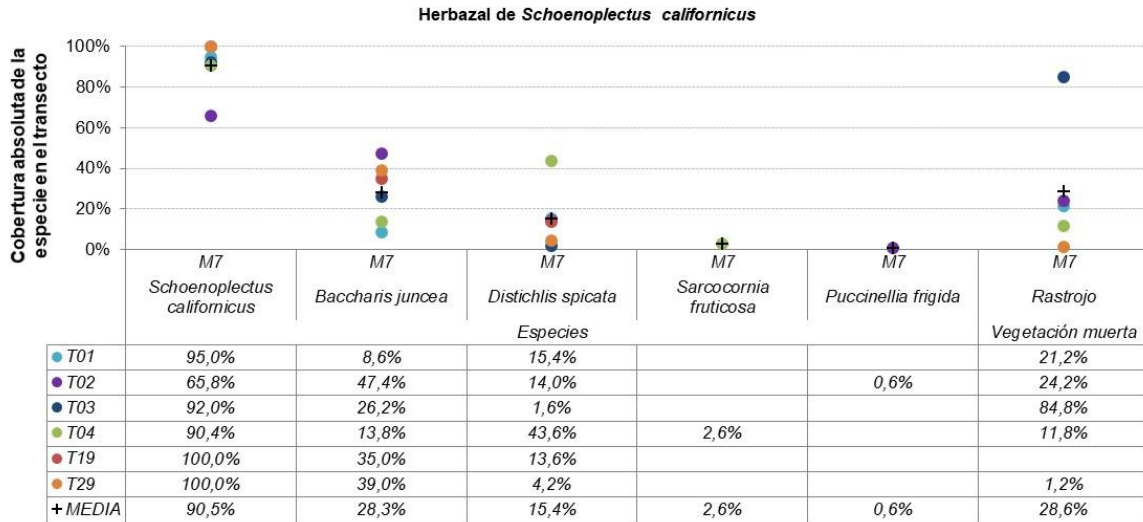
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-7. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de *Juncus balticus*.



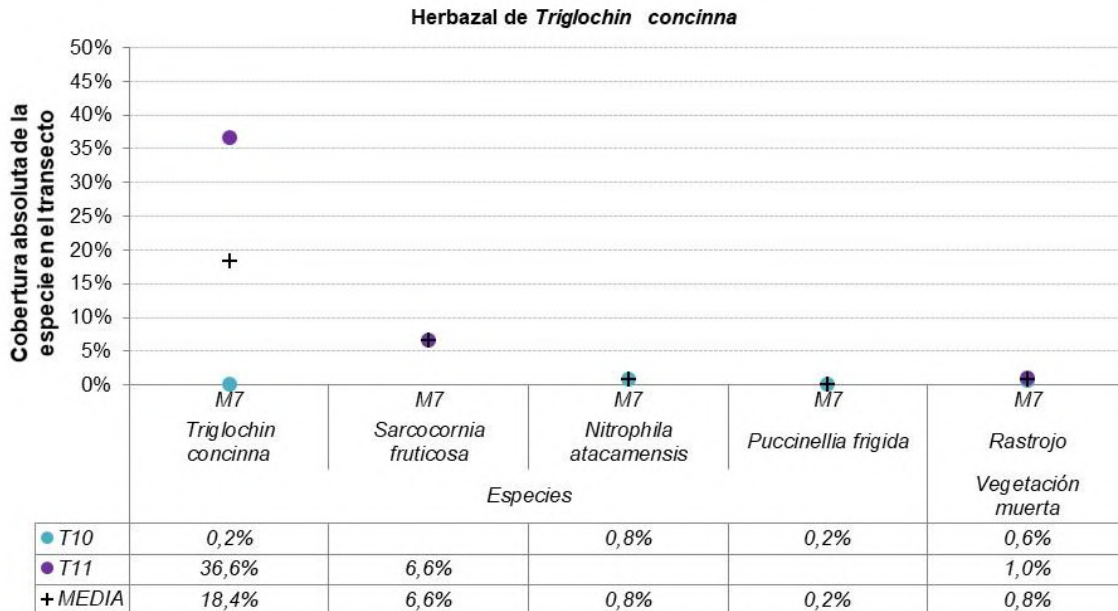
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-8. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus*.



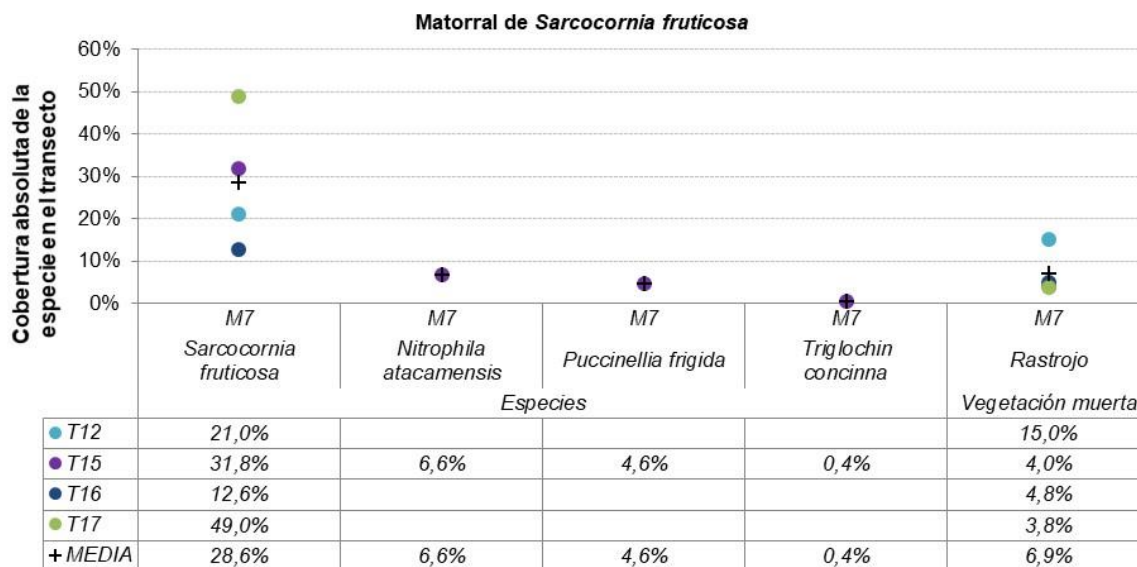
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-9. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de *Triglochin concinna*.



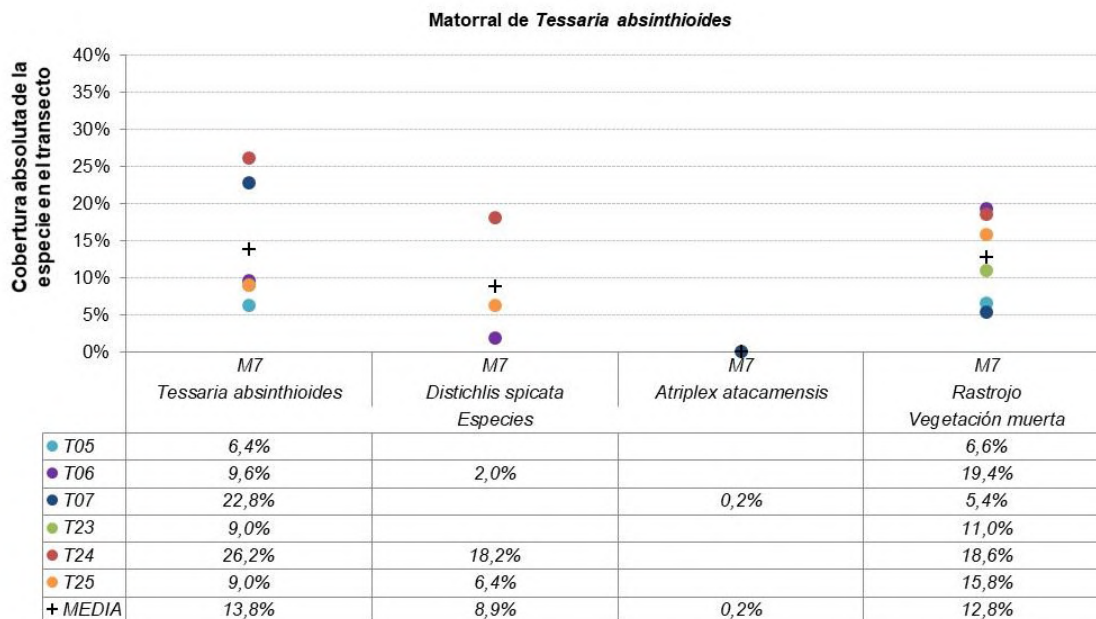
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-10. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de matorral de *Sarcocornia fruticosa*.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-11. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de matorral de *Tessaria absinthioides*.



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), donde

las transectas T19 y T29 localizadas en Tilopozo alcanzan el 100%, ver **Figura N° 5-8**. 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 1,4% (**Figura N° 5-6**).

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 22,6% en la transecta T13 y una cobertura (absoluta) mínima de 2,8% en la transecta T31, registrando una cobertura promedio de 12,6% en la formación que domina. Esta especie no se registra en otras transectas de otras formaciones, ver **Figura N° 5-7**.

La arbustiva *T. absinthioides* registra en la transecta T05 la cobertura mínima de 6,4% y en T23 y T25 de 9,0%, y en la transecta T24 un máximo de cobertura absoluta de 26,2%, presentando una cobertura media de 13,8% en la formación de matorral en que domina (**Figura N° 5-11**). 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*, *Puccinellia frigida* y *Atriplex atacamensis*, con una cobertura absoluta menor al 10%, destacando la menor presencia de *A. atacamensis* con un 0,2% de cobertura absoluta (ver **Figura N° 5-8** a **Figura N° 5-11**).

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° 5-8**).

5.2.2.1.2.2 Cobertura y riqueza de transectas

En la **Tabla N° 5-7**, se presentan las coberturas absolutas y promedio, además de la riqueza, para cada una de las transectas monitoreadas en la campaña de invierno 2019 (Monitoreo 7).

En el Monitoreo 7, se observa que todas las transectas correspondientes a la formación dominada por *Schoenoplectus californicus* presentan coberturas absolutas superiores al 100%, destacando la transecta T04 que alcanza la mayor cobertura absoluta para la formación con un 150,4%. Estos valores se explican por la presencia de más de una especie acompañante con coberturas altas en las transectas de la formación (**Tabla N° 5-7**, **Figura N° 5-8**). 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 32,0 y 49,5%.

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 5,0% de cobertura absoluta. Las transectas T21 y T27 de esta formación presentan

coberturas entre un 5,2 y 6,2%, mientras que la mayor cobertura absoluta se registró en la transecta T20 con un 38,0%. En cuanto al herbazal de *Triglochin concinna*, si bien la formación registra una cobertura mayor al 40% en el subsector La Punta (43,2% en T11), registra en el subsector La Brava la menor cobertura absoluta por transecta de la campaña (1,2% en T10), ver **Tabla N° 5-7**.

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 T02, T04 y T15, las dos primeras localizadas en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* de Peine y la última en el herbazal de *Triglochin concinna* en Aguas de Quelana.

Por otra parte, la misma **Tabla N° 5-7** presentan las coberturas muertas detectadas por transecta. Al respecto, la transecta T19 en un herbazal de *Schoenoplectus californicus* en Tilopozo, es la única donde no se observó cobertura muerta en la formación. No obstante, en la transecta T03 en Peine de esta formación es donde se registra una de las mayores coberturas de rastrojos con un 84,8%, asociado principalmente a rastrojos de la quema ocurrida el año anterior en el área.

En cuanto al resto de las formaciones vegetales, en todas las transectas se detectó algún porcentaje de cobertura muerta, variando desde un mínimo de 0,6% y 1,0% en las dos transectas del herbazal de *Triglochin concinna* (T10 y T11), hasta el máximo de 84,8% en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* de Peine (T03). En resumen, se observa que la cobertura de rastrojos por transecta es menor a un 10% de cubrimiento en 14 transectas; en 11 transectas se observa una cobertura entre 10 y 20%; tres transectas que registran coberturas de rastrojos entre 20% y 25% (T01, T02 y T20); y la transecta T03 que registra una cobertura absoluta mayor a un 80% de rastrojos producto de las quemaduras ocurridas en el área, ver **Tabla N° 5-7**.

Por último, en la **Tabla N° 5-7** 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 agua superficial en una de las seis transectas (T01). El detalle de las coberturas de los otros recubrimientos por transecta se presenta a continuación.

Tabla N° 5-7. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 7 (invierno 2019).

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	119,0%	39,7%	21,2%	0,2%	3
		T02	127,8%	32,0%	24,2%	-	4
		T03	119,8%	39,9%	84,8%	-	3
		T04	150,4%	37,6%	11,8%	-	4
	Tilopozo	T19	148,6%	49,5%	-	-	3
		T29	143,2%	47,7%	1,2%	-	3
<i>Herbazal de Juncus balticus</i>	La Punta	T13	40,0%	20,0%	10,6%	60,8%	2
	Tilopozo	T18	11,0%	5,5%	9,2%	80,6%	2
		T30	32,8%	10,9%	18,6%	53,8%	3
		T31	6,6%	2,2%	8,0%	85,4%	3
<i>Herbazal de Distichlis spicata</i>	Peine	T08	36,4%	18,2%	19,4%	44,4%	2
		T09	30,8%	30,8%	10,6%	58,6%	1
	Tilopozo	T20	38,0%	38,0%	21,8%	40,2%	1
		T21	5,2%	2,6%	3,4%	91,4%	2
		T22	16,2%	5,4%	3,2%	83,2%	3
		T26	5,0%	5,0%	8,8%	86,2%	1
		T27	6,2%	6,2%	7,2%	86,6%	1
		T28	18,8%	18,8%	13,2%	68,0%	1
<i>Herbazal de Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	1,2%	0,4%	0,6%	98,4%	3
	La Punta	T11	43,2%	21,6%	1,0%	59,4%	2
<i>Matorral de Sarcocornia fruticosa</i>		T12	21,0%	21,0%	15,0%	64,2%	1
	Aguas de Quelana	T15	43,4%	10,9%	4,0%	55,6%	4
		T16	12,6%	12,6%	4,8%	82,6%	1

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Cobertura vegetación (%)		Cobertura absoluta (%)		Riqueza (No. de especies)
			Absoluta	Promedio	Rastrojos/ muerta	Otros recubrimientos	
		T17	49,0%	49,0%	3,8%	47,2%	1
<i>Matorral de Tessaria absinthioides</i>	Peine	T05	6,4%	6,4%	6,6%	87,0%	1
		T06	11,6%	5,8%	19,4%	69,2%	2
		T07	23,0%	11,5%	5,4%	71,6%	2
	Tilopozo	T23	9,0%	9,0%	11,0%	80,0%	1
		T24	44,4%	22,2%	18,6%	47,6%	2
		T25	15,4%	7,7%	15,8%	70,2%	2

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2.3 Cobertura de otros recubrimientos en transectas

En la **Tabla N° 5-8** 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 15 transectas con valores entre 2,0% a 91,4% de costra salina, entre 0,2% y 28,2% de costra salina saturada y entre 1,2% y 77,4% de costra salina sobresaturada, siendo una cobertura especialmente alta en las transectas de la formación de herbazal de *Juncus balticus* (entre 53% y 85%); y también destaca la alta cobertura de costra salina terrosa en algunas transectas, especialmente en el matorral de *T. absinthioides* y en dos transectas de herbazal de *D. spicata* (entre 47% y 86%). Las formaciones vegetales que registran transectas con cobertura de costra salina terrosa, registran también una cobertura de suelo terroso en tres transectas, sobre un 70% en T27, T05 y T07 (**Tabla N° 5-8**).

Cabe señalar que las transectas que presentaron agua en superficie corresponden a las dos transectas del herbazal de *Triglochin concinna* (T10 y T11) y en las tres transectas de matorral de *S. fruticosa* en Aguas de Quelana (T15, T16 y T17), todas localizadas en bordes o cercanas a sistemas lagunares. Adicionalmente, se registró una mínima cobertura de agua superficial en la transecta T01 en un herbazal de *S. californicus* de Peine (**Tabla N° 5-8**).

Tabla N° 5-8. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 7 (invierno 2019).

Formación vegetal	Transecta	Cobertura absoluta de Otros recubrimientos - M7 (%)						
		Agua superficial	Costra Salina (Cs)				Terroso	Total (%)
			Cs	Cs sobresaturada	Cs saturada	Cs terrosa		
<i>Herbazal de Schoenoplectus californicus</i>	T01	0,2%	-	-	-	-	-	0,2%
	T02	-	-	-	-	-	-	0,0%
	T03	-	-	-	-	-	-	0,0%
	T04	-	-	-	-	-	-	0,0%
	T19	-	-	-	-	-	-	0,0%
	T29	-	-	-	-	-	-	0,0%
<i>Herbazal de Juncus balticus</i>	T13	-	60,8%	-	-	-	-	60,8%
	T18	-	80,6%	-	-	-	-	80,6%
	T30	-	53,8%	-	-	-	-	53,8%
	T31	-	85,4%	-	-	-	-	85,4%
<i>Herbazal de Distichlis spicata</i>	T08	-	43,2%	-	1,2%	-	-	44,4%
	T09	-	47,4%	0,2%	11,0%	-	-	58,6%
	T20	-	38,4%	-	1,8%	-	-	40,2%
	T21	-	91,4%	-	-	-	-	91,4%
	T22	-	83,2%	-	-	-	-	83,2%
	T26	-	-	-	-	86,2%	-	86,2%
	T27	-	-	-	-	-	86,6%	86,6%
	T28	-	-	-	-	68,0%	-	68,0%
<i>Herbazal de Triglochin concinna</i>	T10	49,6%	29,2%	-	19,6%	-	-	98,4%
	T11	3,8%	2,0%	28,2%	25,4%	-	-	59,4%
<i>Matorral de Sarcocornia fruticosa</i>	T12	-	14,8%	-	49,4%	-	-	64,2%
	T15	0,2%	-	35,8%	19,6%	-	-	55,6%
	T16	1,8%	-	3,4%	77,4%	-	-	82,6%

Formación vegetal	Transecta	Cobertura absoluta de Otros recubrimientos - M7 (%)						
		Agua superficial	Costra Salina (Cs)				Terroso	Total (%)
			Cs	Cs sobresaturada	Cs saturada	Cs terrosa		
	T17	5,2%	-	11,0%	31,0%	-	-	47,2%
<i>Matorral de Tessaria absinthioides</i>	T05	-	-	-	-	-	87,0%	87,0%
	T06	-	-	-	-	69,2%	-	69,2%
	T07	-	-	-	-	-	71,6%	71,6%
	T23	-	-	-	-	80,0%	-	80,0%
	T24	-	-	-	-	47,6%	-	47,6%
	T25	-	-	-	-	70,2%	-	70,2%

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2.4 Cobertura promedio y composición del sector

En la **Tabla N° 5-9** se observan los valores promedios de cobertura por subsector, donde destaca el subsector de Peine con la mayor cobertura de vegetación (69,5%).

El sector de Soncor no presenta 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 26,4%, representando formaciones con vegetación parchosa correspondientes a herbazales de *Triglochin concinna* y matorrales de *Sarcocornia fruticosa*, que se desarrollan en bordes de lagunas (**Tabla N° 5-9**).

Los subsectores Aguas de Quelana y Tilopozo presentan valores similares entre ellos, con coberturas promedio entre 35,0% y 35,7% (**Tabla N° 5-9**).

Por otro lado, la cobertura promedio de la vegetación muerta registra un valor máximo de 22,6% en el subsector Peine, mientras que los otros subsectores registran valores de 10% o menos de cobertura promedio de rastrojos (**Tabla N° 5-9**).

Finalmente, la riqueza de especies por subsector se observa entre cuatro y siete especies de flora vascular, exceptuando a sector Soncor que no registra vegetación o individuos de flora (**Tabla N° 5-9**). La **Tabla N° 5-10**, muestra la riqueza y la composición de las especies presentes por subsector.

Tabla N° 5-9. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 7 (invierno 2019).

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	4	26,4%	6,8%	6
Peine	9	69,5%	22,6%	7
Aguas de Quelana	3	35,0%	4,2%	4
Soncor	1	-	-	-
Tilopozo	14	35,7%	10,0%	6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5-10. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 7 (invierno 2019).

Especie	Subsector 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>Lycium humile</i> Phil.	X			X
<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják		X		X
<i>Tessaria absinthioides</i> (Hook. & Arn.) DC.		X		X
<i>Juncus balticus</i> Willd.	X			X
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	X	X	X	
<i>Triglochin concinna</i> Burt Davy	X		X	
<i>Nitrophila atacamensis</i> (Phil.) Hieron. ex Ulbr.	X		X	
<i>Puccinellia frigida</i> (Phil.) I.M. Johnst.	X	X	X	
<i>Atriplex atacamensis</i> Phil.		X		
Riqueza total por subsector	6	7	4	6

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Límites considerados en la evaluación de la Flora y Vegetación

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). En este contexto, los resultados del presente informe representan el primer monitoreo del cuarto año de seguimiento que constituirá parte de la tendencia para un segundo periodo de análisis en contraste con los valores históricos y los tres primeros años de seguimiento.

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. Posterior al monitoreo de post-lluvia del cuarto año de medición se podrá analizar en mayor detalle la evolución de este componente, la que tendrá que mirarse en conjunto con las otras dos variables comprometidas en la evaluación del estado ecológico.

6 FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES

En el presente informe de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en la campaña y monitoreo semestral de invierno 2019 para el componente ambiental biota, subcomponente Fauna de vertebrados, 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.

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 514/2019 (Servicio Agrícola y Ganadero) el cual corresponde a la nueva ampliación del permiso de captura inicial N°420/2017 (**Ver Acápite 1.1 del Anexo 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.

El período reportado en el presente informe se enmarca entre los días 2 al 7 de septiembre de 2019, fechas entre las que se llevó a cabo el monitoreo semestral de invierno de este componente.

El presente informe de monitoreo corresponde a la séptima campaña de seguimiento semestral del Plan de Manejo Biótico del Proyecto (Anexo 2 Adenda 5 EIA), llevadas a cabo por Cedrem Consultores 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 esta campaña semestral de invierno 2019, con resultados estacionales (de

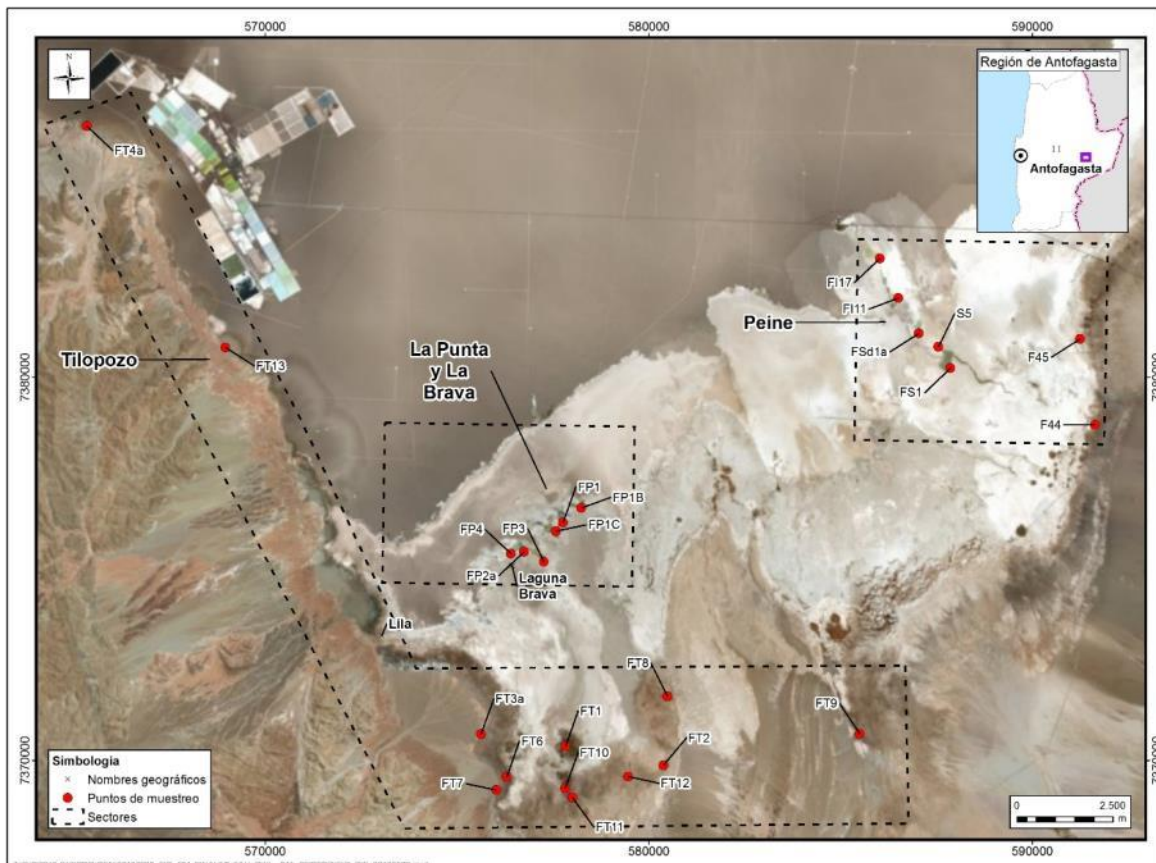
invierno) de monitoreo y/o línea de base previos, para establecer posibles desviaciones y evolución de éstos.

6.1 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1.1 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. En la **Figura N° 6-1** se visualizan los puntos y sectores. 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.

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

El total de puntos muestreados corresponde a 25, de los cuales 16 son los establecidos en la RCA y Plan de Seguimiento, los que corresponden a los considerados en campañas de Línea de Base (PMB, 2015), y otros 9 puntos, de carácter voluntario, ya incorporados y reportados en las campañas anteriores del PMB. La ubicación de los puntos se presenta en la **Figura N° 6-1**, y el detalle en la **Tabla N° 6-1**. En **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**, se entrega el detalle de los puntos, junto con el tipo de captura.

Tabla N° 6-1. Puntos de monitoreo de fauna.

PM	Coordenadas Datum (WGS84) Huso 19		Sector	Subsector	Voluntario
	Este	Norte			
S5	587.551	7.380.785	Peine	Salada	X
FS1	587.869	7.380.233	Peine	Salada	-
FSd1a	587.043	7.381.143	Peine	Saladita	-
FI11	586.512	7.382.060	Peine	Interna	X
FI17	586.032	7.383.098	Peine	Interna	X
F44	591.638	7.378.759	Peine	Peine terrestre	-
F45	591.248	7.380.993	Peine	Peine terrestre	-
FP1	577.768	7.376.209	La Punta y La Brava	La Punta	-
FP1B	578.241	7.376.584	La Punta y La Brava	La Punta	X
FP1C	577.574	7.375.983	La Punta y La Brava	La Punta	X
FP2a	576.748	7.375.448	La Punta y La Brava	La Brava	-
FP3	577.271	7.375.175	La Punta y La Brava	La Brava	X
FP4	576.403	7.375.395	La Punta y La Brava	La Brava	X
FT10	577.822	7.369.282	Tilopozo	Tilopozo	-
FT1a	577.830	7.370.368	Tilopozo	Tilopozo	-
FT11	578.010	7.369.030	Tilopozo	Tilopozo	-
FT2	580.379	7.369.871	Tilopozo	Tilopozo	-
FT3a	575.626	7.370.684	Tilopozo	Tilopozo	-
FT6	576.296	7.369.572	Tilopozo	Tilopozo	-
FT7	576.027	7.369.232	Tilopozo	Tilopozo	-
FT8a	580.492	7.371.669	Tilopozo	Tilopozo	-
FT12	579.466	7.369.580	Tilopozo	Tilopozo	X
FT9	585.499	7.370.694	Tilopozo	Tilopozo	-
FT13	568.962	7.380.770	Tilopozo	Tilopozo	X
FT4a	565.347	7.386.540	Tilopozo	Tilopozo	-

Nota 1: 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)

Fuente: Elaboración Propia.

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

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, de acuerdo con las metodologías establecidas en la RCA y detalladas en los Informes Anuales de Monitoreo.

Dentro de la componente de Fauna, se evalúan las aves acuáticas, aves terrestres, mamíferos, reptiles y anfibios. Se realizaron 25 puntos de muestreo, con la metodología de transectos (en los 25 puntos) y muestreos complementarios: trampeos de micromamíferos (en nueve puntos), playback de rapaces nocturnas (5 puntos) y anfibios (en 2 puntos) y trampas cámara con atrayente olfativo para macromamíferos (en 12 puntos). Además, para el muestreo de aves se establecieron puntos censales (en las lagunas), tanto para las acuáticas como para las terrestres.

6.1.4 Metodología de muestreo, análisis y/o control

La metodología considera cuatro tipos de muestreo para relevar la fauna vertebrada terrestre de acuerdo a lo establecido en el Plan de Seguimiento de la RCA. El principal tipo corresponde al transecto, al que se suman 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.

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, 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: (a) Representatividad y homogeneidad espacial del ambiente a caracterizar, muestreando un promedio del ambiente; (b) Accesibilidad y condiciones de seguridad; (c) Minimización de sobreposición de puntos de muestreo.

En terreno, cada punto de muestreo es 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 procede a la validación de los ambientes. Luego, se realiza el registro fotográfico en los cuatro puntos cardinales en el ambiente. Se

definieron 6 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 (2 puntos, en Tilopozo), área desprovista de vegetación costra salar (1 punto, en Tilopozo), herbazal (2 puntos, en Tilopozo), matorral (con 8 puntos, 6 en el sector de Tilopozo y 2 en el sector de Peine) y quebrada (1 punto, en Tilopozo). Las fotografías de ambientes se pueden ver en **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**.

Tras describir el ambiente en cada punto de muestreo, el equipo de especialistas procede 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.). En lo posible, se fotografían los individuos avistados, además de las evidencias indirectas de especial interés, como restos óseos, egagrópilas, fecas y huellas.

Los procedimientos de muestreo por taxón, son los que se detallan en los Informes Anuales N°1, N°2 y N°3 del PMB, entregados a la autoridad en Junio 2017, Junio 2018 y Agosto 2019, respectivamente.

En cuanto al análisis de los resultados, existe un trabajo de gabinete y procesamiento de post terreno, el cual involucra el procesamiento y análisis de los datos, en cuanto a las variables: riqueza y composición; caracterización de los taxa; abundancia y densidad; y frecuencia (detalles en informes anuales N° 1, N° 2 y N° 3).

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 (**Ver anexo Responsables y Participantes**).

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 2019 entre el 2 al 7 de septiembre de 2019, mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 9 al 26 de septiembre de 2019.

6.2 RESULTADOS

6.2.1 Resultados del monitoreo campaña de invierno 2019

Los resultados de la campaña de septiembre de 2019 se presentan en detalle en el **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres, y en la Tabla N° 6-2**.

En el área de estudio, en la séptima campaña de monitoreo, se registraron 26 especies, siendo éstas: 2 especies de reptiles, 18 especies de aves y 6 especies de mamíferos, no registrándose especies de anfibios (**Tabla N° 6-2**).

En esta séptima campaña de invierno 2019 no se registraron nuevas especies de fauna. De las 26 especies de fauna detectadas, 10 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 5 especies se encuentran en categoría de conservación listadas en el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI); otras 3 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 2 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 2 especies de reptiles detectadas, 4 de las especies de aves y 4 de las especies de mamíferos (Ver detalle en **Tabla N° 6-2**).

Del total de 10 especies en categoría de conservación, 6 se consideran “*bajo amenaza*”; es decir, en las categorías En Peligro (una especie; 1 reptil), Vulnerable (5 especies; 4 aves y 1 mamífero). Por su parte, las otras 4 especies se catalogan “*sin amenaza*” (precautorias; **Tabla N° 6-2**).

Por su parte, bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 22 de las 26 especies detectadas en el área de estudio se encuentran en condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; en condición de densidades poblacionales reducidas y/o beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas (categorías no excluyentes, ya que una especie puede incluirse en uno, dos o los tres criterios; detalles en **Tabla N° 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 3 de las 26 especies registradas en la campaña (11,5%) son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles registradas y una especie de mamífero); otras 22 especies de las 26 detectadas (84,5%) se clasifican como nativas (18 especies de aves y 4 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 séptima campaña de monitoreo (invierno 2019). Se indica presencia (X) en cada sector.

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	E.C	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
REPTILIA											
SQUAMATA											
TROPIDURIDAE											
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	R ¹	SE	-	E	N	B	44,35		X	X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN ³	SE	-	E	S	B	83,35	X	X	
TOTAL RIQUEZA REPTILIA									1	2	1
AVES											
ACCIPITRIFORMES											
ACCIPITRIDAE											
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35			X
ANSERIFORMES											
ANATIDAE											
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	S/EC	-	-	N	S	A	30			X
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	S/EC	-	-	N	S	A	15	X	X	X
CHARADRIIFORMES											
CHARADRIIDAE											
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	S/EC	BS	-	N	N	A	10,85	X	X	
LARIDAE											
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	VU ¹	S	-	N	S	A	48,65	X	X	
RECURVIROSTRIDAE											
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	S/EC	BS	-	N	S	A	25,85	X	X	
SCOLOPACIDAE											
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	S/EC	B	-	N	S	A	31,65	X	X	
<i>Phalaropus tricolor</i>	Pollito de mar tricolor	S/EC	BS	-	N	S	A	18,35	X		
COLUMBIFORMES											

CLASE ORDEN FAMILIA <i>Especie</i>	NOMBRE COMUN	E.C	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
COLUMBIDAE											
<i>Metriopelia aymara</i>	Tortolita de la puna	S/EC	S	-	N	N	A	9,15			X
<i>Zenaida auriculata</i>	Tórtola	S/EC	-	-	N	N	A	7,5			X
PASSERIFORMES											
FURNARIIDAE											
<i>Geositta punensis</i>	Minero de la Puna	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	X	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
PELECANIFORMES											
ARDEIDAE											
<i>Egretta caerulea</i>	Garza azul	S/EC	BS	-	N	S	A	18,35			X
PHOENICOPTERIFORMES											
PHOENICOPTERIDAE											
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU ⁴	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU ¹	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Flamenco chileno	VU ¹	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
TOTAL RIQUEZA AVES									11	9	10
MAMMALIA											
CARNIVORA											
CANIDAE											
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC ²	E	-	N	N	A	3,65		X	X
PERISSODACTYLA											
EQUIDAE											

CLASE ORDEN FAMILIA <i>Especie</i>	NOMBRE COMUN	E.C	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Equus asinus</i>	Burro	S/EC	-	-	I	N	A	-			X
DIDELPHIMORPHIA											
DIDELPHIDAE											
<i>Thylamys pallidior</i>	Yaca del norte	S/EC	BSE	-	N	N	M	27,50		X	
RODENTIA											
CRICETIDAE											
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP ⁵	E	-	N	N	M	11,15		X	X
<i>Phyllotis xanthopygus</i>	Ratón orejudo amarillo	NP ⁵	S	-	N	N	M	11,15		X	X
CTENOMYIDAE											
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	VU ¹	S	-	E	N	B	73,65		X	X
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA									0	5	5

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°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) Cofré & Marquet 1999.

BSE: B: condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; S: condición de densidades poblacionales reducidas; E: condición benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales. Especies ordenadas sistemáticamente según Martínez & González (2005) para aves e Iriarte (2008) para mamíferos.

MN: Monumento natural.

O (origen): E: endémica; N: nativa; I: introducida.

EH (Especialista de hábitat): S: sí; N: no

M (movilidad): B: baja; M: media; A: alta.

IR: Índice de riesgo: > 75-100: máximo; > 50-75: alto; > 25-50: medio y 0-25: bajo.

Fuente: Elaboración Propia.

En relación a las especies especialistas de hábitat, 11 especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar) y 10 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, tres especies se catalogan con movilidad media, y por último 22 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), 4 se encuentran clasificadas con índice de riesgo alto (las 3 especies de flamencos y el tuco-tuco de Atacama), otras 6 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, cuatro aves y un mamífero), y por último 14 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (11 aves y 3 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 una riqueza similar entre Peine y Tilopozo, aunque con diferente composición. En el sector de Tilopozo la riqueza total es de 16 especies (un reptil, 10 aves y cinco mamíferos); En Peine se registró una riqueza de 16 especies (dos reptiles, nueve aves y cinco mamíferos), mientras que La Punta y La Brava presenta la riqueza más baja con 12 especies, distribuidas en un reptil y 11 aves. Considerando las especies y su presencia en cada sector, solo dos especies encuentran en los 3 sectores: la golondrina de dorso negro (*Pygochelidon cyanoleuca*) y el pato juarjuel (*Lophonetta specularioides*), 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**).

6.2.1.1 Resultados por clase

El análisis por cada clase de vertebrado es el siguiente:

6.2.1.1.1 Anfibios

En el caso de los anfibios, para esta campaña de invierno 2019, no se detectaron especies en los dos puntos de Tilopozo en que se realizó muestreo nocturno.

6.2.1.1.2 Reptiles

Del total de 26 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, dos corresponden a reptiles (7,7%), ambas del Orden Squamata y de la familia Tropiduridae (**Tabla N° 6-2; Fotografía N° 6-1**).

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 Rara (**Tabla N° 6-2**).

Las dos especies de reptiles registradas son endémicas de Chile y presentan baja movilidad. Ambas especies se encuentran catalogadas con densidades poblacionales reducidas (S) y benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E), y una es especialista de hábitat (la lagartija de Fabián, asociada a bordes de salares; **Tabla N° 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 (44,35; **Tabla N° 6-2**).

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

Fotografía N° 6-1. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (arriba), lagartija de Constanza (abajo).



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.1.1.3 Aves

Del total de 26 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, 18 corresponden a aves (69,2%), las que se distribuyen en 7 órdenes y 14 familias (**Tabla N° 6-2; Fotografía N° 6-2**).

Del total de aves registradas en el área de estudio, 4 (22,2%) se encuentran en categoría de conservación, correspondientes a la gaviota andina y las tres especies de flamencos, clasificadas como Vulnerables (**Tabla N° 6-2**).

En relación a la clasificación de las especies de aves en las categorías BSE, de las 18 especies, 15 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 nueve especies se consideran beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), 10 especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), y seis especies son benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E). Ninguna de las especies de aves se considera Monumento Natural (**Tabla N° 6-2**).

En relación al origen, todas las especies son nativas, mientras que 10 especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 18 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, 3 especies presentan un riesgo alto (las tres especies de flamencos), otras 4 presentan un riesgo medio, y 11 especies presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 6-2**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de Peine y Tilopozo presentan similar riqueza con nueve a 10 especies, mientras que en La Punta y La Brava se registró la mayor riqueza de aves, con 11 especies (**Tabla N° 6-2**).

Fotografía N° 6-2. Aves del área de estudio: playero de Baird (superior, izquierda), garza azul (superior, derecha), chorlo de la puna (abajo, izquierda) y caití (inferior, derecha).



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.1.1.4 Mamíferos

Del total de 26 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, 6 corresponden a mamíferos (23,1%), las que se distribuyen en 4 órdenes y 5 familias (**Tabla N° 6-2; Fotografía N° 6-3; Fotografía N° 6-4**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, 4 especies (66,7%) 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 ratoncito 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 6 especies, 5 se encuentran catalogadas en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que una especie se considera beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria (B), 3 especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), mientras que 3 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° 6-2**).

En relación al origen de las especies de mamíferos, 1 de ellas es endémica de Chile (el tuco-tuco de Atacama), 4 especies son nativas, y la restante es catalogada introducida (el burro). Por otro lado, ninguna especie de mamíferos se considera especialista de hábitat. Solo 2 especies presentan movilidad alta (el zorro culpeo y el burro), 3 especies presentan movilidad media (el ratón orejudo amarillo, el ratoncito andino y la yaca del norte), y 1 especie movilidad baja (el tuco-tuco de Atacama). En cuanto al índice de riesgo que presentan las especies, 1 especie presenta un índice de riesgo alto (el tuco-tuco de Atacama), 1 especie representa un índice de riesgo medio (*Thylamys pallidior*), el resto de las especies (3) 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 y Peine presentan la misma riqueza con 5 especies de mamíferos (**Tabla N° 6-2**).

Fotografía N° 6-3. Macromamífero en el área de estudio: zorro culpeo.



35 °F 1 °C ●

09-04-2019 02:42:55

Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 6-4. Micromamíferos del área de estudio: lauchón orejado amarillo (superior), y ratón andino (inferior).



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.1.2 Composición por ambiente

Para los reptiles, en los ambientes terrestres (matorral) de los sectores de Peine y Tilopozo se registró solo una especie (*Liolaemus constanzae*). Sólo en los ambientes de humedal hubo registros para ambas especies: la lagartija de Constanza se presentó en el humedal pajonal en Tilopozo, 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 mayoritariamente en el humedal salar de La Punta y La Brava, con 11 especies registradas durante la campaña (nueve de ellas acuáticas), seguido por el humedal salar de Peine con 9 especies (8 de ellas acuáticas); el humedal pajonal de Tilopozo, con 8 especies (5 terrestres, 3 acuáticas), el matorral de Tilopozo, con 5 especies y finalmente el herbazal de Tilopozo solo 1 especie (terrestre). Por otra parte, no se registraron especies de aves en ninguno de los otros tres ambientes (ADV costra salar, matorral de Peine y quebrada; **Tabla N° 6-3**).

Para los mamíferos, la mayor riqueza se encuentra en el ambiente de humedal pajonal de Tilopozo con cinco especies, seguido por el matorral en Peine y Tilopozo, ambos con tres especies. Por otra parte, el ambiente de quebrada en el sector de Tilopozo registró dos especies, mientras que para el humedal salar de Peine y el herbazal de Tilopozo 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 pajonal de Tilopozo, con 14 especies registradas en total (un reptil, ocho aves y cinco mamíferos), lo que representa un 53,8% de toda la fauna registrada en la campaña; seguido por los ambientes humedal salar de La Punta y La Brava, con 12 especies, y el humedal salar de Peine, con 11 especies. El ambiente terrestre de matorral en Tilopozo presentó una riqueza de 9 especies (un reptil, cinco aves y tres mamíferos), seguido del ambiente de matorral de Peine, con cuatro especies (un reptil y tres mamíferos), y el matorral de Tilopozo junto con el herbazal, con dos especies. Por su parte, el ambiente área desprovista de vegetación costra salar (ADV costra salar), no registró especies 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. (invierno 2019). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.

CLASE NOMBRE COMUN	AMBIENTE POR SECTOR							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal salar	Humedal salar (Salada, Saladita, Interna)	Matorral	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
REPTILIA								
Lagartija de Constanza			X			X	X	
Lagartija de Fabián	X	X						
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	1	1	1	0	0	1	1	0
AVES								
Aguilucho común						X		
Pato jergón chico						X		
Pato juarjual	X	X				X		
Chorlo de la puna	X	X						
Gaviota Andina	X	X						
Caití	X	X						
Playero de Baird	X	X						
Pollito de mar tricolor	X							
Tortolita de la puna						X	X	
Tórtola					X	X	X	
Minero de la Puna							X	
Golondrina de dorso negro	X	X				X		
Bailarín chico común	X					X	X	
Chirihue verdoso							X	
Garza azul						X		
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Flamenco de James o Parina chica	X	X						
Flamenco chileno	X	X						
TOTAL RIQUEZA AVES	11	9	0	0	1	8	5	0
MAMMALIA								
Zorro culpeo		X	X			X	X	X
Yaca del norte			X					
Burro						X	X	
Ratón andino						X		
Ratón orejudo amarillo						X		X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X		X	X	X	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	0	1	3	0	1	5	3	2
RIQUEZA POR AMBIENTE	12	11	4	0	2	14	9	2

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

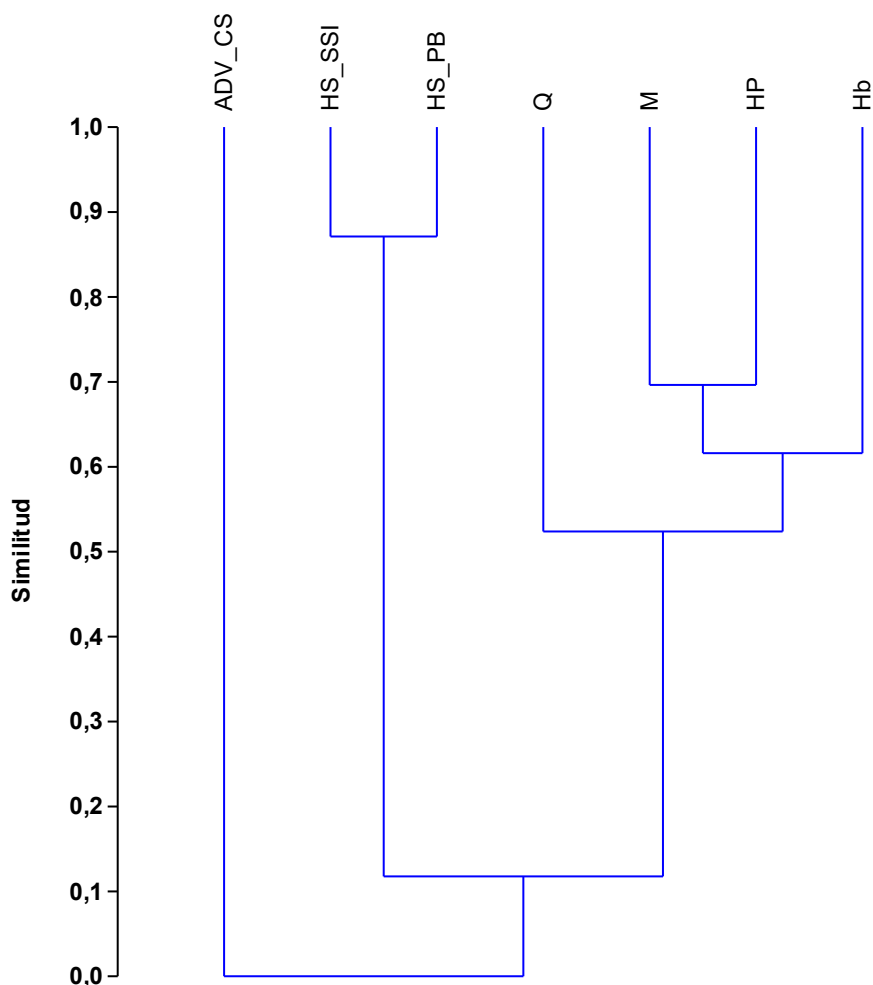
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.1.3 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 6-3**, se obtiene el fenograma de similitud (**Figura N° 6-2**).

Según los resultados de similitud, se forman tres 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, se agrupan los dos sistemas acuáticos de humedal salar con cerca de un 87% de similitud, correspondientes a La Punta y La Brava por una parte, y a las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna) por otra. Finalmente, se agrupa un conjunto de cuatro ambientes (un ambiente acuático y los 3 restantes terrestres) a una similitud cercana al 54%, dentro de los cuales los más similares son el matorral y el humedal pajonal (con un 69% de similitud), seguidos por el herbazal (con cerca de un 63% de similitud) y finalmente la quebrada, con una similitud cercana al 54% (**Figura N° 6-2**).

Figura N° 6-2. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. invierno 2019.



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.

6.2.1.4 Abundancia y Frecuencia

En el caso de las dos especies de reptiles, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, con 23 ejemplares avistados, lo que representa un 65,7% de abundancia relativa, mientras que la lagartija de Constanza presenta una abundancia relativa de 34,3%, con 12 individuos registrados (**Tabla N° 6-4**). En el caso de la frecuencia, el patrón se mantiene, ya que la lagartija de Fabián fue la más frecuente, registrada en siete de los 25 puntos de muestreo, lo que representa un 28% de frecuencia relativa, mientras que la lagartija de

Constanza fue registrada en cinco puntos de muestreo, obteniendo un 20% de frecuencia relativa (**Tabla N° 6-4**).

En relación a las aves censadas, las especies más abundantes fueron la parina grande, con 212 ejemplares (36,7% de abundancia relativa), el flamenco chileno (67 ejemplares; 11,6% de abundancia relativa), la parina chica (50 individuos, lo que representa un 8,7% de abundancia relativa), el chorlo de la puna (45 individuos; 7,8%), el playero de Baird (42 individuos; 7,3%), la tortolita de la puna (33 ejemplares; 5,7%) y la gaviota andina (32 individuos; 5,5%); mientras que el resto de las especies presentó una abundancia baja, variando entre 1 a 28 ejemplares (**Tabla N° 6-4**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el playero de Baird (registrado en 9 puntos; con un 36% de frecuencia), el chorlo de la puna (8 puntos, 32%), el caití, la parina grande y el flamenco chileno (registradas en 7 puntos; 28% de frecuencia). En tanto, el resto de las especies son poco frecuentes, variando en su registro en 1 a 6 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 registrado con 5 ejemplares observados en un punto de muestreo y 7 registros indirectos en otros 7 puntos, por lo que su frecuencia es de 32%. En el caso del burro, hubo registro directo de 5 ejemplares en un punto, y registros indirectos en otros 4 puntos, lo que representa un 20% de frecuencia, mientras que el zorro culpeo se registró con 4 ejemplares en cuatro puntos, además de registros indirectos en otros cuatro puntos de muestreo, con una frecuencia de 32% (**Tabla N° 6-4**). Las otras tres especies de roedores y marsupiales fueron observadas por trampeo.

**Tabla N° 6-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna.
(invierno 2019).**

CLASE Nombre común	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA (%)
REPTILIA				
Lagartija de Constanza	12	34,3	5/25	20,0
Lagartija de Fabián	23	65,7	7/25	28,0
TOTAL REPTILIA	35	100	-	-
AVES				
Aguilucho común	2	0,3	1/25	4,0
Pato jergón chico	2	0,3	1/25	4,0
Pato juarjual	6	1,0	3/25	12,0
Chorlo de la puna	45	7,8	8/25	32,0
Gaviota Andina	32	5,5	6/25	24,0
Caití	14	2,4	7/25	28,0
Playero de Baird	42	7,3	9/25	36,0
Pollito de mar tricolor	11	1,9	2/25	8,0
Tortolita de la puna	33	5,7	5/25	20,0
Tórtola	9	1,6	3/25	12,0
Minero de la Puna	2	0,3	1/25	4,0
Golondrina de dorso negro	8	1,4	3/25	12,0
Bailarín chico común	13	2,3	5/25	20,0
Chirihue verdoso	28	4,9	2/25	8,0
Garza azul	1	0,2	1/25	4,0
Flamenco andino o Parina grande	212	36,7	7/25	28,0
Flamenco de James o Parina chica	50	8,7	4/25	16,0
Flamenco chileno	67	11,6	7/25	28,0
TOTAL AVES	577	100,0	-	-
MAMMALIA				
Zorro culpeo	4+4x	-	8/25	32,0
Yaca del norte	1	-	1/25	4,0
Burro	5+4x	-	5/25	20,0
Ratón andino	27	-	3/25	12,0
Ratón orejudo amarillo	11	-	4/25	16,0
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	5+7x	-	8/25	32,0

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

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

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.5 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 4,5 individuos/transecto (en 2 puntos de muestreo en Tilopozo), seguido por el humedal salar, con 2,09 individuos/transecto (en 11 puntos de muestreo repartidos en los sectores de La Punta y La Brava y Peine), mientras que el ambiente de matorral presentó una baja abundancia relativa con 0,38 individuos/transecto (en 8 puntos de muestreo entre Peine y Tilopozo). En tanto, en los ambientes de área desprovista de vegetación costra salar, herbazal y quebrada, no se registró ningún ejemplar (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

En el caso de las aves, 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 44,18 individuos/transecto; valor significativamente mayor a los siguientes ambientes, el humedal pajonal, con 18,0 ind/transecto, seguido por el matorral (6,63 ind/transecto). En los restantes ambientes, en tanto (área desprovista de vegetación costra salar, herbazal y quebrada), no se registró ningún ejemplar (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

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

En el caso de los micromamíferos, fueron registradas tres especies mediante trapeo: la yaca del norte, el ratón andino y el ratón orejudo amarillo (**Tabla N° 6-5**). En relación a la yaca del norte, fue detectada en uno de los seis ambientes trampeados, con un IDR de 0,8 (en ambiente de matorral) y con solo un individuo capturado. El ratón andino fue registrado en 2 de los 6 ambientes en los que se llevó a cabo el trapeo; con un IDR variando (en los ambientes en que fue capturado) entre 0,8% (en el ambiente de matorral) a 21,7% (en humedal pajonal), con 1 a 26 ejemplares capturados, respectivamente. Por último, el ratón de orejudo amarillo fue registrado en 4 de los 6 ambientes en los que se llevó a cabo el trapeo, y con un IDR variando entre 1,7% (en el ambiente de matorral) a 3,3% (en quebrada y herbazal), con 2 a 4 ejemplares capturados (**Tabla N° 6-5**). En los ambientes de humedal salar y área desprovista de vegetación costra salar, en tanto, no hubo registro de especies (**Tabla N° 6-5**).

Tabla N° 6-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trapeados. (invierno 2019).

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%)												
Nombre común	INVIERNO 2019											
	HS		ADV_CS		Hb		HP		M		Q	
	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR
Yaca del norte	0	0/60	0	0/60	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

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

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

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2 Límites considerados en la evaluación

En la línea de base del proyecto, se establecieron diferentes escalas de comparación (tanto en riqueza y composición como en abundancia), y en relación con los límites considerados, se tiene lo indicado en la RCA, (pág. 57/72) niveles o límites comprometidos como “Mantenimiento dentro de su variación histórica”.

7 TAPETES MICROBIANOS

Para esta componente, se presentan las actividades y resultados obtenidos del monitoreo semestral de invierno 2019, para las comunidades de microorganismos extremófilos (tapetes microbianos), 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.

El monitoreo de invierno 2019 corresponde al séptimo monitoreo semestral del componente tapetes microbianos. El seguimiento de este componente, 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 componente y que son objeto de seguimiento, corresponden a caracterización laminar de tapetes microbianos; presencia de microbialitos; y/o evaporitas, según lo establecido en la RCA del Proyecto. El período de monitoreo reportado para el presente informe se enmarca entre los días 2, 3 y 4 de septiembre de 2019, correspondiente a la campaña de invierno.

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: Sector Peine (Laguna Salada, Saladita e Interna), Sector Laguna La Punta y 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 de microorganismos, con una frecuencia de monitoreo semestral.

7.1 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1.1 Área de Estudio

El área de monitoreo para el componente tapetes microbianos se encuentra situado en el sector sur del Salar de Atacama, y considera tres sectores a monitorear:

- 1) Peine, conformada por laguna Salada, Saladita e Interna.
- 2) La Punta y La Brava.
- 3) Vegas de Tilopozo, incorporadas de forma voluntaria para su inspección y registro.

Cabe mencionar que, 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.

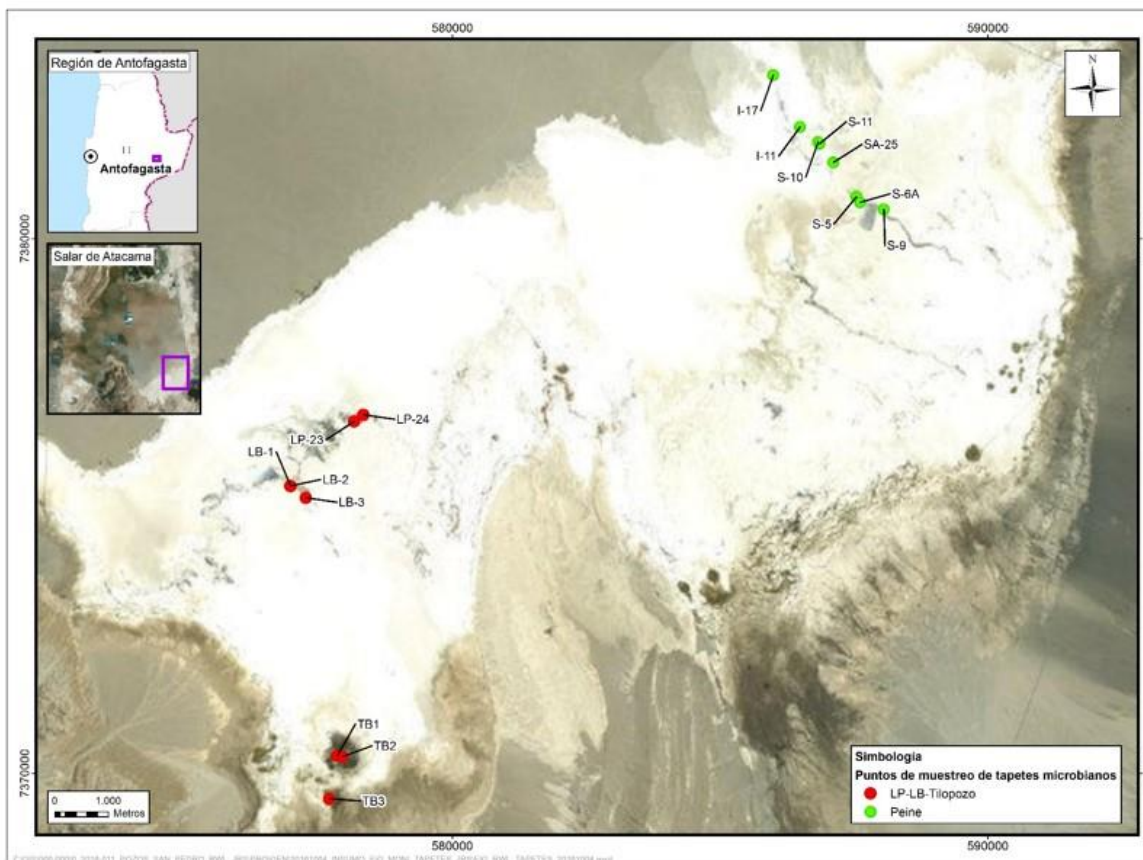
7.1.2 Estaciones de Monitoreo

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 Tilopozo se incorporaron voluntariamente por parte del proyecto tres estaciones de muestreo, identificados como TB1, TB2 y TB3, 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: Cedrem Consultores.

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

Los parámetros utilizados para identificar el estado y evolución de las variables ambientales corresponden a:

- la caracterización del perfil pigmentario laminar de los tapetes microbianos,
- determinación 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 2, 3 y 4 de septiembre 2019, correspondiente a la época de invierno. 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, temperatura, pH y oxígeno disuelto y datos de laboratorio de turbiedad y conductividad, entre otras de la columna de agua y potencial redox, fósforo total, COT y Nitrógeno Total Kjeldahl en los sedimentos para cada estación muestreada. Estos registros fueron realizados por la ETFA ANAM. 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.

La caracterización de los tapetes microbianos *in situ*, el registro de parámetros y otros detalles 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**.

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 03, 04 y 05 de septiembre de 2019 en época invernal.

La caracterización de las capas pigmentadas de los tapetes microbianos se realizó *in situ* y se registró en formularios de terreno para cada Sistema lagunar (**Ver Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Aguas**). El análisis de los datos se desarrolló en gabinete luego de finalizar el monitoreo.

7.2 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados preliminares obtenidos en la campaña de monitoreo de invierno 2019. En el Informe Consolidado Anual N°4 del PMB (monitoreo invierno 2019 y verano 2020), se revisarán los resultados en mayor profundidad y nivel de detalle, junto con su evolución observada durante el período reportado.

7.2.1 Campaña Invierno 2019

7.2.1.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos

En la campaña invierno 2019, se analizaron *in situ* muestras de las 16 estaciones de monitoreo distribuidas en el sector Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, detectándose la presencia de tapetes microbianos en 11 de las 16 estaciones evaluadas (68,8%). No detectándose la presencia de tapetes en las estaciones asociadas al Sector Peine (S-5 y S-10) y en las estaciones pertenecientes al sector vegas de Tilopozo (TB-1, TB-2 y TB-3).

Entre las 11 estaciones de monitoreo con presencia de tapetes microbianos, 5 de ellas con un 45,5%, presentaron tapetes en planicies expuestas del borde lagunar correspondientes a las estaciones S-6A, S-9, SA-25, I-11 y LP-23. A su vez, 1 estación (I-17) con un 9% de representatividad, exhibió tapetes en condiciones sumergidas (17,3 cm en promedio), y las 5 estaciones restantes con un 45,5%, presentaron tapetes localizados tanto en planicies expuestas del borde lagunar como también sumergidos bajo el agua (0,5 - 30 cm), las que correspondieron a las estaciones S-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 2019.

Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	5	45,5
Estaciones con Tapetes sumergidos	1	9,0
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	5	45,5
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-11 (Laguna Salada) con 7,7 capas, mientras que, el menor valor fue registrado en LP-24 (Laguna La Punta) con un promedio de 1,3 capas (**Figura N° 7-2**). Respecto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor número de capas promedio, fue detectado en S-11 (Laguna Salada) con 7,7 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en SA-25 (Laguna Saladita) con 3,0 en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor número de capas fue detectado en I-17 (Laguna Interna) con 4,3 y menor en LP-24 (Laguna La Punta) con 1,3. Por último, en los tapetes de base vegetal de textura coriácea, se observaron 2,7 capas en promedio (**Figura N° 7-2**).

Figura N° 7-2. Número de capas (\bar{x}) y distribución de tapetes microbianos, Invierno 2019.



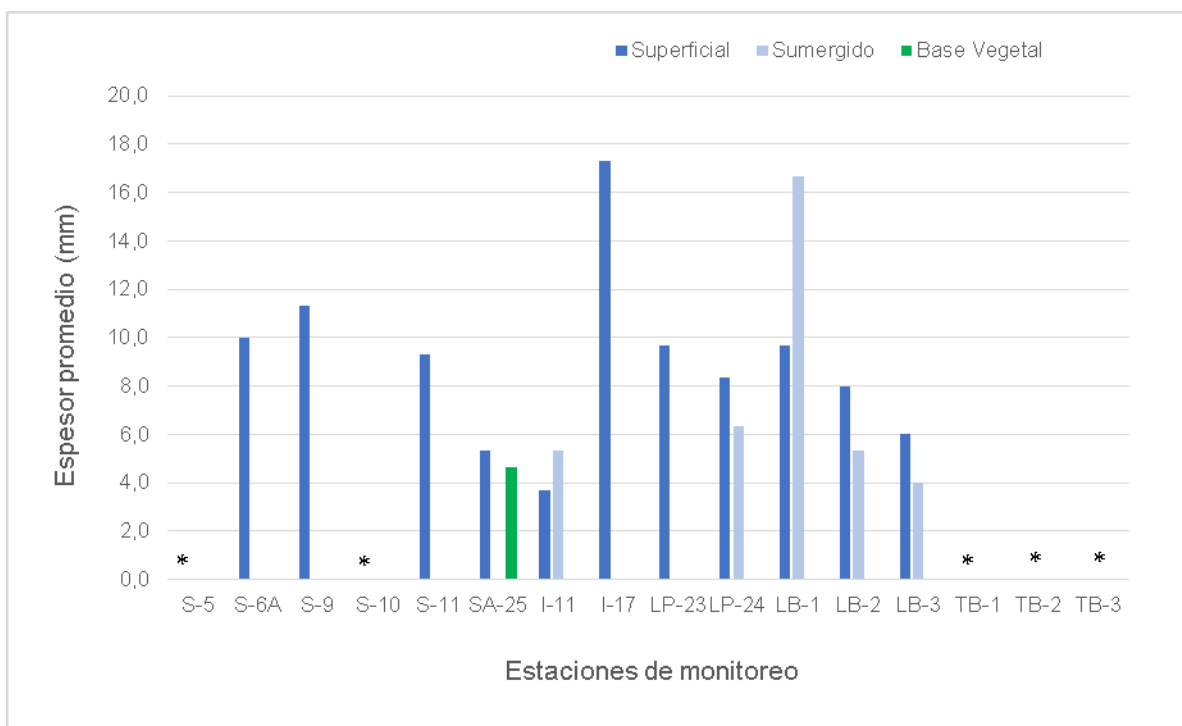
(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.

Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor de los tapetes, se determinó que los mayores y menores espesores promedio, fueron observados en I-17 e I-11 en la Laguna Interna con 17,3 y 3,7 mm, respectivamente (**Figura N° 7-3**). Específicamente, en cuanto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor espesor promedio, fue detectado en S-9 (Laguna Salada) con 11,3 mm, mientras que, fue menor en SA-25 (Laguna Saladita) con 4,7 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en I-17 (Laguna Interna) con 17,3 mm y el menor fue en I-11 (Laguna Interna) con 3,7 mm.

Respecto a los tapetes de base vegetal de textura coriácea, el espesor fue de 5,3 mm promedio (Figura N° 7-3).

Figura N° 7-3. Espesor de tapetes microbianos (\bar{x}), Invierno 2019.



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

Fuente: Elaboración propia

7.2.1.2 Tipología y Morfología de Tapetes Microbianos

La caracterización de las capas pigmentadas, según zonación macroscópica de los tapetes detectados en el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava, mostró 3 tipos de tipologías:

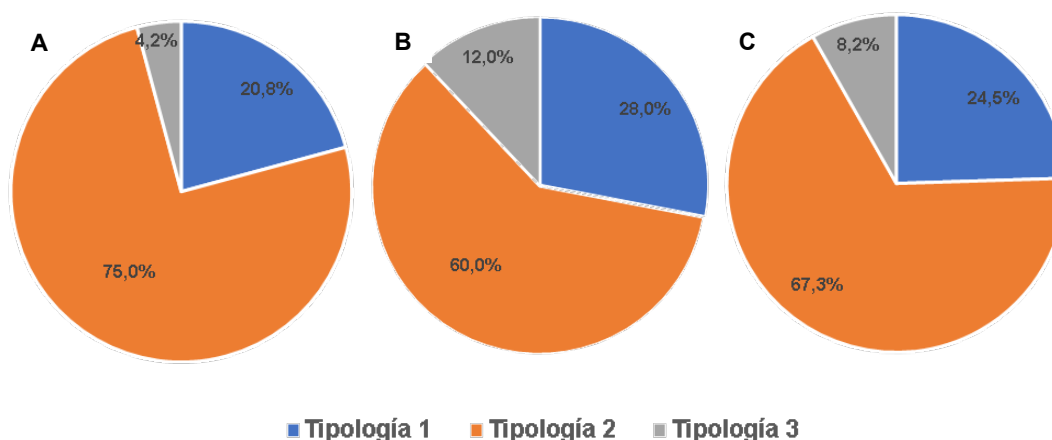
- **Tipología 1:** presentó tres macro-zonas pigmentarias y se observó tanto en el Sector Peine, como en el Sector La Punta y La Brava. Presentaron en general capas subsuperficiales de color verde y/o naranja, capas intermedias color púrpura y/o rosado, y capas profundas con tonalidades marrón y/o verde, seguido en menor medida púrpura (Tabla N° 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**).

- **Tipología 3:** presentó una macro-zona Intermedia en Sector Peine (I-11) y Subsuperficial en Sector La Punta – La Brava (LP-24, LB-1 y LB-3). Estos tapetes exhibieron, principalmente, tonalidades Intermedias blanco-amarillo y Subsuperficiales de tonalidades verde y/o naranja. (**Tabla N° 7-14**).

En cuanto a la proporción de Tipología de tapetes presentes en el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava, correspondió a la Tipología 2 con valores de 75 y 60%, respectivamente (**Figura N° 7-4 A y B**). Seguido de la Tipología 1 con 20,8 y 28,0% para ambos sectores. Por otro lado, la Tipología 3 presentó porcentajes de 4,2 y 12,0%. En el mismo contexto, al considerar el área total de estudio, se observó que la Tipología 2 fue predominante entre los tapetes con un 67,3% en el área de estudio, seguido de Tipología 1 con 24,5% y Tipología 3 con 8,2% (**Figura N° 7-4 C**).

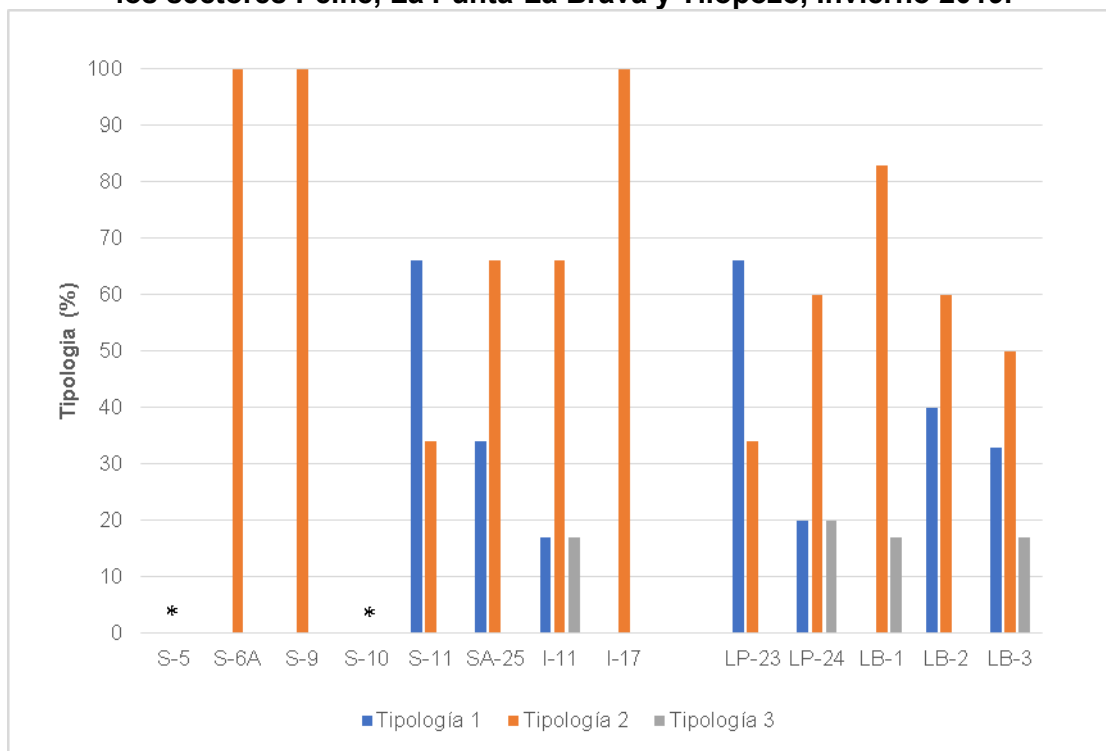
Figura N° 7-4. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava y (C) Área total de estudio. Invierno 2019.



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° 7-5**). Se destaca la presencia de tapetes de Tipología 2 en el Sector Peine, principalmente en las estaciones S6-A, S-9 e I-17. 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-24, LB-1, LB-2 y LB-3.

Figura N° 7-5. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo, Invierno 2019.



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

Fuente: Elaboración propia

En relación a la morfología de los tapetes en cada sector estudiado se distinguieron principalmente 3 tipos de morfología:

- Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados, estratificados y pigmentados, característicos de Laguna Salada (S-9).
- Tapetes convexos, de consistencia mucilaginosa, los cuales se detectaron principalmente en Laguna La Brava (LB-1 y LB-3).
- Tapetes planos, de consistencia blanda, detectados especialmente en Laguna La Brava (LB-2).

Los tapetes microbianos muestreados en la campaña de invierno 2019, presentaron diversas tipologías, predominando la Tipología 2. Las morfologías macroscópicas, presentaron, principalmente, contexturas planas o convexas, de estructura coriácea y algunos con consistencia mucilaginosa. El espesor varió entre 3 y 22 mm, mientras que el número de capas detectadas, varió entre 2 a 10. Por otra parte, hubo muestras que no

presentaron tapetes microbianos, por lo que se consideraron con 0 número de capas y 0 mm de espesor (**Tabla N° 7-3**).

Tabla N° 7-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos, Invierno 2019.

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	15	7	7	4
	S-9	0	100	0	Plana	14	10	6	5
	SA-25	34	66	0	Plana y coriácea	6	3	3	2
	S-10	Sin tapetes							
	S-11	66	34	0	Plana	10	8	9	5
	I-11	17	66	17	Plana y coriácea	6	3	5	2
	I-17	0	100	0	Plana	22	10	5	4
La Punta-La Brava	LP-23	66	34		Plana	11	8	6	4
	LP-24	20	60	20	Plana y coriácea	10	0	7	0
	LB-1	0	83	17	Plana, convexa y coriácea. Mucilaginosa.	17	6	7	3
	LB-2	40	60	0	Plana y coriácea, Consistencia blanda	11	0	7	0
	LB-3	33	50	17	Plana, coriácea y consistencia blanda	7	3	5	2
Tilopozo	TB-1	Sin tapetes							
	TB-2								
	TB-3								

Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3 Tapetes microbianos por Sector y Estación de Monitoreo

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

7.2.1.3.1 Sector Peine

En este sector se observó el desarrollo de tapetes microbianos en las estaciones de monitoreo de la laguna Salada en las estaciones S-6A y S-9, en la laguna Saladita en las estaciones S-11 y SA-25, y en la laguna Interna en I-11 e I-17. En tanto, en las estaciones

de monitoreo S-5 y S-10 no se detectó la presencia de tapetes microbianos, ni microbialitos y/o evaporitas.

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

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 17,3 mm en la estación I-17 y un mínimo promedio de 3,7 mm en la estación I-11. En la Laguna Salada fluctuaron entre un máximo de 11,3 mm en la estación S-9 y un mínimo de 10 mm en la estación S-6A. Finalmente, en la Laguna Saladita, estos valores fluctuaron entre un máximo de 9,3 mm en la estación S-11 y un mínimo de 4,7 mm en la estación SA-25 (**Figura N° 7-3**).

En general, en el Sector Peine, se observó entre las estaciones y lagunas la continuidad espacial de los tapetes con morfología plana. Excepto por las estaciones SA-25 (Saladita) e I-11 (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 (70,8%) en el sector, siendo en esta tipología la tonalidad verde y rosado (~33,0%) 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.

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

En actual campaña, no se registraron tapetes microbianos, ni microbialitos y/o evaporitas.

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

Las muestras provienen de la planicie expuesta del borde lagunar, la cual presenta una morfología irregular con marcas de huellas humanas, con áreas de coloración rosado-gris y tonalidades verde y púrpura (costra salina ~3 mm). Los tapetes presentaron dos macrozonas 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 (3 cm de profundidad), no se observó presencia de tapetes.

Respecto a la pigmentación, en la zona Intermedia las tonalidades predominantes correspondieron a rosado y púrpura. En tanto, en la zona Profunda predominaron las capas marrones, seguida de amarillo y blanco (**Tabla N° 7-4**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 7 y 15 mm, con un número de capas entre 4 y 7.

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	Rosado	Púrpura	Rosado
		Verde	Verde claro	Púrpura
		Púrpura		
	Profunda	Amarillo	Gris	Amarillo
		Púrpura	Marrón	Blanco
			Marrón claro	
Marrón		Verde oscuro		
Total de capas		6	7	4
Espesor (mm)		8	15	7

Fuente: Elaboración propia

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

Las muestras provienen de una planicie expuesta del borde de la laguna, la que exhibe una superficie lisa, húmeda, con presencia de huellas humanas, y áreas de coloración predominantemente rosado y tonalidades verde-gris, con presencia de costra salina (~2 mm). Los tapetes observados presentaron dos macro-zonas de pigmentación (Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 2, no observándose zona Subsuperficial. Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación a la estación de monitoreo. Por último, en los sedimentos bajo la columna de agua (7 cm de profundidad) no se observó presencia de tapetes.

Respecto a la pigmentación, en la zona Intermedia las tonalidades predominantes correspondieron a rosado y naranja. En tanto, en la zona Profunda predominaron las capas marrones, seguida de púrpura y verde (**Tabla N° 7-5**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 10 y 14 mm, con un número de capas entre 5 y 6.

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			
	Profunda	Marrón claro	Verde	Amarillo	
		Marrón	Blanco	Verde	
		Púrpura	Púrpura	Marrón	
	Total de capas		6	6	5
	Espesor (mm)		14	10	10

Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.1.4 Laguna Saladita: Estación de monitoreo S-10

En actual campaña, no se registraron tapetes microbianos, ni microbialitos y/o evaporitas.

7.2.1.3.1.5 Laguna Saladita: Estación de monitoreo S-11

Las muestras provienen de una planicie expuesta ubicada en el interior de la laguna, la que exhibe una superficie lisa, 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). Los tapetes observados presentaron tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1, no obstante, uno de los tapetes presentó la Tipología 2. Destaca la continuidad

espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación a la estación de monitoreo.

Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la tonalidad fue uniforme (naranja y verde), por otro lado, en la zona Intermedia las tonalidades predominantes correspondieron a blanco, rosado y púrpura. En tanto, en la zona Profunda, para los tapetes correspondientes, predominaron las capas de tonalidad marrón, púrpura, rosado y amarillo (Tabla N° 7-6). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 8 y 10 mm, con un número de capas entre 5 y 9.

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	Verde	Verde
	Intermedio	Blanco	Blanco	Blanco
		Amarillo	Rosado	Rosado
			Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	S/C
		Rosado	Amarillo	
		Amarillo	Rosado	
		Púrpura	Púrpura	
		Verde		
Total de capas		9	9	5
Espesor (mm)		10	10	8
Profundidad (cm)		2	0,5	0

Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.1.6 Laguna Saladita: Estación de monitoreo SA-25

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, próxima al borde de la laguna, con costra salina (~1 mm) y tonalidades rosada y blanca (Tabla N° 7-7), 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 (Tabla N° 7-8); ambas sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana y esferoidal, de las capas en los tapetes en relación a la estación de

monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (19 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes.

Los tapetes superficiales planos, presentaron dos macro-zonas, Intermedia y Profunda, correspondiente a Tipología 2. Respecto a la pigmentación, las tonalidades predominantes fueron rosado, seguido de naranja en la zona Intermedia, mientras que, en la zona Profunda, las tonalidades que predominaron fueron verde (oscuro y claro) y en menor medida negro. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 3 y 6 mm, con un número de 3 capas, 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	S/C
	Intermedia	Rosado Naranja	Rosado Naranja	Rosado
	Profunda	Verde claro	Verde	Verde Negro
Total de capas		3	3	3
Espesor (mm)		5	6	3

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 e Intermedia), 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, seguido del púrpura. Finalmente, en la zona Profunda, predominó la tonalidad marrón (**Tabla N° 7-8**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 6 mm, con un número de capas entre 2 y 3. Por último, en los sedimentos bajo la columna de agua (7 cm de profundidad) no se observó presencia de tapetes.

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
	Intermedia	Púrpura	Rosado	Rosado
	Profunda	S/C	Marrón	Marrón
Total de capas		2	3	3
Espesor (mm)		5	6	5

Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.1.7 Laguna Interna: Estación de monitoreo I-11

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-beige (**Tabla N° 7-9**), y (ii) una superficie coriácea sin costra salina, ligeramente humedecida, ubicada en el borde de la laguna y con formaciones levemente esféricas, con tonalidades verdes oscuras (**Tabla N° 7-10**). Ambos sitios sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana y esférica, de las capas en los tapetes en relación a la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (12 cm de profundidad), aunque no se detectó presencia de tapetes microbianos, si se observó una monocapa de color verde en el sedimento.

Los tapetes superficiales planos, presentaron una muestra con tres macro-zonas Subsuperficial, Intermedia y Profunda (Tipología 1), y dos muestras con macro-zonas Subsuperficial e Intermedia (Tipología 2). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja. Mientras que en la zona Intermedia predominó la tonalidad púrpura, no obstante, una de las muestras presentó una tonalidad naranja. La zona Profunda sólo fue observada en una muestra, la que presentó una tonalidad blanca y

verde. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 6 mm, con un número entre 2 y 5 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	Verde	Naranja	Naranja Marrón
			Verde	Verde
	Intermedia	Púrpura	Púrpura	Naranja Púrpura
	Profunda	S/C	Blanco Verde	S/C
Total de capas		2	5	4
Espesor (mm)		4	6	6

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales coriáceos, presentaron dos macro-zonas (Tipología 2), Subsuperficial e Intermedia. En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde oscuro. En la zona Intermedia predominaron las tonalidades blanco y púrpura, seguido de amarillo. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 3 y 4 mm, con un número entre 2 y 3 capas (**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	S/C	Verde oscuro
	Intermedia	Púrpura	Blanco Amarillo	Blanco Amarillo
	Profunda	S/C	S/C	S/C

Tapetes Superficiales Húmedos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Total de capas	2	2	3
Espesor (mm)	4	4	3

Fuente: Elaboración propia

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

La estación de monitoreo en la presente campaña Invierno 2019, se encontró bajo el agua producto del aumento del nivel hídrico de la laguna, dada las intensas lluvias registradas en la época de verano. En este contexto, la muestra fue obtenida desde el sustrato bajo la columna de agua entre 14 y 16 cm de profundidad. Esta se caracterizó por presentar una superficie rugosa e irregular, con áreas de coloración predominantemente rosado, sin costra salina, sin embargo, presenta una fina capa de sal y sin huellas humanas. Cabe mencionar, que la superficie de la estación de monitoreo originalmente correspondía a una planicie expuesta en el borde de la laguna sin cubierta de agua.

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

En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue rosado, naranja y verde. En tanto, en la zona Intermedia predominaron las tonalidades amarillo y púrpura. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 10 y 22 mm, con un número entre 4 y 5 capas. Las muestras sumergidas fueron tomadas a una profundidad entre 14 y 16 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	Rosado	Rosado	Rosado
		Naranja	Naranja	Verde
			Verde	Verde

Tapetes Superficiales Planos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Profunda	Amarillo	Amarillo	Amarillo
	Verde	Púrpura	Púrpura
Total de capas	4	5	4
Espesor (mm)	10	20	22
Profundidad (cm)	14	16,5	16

Fuente: Elaboración propia

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

En el Sector Peine, en invierno 2019, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna Saladita (S-11, SA-25) e Interna (I-11). Presentando, de manera frecuente, en la macro-zona subsuperficial capas verde y naranja, que representarían a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos que probablemente podrían corresponder a cianobacterias filamentosas y 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 probablemente podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y heterótrofos. En la macro-zona profunda predominaron las capas de coloración marrón y en menor medida púrpura y rosado, 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 2019.

Estación/Muestra			S-11 P		SA-25 BV		I-11 P
			1	2	2	3	2
Macro-zona	Subsuperficial	Verde	■	■			■
		Verde oscuro			■	■	
		Naranja	■	■			■
	Intermedia	Rosado		■	■	■	
		Púrpura		■			■
		Amarillo	■				
		Blanco	■	■			
	Profunda	Púrpura	■	■			
		Rosado	■	■			
		Marrón	■	■	■	■	
		Verde	■				■

Estación/Muestra	S-11 P		SA-25 BV		I-11 P
	1	2	2	3	2
Amarillo					
Blanco					

P: Tapete plano; 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 las macro-zonas intermedia y profunda. En la macro-zona intermedia predominaron capas rosado y púrpura, y en la macro-zona profunda se observaron capas marrón y en menor medida púrpura y amarillo.

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 y naranja. Cabe destacar que no fue detectada la macro-zona profunda.

Respecto a Laguna Interna, la estación I-11, se caracterizó por exhibir una macro-zona subsuperficial con capas de tonalidad verde, mientras que la macro-zona intermedia presentó capas principalmente de color púrpura. Por otro lado, la estación I-17 presentó una macro-zona intermedia con capas de tonalidad rosada y en menor medida verde y naranja. En tanto, en la macro-zona profunda mostró capas de tonalidad amarillo y púrpura. Cabe destacar que en la estación I-11 no fue detectada la macro-zona profunda 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 (como cianobacterias filamentosas y 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 probablemente 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 2019.

Estación/Muestra		S-6A P			S-9 P			S-11 P	SA-25 BV	SA-25 P			I-11 C		I-11 P		I-17 P				
		1	2	3	1	2	3	3	1	1	2	3	1	3	1	3	1	2	3		
Macro-zona	Subsuperficial	Verde																			
		Verde oscuro																			
		Naranja																			
		Marrón																			
	Intermedia	Rosado																			
		Púrpura																			
		Naranja																			
		Amarillo																			
		Verde																			
		Blanco																			
	Profunda	Púrpura																			
		Marrón																			
		Marrón claro																			
		Verde																			
		Verde claro																			
		Verde oscuro																			
		Amarillo																			
		Blanco																			
		Gris																			
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 Laguna Interna (I-11), la que presentó sólo la macro-zona intermedia, con capas amarillo y blanco (Tabla N° 7-14). Cabe mencionar, que estas capas podrían corresponder a microorganismos quimiolitautótrofos aerobios, tales como bacterias oxidantes sulfúreas (capas de tonalidad blanca), y microorganismos fotosintéticos autótrofos anoxigénicos (capas de tonalidad amarilla).

Tabla N° 7-14. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector Peine. Invierno 2019.

Estación/Muestra		I-11 C	
		2	
Macro-zona	Intermedia	Amarillo	
		Blanco	

C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.2 Sector La Punta-La Brava

En este sector se observó el desarrollo de tapetes microbianos en todas las estaciones de monitoreo. En tanto, en las estaciones LP-23 y LB-1 se detectó la presencia evaporitas, mientras que en LP-24 se detectó la presencia de microbialitos.

En relación al número de capas por estación de monitoreo, la Laguna La Brava (LB-2) presentó tapetes con mayor estratificación en promedio (5,3 capas). Por el contrario, la Laguna La Punta (LP-24) presentó tapetes con el menor número en promedio (1,3 capas) (Figura N° 7-3).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes, según el sector evaluado, se observó que la Laguna La Brava presentó los valores máximos y mínimos de espesor, con 16,7 y 4,0 en LB-1 y LB-3, respectivamente. En tanto, en la Laguna La Punta se observaron valores intermedios, los que fluctuaron entre 9,7 mm en la estación LP-23 y el mínimo con 6,3 mm en la estación LP-24 (Figura N° 7-3).

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 a la tipología, se observó que la Tipología 2 fue la más frecuente (75,0%) en el sector, siendo en esta tipología la tonalidad rosado (63,5%), seguido del verde (32,9%) y púrpura y naranja (~30%) la que más predominó (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 (LB-1) y tapetes planos de textura superficial gelatinosa, 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.

7.2.1.3.2.1 Laguna La Punta: Estación de monitoreo LP-23

Las muestras provienen de una planicie expuesta ubicada en el borde de la laguna, la que exhibe una superficie rugosa y húmeda; sin presencia de huellas humanas, con evidencia de pisoteo de aves y vegetación ribereña. Además, presenta flujos de agua superficiales y subsuperficiales. Las áreas de coloración fueron predominantemente rosado y blanco, con presencia de costra salina (~3 mm). Dos de los tres tapetes observados presentaron tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1, el otro tapete, contaba con dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), correspondiendo, por tanto, a Tipología 2. Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación a la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (10,4 cm de profundidad), aunque no se detectó presencia de tapetes microbianos, se observó una monocapa de color rosado. Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de microbialitos.

Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la tonalidad fue uniforme, con coloración verde, por otro lado, la zona Intermedia también mostró uniformidad con una tonalidad rosada y en menor medida, púrpura. En tanto, en la zona Profunda predominaron las capas marrón y verde claro, seguido de naranja. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 8 y 11 mm, con un número de capas entre 4 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	Naranja	Verde	Verde	
		Verde			
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado	
		Púrpura			
	Profunda	S/C	Marrón	Blanco	
			Naranja	Verde claro	Naranja
Marrón			Verde claro	Púrpura	
Verde claro					
Total de capas		4	6	5	
Espesor (mm)		8	11	10	

Fuente: Elaboración propia

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

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, cercana al borde de la laguna, con costra salina (~4 mm) y coloración blanca (**Tabla N° 7-16**), y (ii) una superficie coriácea, sumergida, aledaña al borde de la laguna, de sustrato duro y con tonalidades amarilla y verde oscuro (**Tabla N° 7-17**). Ambos sitios sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación a la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (12 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos. Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de evaporitas.

Los tapetes superficiales planos, presentaron las Tipologías 1, 2 y 3. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja, mientras que en la zona Intermedia predominó sólo la tonalidad rosada y púrpura y fue detectada en dos muestras. Por otro lado, la zona Profunda, presentó una tonalidad verde claro siendo detectada en sólo una muestra. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 6 y 10 mm, con un número entre 2 y 7 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	Naranja	Naranja	
		Amarillo oscuro	Verde	Verde	
		Verde			
	Intermedio	Blanco	Rosado	S/C	
		Rosado			
		Púrpura			
	Profunda	Verde claro	S/C	S/C	
	Total de capas		7	3	2
	Espesor (mm)		10	9	6

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los tapetes sumergidos coriáceos, presentaron dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), correspondientes a Tipología 2. En la zona Subsuperficial e Intermedia, las únicas tonalidades observadas fueron verde y púrpura, respectivamente. En cuanto al espesor de los tapetes fluctuaron entre 9 y 10 mm, y cada una con 2 capas. En una de las muestras, no se encontró tapetes microbianos. Las muestras sumergidas fueron tomadas a una profundidad entre 4 y 5 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	S/C
	Intermedio	Púrpura	Púrpura	S/C
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de capas		2	2	0
Espesor (mm)		10	9	0
Profundidad (cm)		4	4	5,2

Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.2.3 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-1

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 rosada, además de la presencia de huellas humanas (**Tabla N° 7-18**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras de constitución mucilaginosas (~6 mm) de una fuerte coloración naranja, de textura coriácea y morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Tabla N° 7-19**). Esta estación presentó escasa vegetación. Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación a la estación de monitoreo. Por otro lado, el examen visual del área indicó presencia de microbialitos.

Respecto a los tapetes superficiales planos, dos de ellos presentaron dos macro-zonas (Tipología 2), Subsuperficial y Profunda, mientras que la otra muestra presentó sólo Tipología 3 (zona Subsuperficial). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde, naranja y rosado. Por otra parte, en la zona Profunda, predominaron las tonalidades marrón y verde claro. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 6 y 12 mm, con un número entre 3 y 7 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	Naranja	Rosado	Rosado
		Verde	Naranja	Naranja
		Verde	Verde	Verde
	Intermedio	S/C	S/C	S/C
		S/C	S/C	S/C
	Profunda	Blanco	S/C	Verde claro
		Marrón		
		Púrpura		
		Marrón		
		Verde claro		
Total de capas		7	3	5
Espesor (mm)		12	6	11

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los tapetes sumergidos coriáceos, de estructura mucilaginoso, presentaron dos macro-zonas (Tipología 2), Subsuperficial e Intermedia. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja y verde, y en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada, seguida de blanco. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 16 y 17 mm, con un número entre 3 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 4 y 30 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	Verde	Verde claro
				Verde oscuro
	Intermedio	Rosado	Blanco	Blanco
			Rosado	Rosado
				Rosado

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Sin costra	Sin costra
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de capas		3	4	5
Espesor (mm)		17	16	17
Profundidad (cm)		30	4,6	4,3

Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.2.4 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-2

La estación de monitoreo presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~1 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración rosada, además de la presencia de huellas humanas, 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. Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación a la estación de monitoreo.

Los tapetes superficiales planos presentaron, principalmente, dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia) correspondientes a Tipología 2 y una con tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), que se corresponde con Tipología 1. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranja y verde, seguido de rosado y amarillo. La zona Intermedia mostró tanto tonalidades rosada como púrpuras, mientras que en la única zona Profunda, predominaron las tonalidades marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 6 y 11 mm, con un número entre 4 y 7 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	Rosado	Rosado	Naranja
		Naranja	Naranja	
		Amarillo	Verde claro	Verde
		Verde	Amarillo	
	Intermedio	Rosado	Púrpura	Púrpura
				Rosado
	Profunda	Marrón	S/C	S/C
Marrón claro				
Total de capas		7	5	4
Espesor (mm)		11	6	7

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, seguido de rosado y naranja. En la zona Intermedia, predominaron las tonalidades púrpura y rosado. Finalmente, en la zona Profunda, la tonalidad marrón fue predominante. En una de las muestras, no se encontró tapetes microbianos. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 7 y 9 mm, con 5 capas, cada una. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 2 y 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	Blanco	S/C
		Verde	Naranja Verde	
	Intermedio	Púrpura	Rosado	S/C
		Rosado	Púrpura	
	Profunda	Marrón	S/C	S/C
	Total de capas		5	5
Espesor (mm)		9	7	0
Profundidad (cm)		2,2	2	4,9

Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.2.5 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-3

La estación de monitoreo, se localiza aledaña a un afluente de la laguna, exhibiendo escasa vegetación acuática, y presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular, con una evidente desecación y con costra salina (~1,5 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración beige y áreas rosadas, además se evidencia la presencia de huellas humanas, y (ii) una superficie sumergida, 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. Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana y convexa de las capas en los tapetes en relación a la estación de monitoreo.

Los tapetes superficiales 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, predominaron las tonalidades púrpura, seguido de rosado. En la zona Profunda predominaron las tonalidades marrón y negro. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 7 mm, con un número entre 3 y 5 capas (**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 Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra	Costra	Sal
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Verde claro	Naranja
		Naranja		Verde claro
		Verde		Verde claro
	Intermedio	Rosado	Púrpura	Púrpura
		Púrpura		
	Profunda	Negro	Marrón	S/C
Total de laminaciones		5	3	3
Espesor (mm)		7	5	6

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos coriáceos presentaron dos macro-zonas organizadas en zonas Subsuperficial y Profunda y zona Subsuperficial e Intermedia, ambos correspondientes a Tipología 2, mientras que en uno de ellos se detectó sólo macro-zona Subsuperficial (Tipología 3). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde oscuro, seguido de naranja y verde. En la zona Intermedia, se observó la tonalidad púrpura, mientras que en la zona Profunda, predominó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 3 y 5 mm, con un número entre 2 y 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1 y 2,5 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		Sin costra	Sin costra	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde oscuro	Verde oscuro	Verde oscuro
		Blanco		
		Naranja		
	Verde			
Intermedio	S/C	S/C	Púrpura	
Profunda	S/C	Marrón	S/C	
Total de capas		4	2	2
Espesor (mm)		4	3	5
Profundidad (cm)		2,5	1	1,5

Fuente: Elaboración propia

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

En el Sector La Punta-La Brava, en invierno 2019, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y La Brava (LB-2 y LB-3). Siendo frecuente, en la macro-zona subsuperficial, las capas verde y en menor medida, naranja y rosado, las que representarían a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos que probablemente podrían corresponder a cianobacterias filamentosas y microalgas (diatomeas, entre otras) y bacterias productoras de compuestos carotenoides (Rodríguez-Aranda y Sanz Montero 2015). Por otro lado, en la macro-zona intermedia, las tonalidades fueron rosadas, estas capas 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, y capas verde claro, posiblemente de características fotótrofas autótrofas anaerobias anoxigénicas, conocidas como bacterias verdes sulfúreas (**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 2019.

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

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

En Laguna La Punta (LP-23 y LP24), se observaron tapetes de Tipología 2, con macro-zona subsuperficial e intermedia. En la macro-zona subsuperficial, predominaron capas verde y naranja, mientras que, en la macro-zona intermedia, predominaron las capas rosada y púrpura. En Laguna La Brava, se observaron tapetes de Tipología 2, con macro-zona subsuperficial e intermedia (LB-1, LB-2 y LB-3) o subsuperficial y profunda (LB-1 y LB-3). En la macro-zona subsuperficial, predominaron las capas verde y naranja, mientras que en la macro-zona intermedia las capas más frecuentes fueron rosado y púrpura. En la macro-zona profunda, predominaron las capas marrón y verde (**Tabla N° 7-25**).

Respecto a la Tipología 2, para ambas lagunas, en las capas verdes observadas, representarían microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (como cianobacterias filamentosas y 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 probablemente podrían corresponder bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y heterótrofos. En la macro-zona profunda predominaron las capas marrón, las cuales representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos, y otras 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 2019.

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	1	2	1	3	1	2	3	2	3	2	3	2	3	
Macro-zona	Subsuperficial	Verde															
		Verde oscuro															
		Verde claro															
		Naranja															
		Amarillo															
		Rosado															
	Intermedia	Rosado															
		Púrpura															
		Blanco															
	Profunda	Púrpura															
		Marrón															
		Verde claro															
		Blanco															

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

La Tipología 3 fue detectada en Laguna La Punta (LP-24) y La Brava (LB-1 y LB-3), mostrando sólo la macro-zona subsuperficial, en la cual predominaron las capas verde y naranja. Estas capas, según lo mencionado anteriormente, podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (como cianobacterias filamentosas y microalgas diatomeas, entre otras) (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 2019.

		Estación/Muestra	LP-24 P	LB-1 P	LB-3 C
			3	2	1
Macro-zona	Subsuperficial	Verde			
		Verde oscuro			
		Naranja			
		Rosado			

P: Tapete plano; C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.3 Sector Vegas de Tilopozo. Invierno 2019

En la actual campaña Invierno 2019, en el sector vegas de Tilopozo, no se detectó la presencia de tapetes microbianos.

7.2.1.4 Registro de microbialitos y evaporitas, invierno 2019.

De acuerdo al 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).

Tabla N° 7-27. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Invierno 2019.

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

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

+: Presencia ; - = Ausencia

7.2.1.5 Parámetros físicos y químicos

En relación a las variables físicas y químicas en matriz agua y sedimentos se realizará un análisis respecto a la presencia de tapetes microbianos, en las relaciones 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 a las variables de calidad de agua registradas en los sectores de Peine y La Punta-La Brava para la campaña de invierno 2019, se destaca que las variables de Conductividad eléctrica, Salinidad, Oxígeno disuelto, Turbiedad y Alcalinidad Total muestran una mayor diferenciación entre sectores y estaciones de monitoreo relativo a la presencia de tapetes microbianos (**Tabla N° 7-28**).

En el Sector Peine las variables conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y salinidad (g/Kg), presentaron mayor registro en la Laguna Interna, con valores que oscilaron entre 52850 y 119100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-11 e I-17 respectivamente. Mientras que, la Laguna Salada y Saladita presentaron valores más bajos, y similares entre lagunas y entre estaciones de monitoreo (**Figura N° 7-6 a y b**). En el sector La Punta-La Brava, se registraron los mayores valores en la Laguna La Brava respecto de La Punta. Específicamente en las estaciones LB-1 y LB-2 con valores de 102000 y 112100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente.

Por otra parte, las concentraciones de oxígeno disuelto detectado en las lagunas Salada y Saladita fueron mayores respecto de lo observado en Interna. En tanto, entre La Punta y la Brava se observaron concentraciones similares. Cabe destacar que, en relación a las

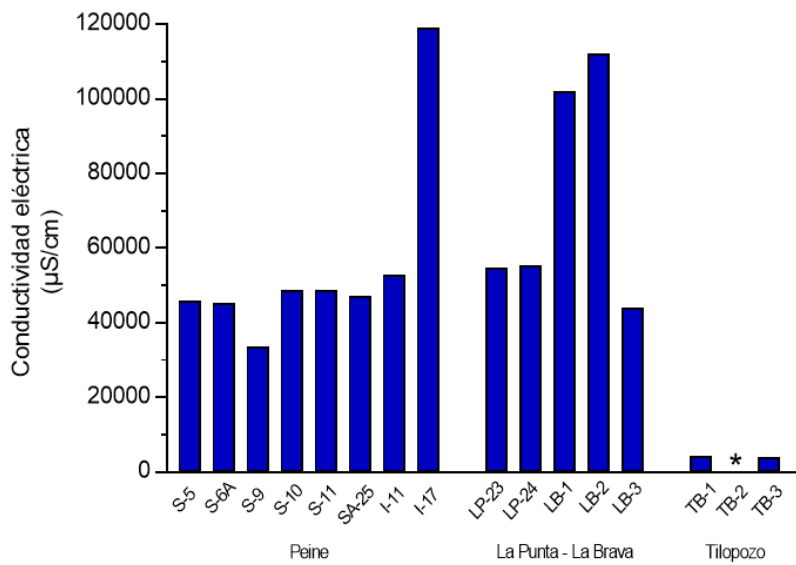
concentraciones de oxígeno, la diferencia observada en el sector Peine y La Punta-La Brava, se relaciona con la mayor salinidad registrada en Interna (I-17) y en La Brava (LB-2), variable que disminuye la solubilidad del oxígeno en estas laguna (**Figura N° 7-6 c**).

La turbiedad por su parte, presenta valores en magnitud similares entre lagunas y estaciones de monitoreo en el sector Peine, presentando valores levemente mayores en Saladita. En tanto, en el sector La Punta-La Brava se registraron valores menores respecto de Peine y entre lagunas en el sector, se observaron menores valores en la Laguna La Brava (**Figura N° 7-6 d**).

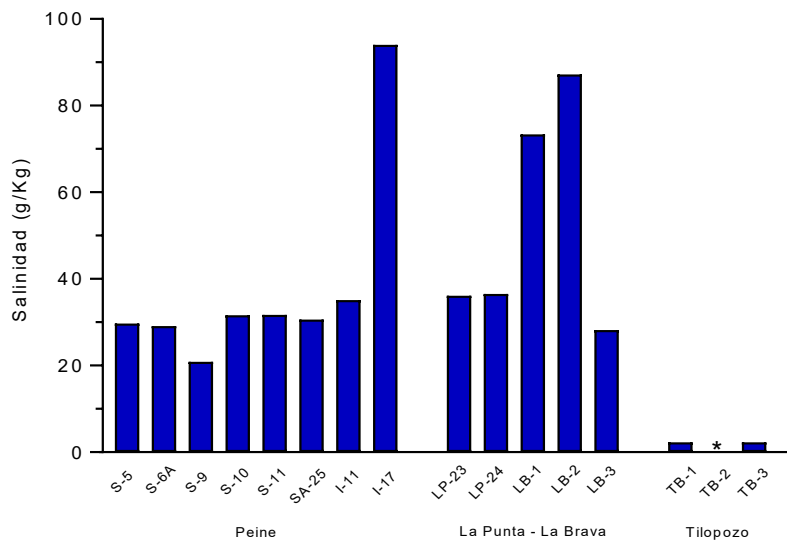
Respecto de la alcalinidad total (CaCO_3), se observaron mayores valores en Salada, seguida de Saladita y menores en Interna. Mientras que, en el sector La Punta-La Brava, las alcalinidades fueron mayores respecto de Peine, y entre lagunas fue mayor en La Punta respecto de la laguna La Brava (**Figura N° 7-6 e**).

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 Punta, respecto de La Brava (**Tabla N° 7-28**).

Figura N° 7-6. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2019.

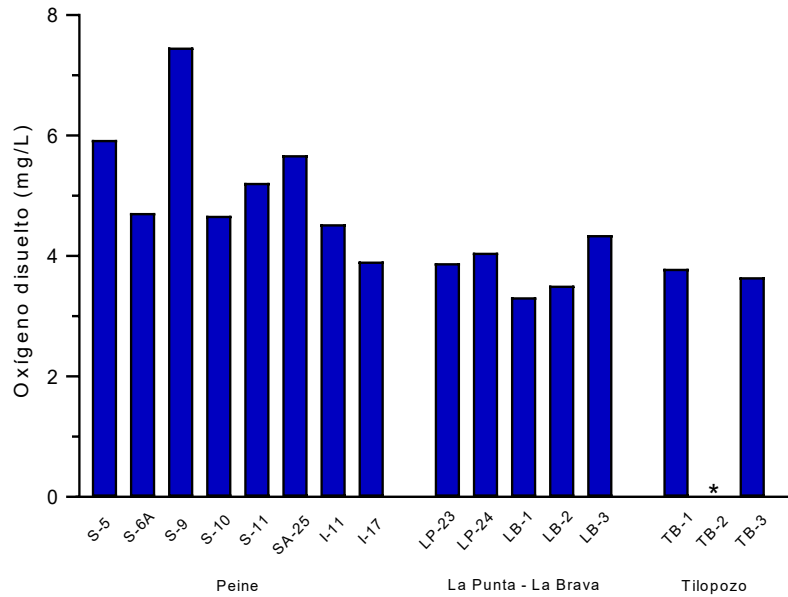


a.

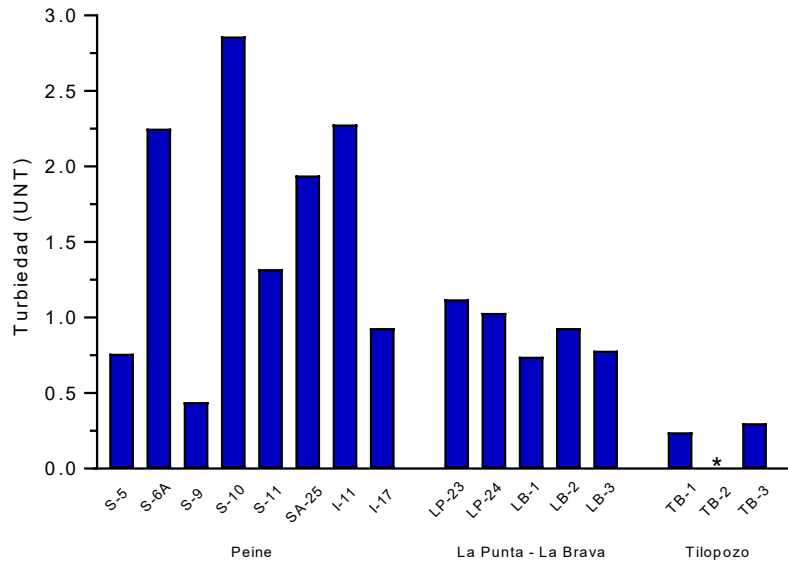


b.

Figura N° 7-6. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2019. (Continuación)



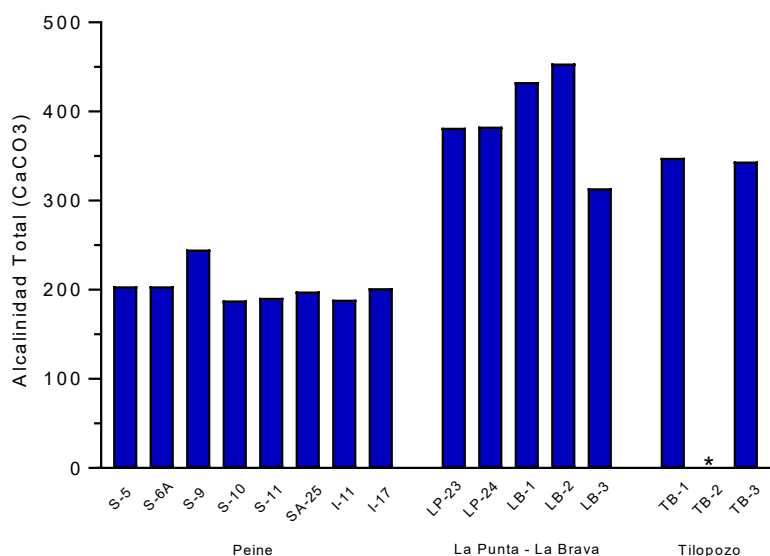
C.



d.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 7-6. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2019. (Continuación)



e.

Fuente: Elaboración propia

En relación a las variables de calidad de sedimentos registradas en los sectores de Peine y La Punta-La Brava para la campaña de invierno 2019, se destaca que la variable Fósforo total fue relevante para la presencia de tapetes microbianos, en tanto se describirán otras variables de importancia para tapetes como COT (Carbono Orgánico Total), potencial Redox y nitrógeno total Kjeldahl (**Tabla N° 7-29**).

En el Sector Peine el carbono orgánico total (COT), presentó mayores registros en la laguna Salada, respecto de Saladita e Interna las que presentaron valores similares. El sector La Punta-La Brava presentó valores ligeramente mayores, respecto de Peine, siendo la laguna La Punta la que presentó los mayores valores de carbono orgánico total. En relación al 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 concentraciones similares.

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó en La Punta-La Brava mayores concentraciones que en Peine, solo la laguna Salada presentó valores similares a las lagunas La Punta y La Brava. Por último, los registros de potencial Redox fueron similares en ambos sectores Peine y La Punta-La Brava.

Tabla N° 7-28. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en sectores Peine y La Punta-La Brava. Invierno 2019.

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-24	LP-23	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura	°C	-	22,58	20,38	25,78	19,46	17,25	17,85	15,45	14,93	12,18	13,09	20,51	23,43	22,25
pH	U	-	8,2	8,56	8,38	8,42	8,41	8,42	8,36	8,09	8,29	8,27	8,1	8,13	8,31
Conductividad específica	µS/cm	1	33500	46040	45210	47330	48770	48880	52850	119100	55470	54860	102000	112100	44100
Salinidad	g/kg	1	20,9	29,7	29,1	30,6	31,6	31,7	35,1	94	36,5	36,1	73,4	87,2	28,2
Oxígeno disuelto	mg/L	-	7,46	5,93	4,72	5,68	4,67	5,22	4,53	3,91	4,06	3,88	3,32	3,51	4,35
Turbiedad	UNT	0,07	0,44	0,76	2,25	1,94	2,86	1,32	2,28	0,93	1,03	1,12	0,74	0,93	0,78
Radiación solar**	MJ/m2	-	2,7654	2,89787	2,89787	2,4169	1,05843	1,71041	0,74447	0,43051	2,88503	2,87575	2,48332	1,94583	1,26714
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1	245	204	204	198	188	191	189	202	383	382	433	454	314

*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 2019.

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-24	LP-23	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	69,1	66,5	100,2	69,6	30,7	64,7	73,7	28,8	73,96	112,7	68,5	72,2	39,6
Fósforo Total (P) M.S.	mg/Kg	255,79	342,95	188,64	115,97	95,91	230,33	137,81	7,15	80,06	75,55	90,5	16,8	107,6
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	5,5	3,9	7,4	4,1	1,6	3,2	3,2	1,2	5,50	4,9	3,9	2,5	9,5
Potencial Redox	mV	-442,2	-436,0	-441,8	-433,5	-410,8	-428,7	-423,9	-394,7	-475,1	-452,3	-434,7	-459,1	-443,6

Fuente: Elaboración propia

7.2.2 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 2019, para la subcomponente ambiental suelo – sustrato.

Además, se analiza la evolución de los parámetros estudiados para las campañas invernales del 2016 (M1), 2017 (M3), 2018 (M5) y 2019 (M7).

Las variables ambientales asociadas que caracterizan esta 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.

Esta actividad de seguimiento fue llevada a cabo por **Cedrem Consultores Limitada**, por encargo de ALBEMARLE LTDA., apoyados para análisis físico-químicos de las muestras de suelo, por dos laboratorios que cuentan con acreditación ETFA (ALS Life Sciences y ANAM), un tercero acreditado ante la Comisión Nacional de Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y del Servicio agrícola y Ganaderos (Agrolab), y el último (y cuarto) que corresponde al Laboratorio de Física de Suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile.

El objetivo del seguimiento es observar y analizar la evolución de los parámetros edafológicos monitoreados (conductividad eléctrica, salinidad, pH, nutrientes, humedad, conductividad hidráulica (permeabilidad), materia orgánica y textura, en el marco de la etapa de operación del proyecto y de acuerdo con los alcances técnicos solicitados por la RCA 021/2016.

8.1 MATERIALES Y MÉTODOS

8.1.1 Área de estudio

El área de estudio se inserta en el denominado Núcleo del Salar de Atacama, el cual corresponde a un cuerpo salino formado de costras duras de cloruro de sodio y depósitos minerales y que corresponde aproximadamente a un 36,7% de la superficie total del salar.

Los suelos en área de estudio son muy escasos, ya que está constituida prácticamente en su totalidad por el cuerpo salino del Salar de Atacama. Se ha identificado sólo una unidad taxonómica que corresponde a suelo del tipo Entisol ubicada en la zona adyacente al salar (CADE-IDEPE 2004).

Los suelos del área de estudio, muestran características que indican lixiviación diferencial durante y después de su acumulación. Lo más notable es una estratificación resultante de la disolución y 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 de muestreo

Para el seguimiento se consideraron los 14 puntos de muestreo de suelo – sustrato (ver **Figura N° 8-1**), definidos en el proyecto (EIA-Adenda 5) de los cuales seis (6) se localizan según definición en el sector de Tilopozo, cuatro (4) en el sector La Punta – La Brava, (de éstos, 3 en La Punta y 1 en La Brava), y cuatro (4) en Peine. En la **Tabla N° 8-1** se indican las coordenadas UTM de los puntos de muestreo, donde se observa una homologación de la codificación de los puntos y ajuste en su localización. El criterio de reubicación de los puntos de muestreo de suelo, dado fundamentalmente por la reconfiguración de puntos de muestreo de vegetación (transectas), ya fue informado a partir del Informe PMB N°1, no cambiando el objetivo, ni la cantidad de puntos de monitoreo de suelos.

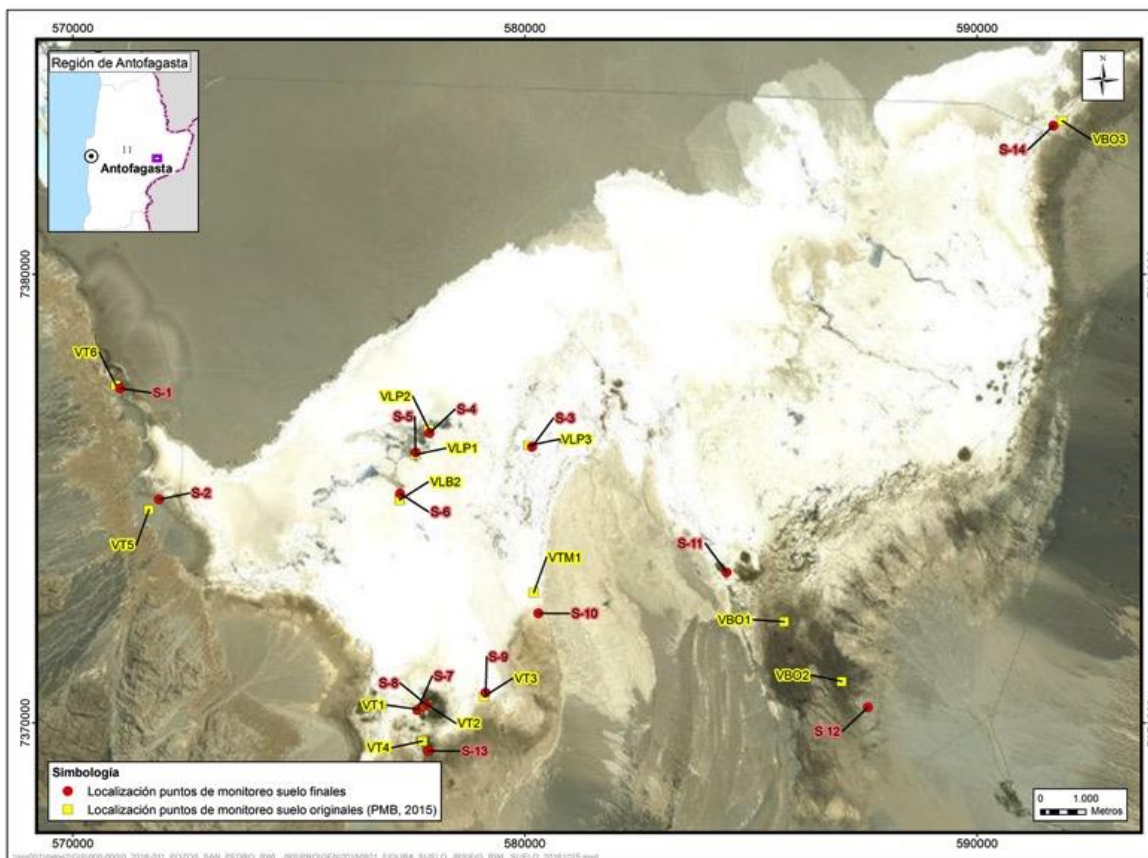
Cabe señalar y considerar que, los puntos de muestreo de suelo son variables o dinámicos en el tiempo, dado que, como se describe más adelante en el numeral de método de muestreo, se extrae una calicata y el área de extracción para los monitoreos anteriores, queda como zona alterada, en consecuencia, las muestras de los monitoreos posteriores deben ser tomadas en sectores sin intervención antrópica, por lo que, estos puntos, se desplazan respecto a los anteriores, siendo no obstante esta distancia en terreno inferior a 1 m., esto con el fin de que la variación del suelo sea la mínima posible. Aun cuando, las coordenadas determinadas mediante navegador GPS son mayores, esto es debido al margen de error normal propio del instrumento utilizado.

Tabla N° 8-1. Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S), originales. Posición final Monitoreo 6, puntos de muestreo suelo

Sector	Código Original Punto Muestreo suelos (PMB, 2015)	ID punto de muestreo final suelos PMB	Coordenadas UTM (WGS 84) Posición original (PMB 2015)		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

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 a 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

Parámetro	Unidad medida
Potasio (K)	mg/kg
Humedad	%
Conductividad hidráulica (permeabilidad)"k"	cm/hr
Textura (Soil Survey Staff.)	---
Salinidad	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 cuya profundidad varía en función de la homogeneidad del horizonte a muestrear. Para la campaña de invierno 2019 se llegó a una profundidad máxima de 68 cm.

Una vez definidos los horizontes o estratos en el perfil de suelo, se procedió a extraer las muestras de suelos (500 grs) a diferentes profundidades en cada punto de muestreo y manteniendo dos muestras por punto (horizonte superior y horizonte inferior). Luego, éstas son etiquetadas y embaladas adecuadamente según procedimientos estándares y enviadas los respectivos laboratorios. En caso de interceptar el nivel freático, se registra su profundidad.

Las muestras para los análisis de nutrientes disponibles (nitrógeno, fósforo y potasio), como también textura y salinidad, fueron enviadas a AGROLAB, para conductividad eléctrica y pH, las muestras son remitidas a ALS Life Sciences Los análisis de humedad y materia orgánica fueron realizados por ANAM¹⁰.

Para el análisis de conductividad hidráulica - permeabilidad (metodología de permeámetro de carga constante) se toman 10 muestras por punto de muestreo, correspondiendo a cinco (5) muestras en cada profundidad (una con cuatro repeticiones), mediante un tubo de PVC de un diámetro y longitud de 5 cm. Este volumen de suelo es extraído de manera tal que no se afecte la densidad de las muestras, es decir, manteniendo las condiciones originales de terreno.

Para el caso de la Conductividad Hidráulica, considerando que el procedimiento de toma de muestras de los parámetros evaluados en este estudio, no se encuentra acreditada como ETFA, lo que implica que no se requiere de inspector ambiental en terreno, el

¹⁰ Hasta el monitoreo M6 estos análisis, como también NPK disponible, eran realizados por el laboratorio ETFA SGS.

muestreo fue realizado por los profesionales encargados de este estudio. Luego, estas muestras fueron enviadas al laboratorio de física de suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Chile.

8.1.4.2 Análisis de laboratorio

Los análisis de las muestras de suelo para este 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 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 esta subcomponente.

Tabla N° 8-3: Parámetros evaluados y método de análisis. Componente Suelo.

Parámetro	Laboratorio	Método de análisis
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	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
Humedad (%)	ANAM(ETFAs)	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)

Parámetro	Laboratorio	Método de análisis
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

8.1.4.3 Análisis de resultados

Finalmente, se realiza el análisis en gabinete, donde se procesan los datos de laboratorio y se comparan con los rangos (de referencia) establecidos para el monitoreo edáfico.

8.1.4.4 Materiales y equipos utilizados

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

- Pala
- Picota
- Chuzo
- Guantes
- Cuchillo
- Pala jardinera
- Espátula
- Bolsas de plástico
- Tubos de PVC

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

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

El periodo reportado en el presente informe semestral se enmarca entre los días 29 de agosto y 1 de septiembre del 2019, fechas entre las que se llevó a cabo el monitoreo

semestral de invierno 2019 para la presente componente, y en los días posteriores se ingresaron a los laboratorios.

8.2 RESULTADOS

8.2.1 Resultados campaña de invierno 2019

8.2.1.1 Conductividad Eléctrica

En el sector de La Punta-La Brava, la conductividad eléctrica varía entre 2.098 y 8.028 $\mu\text{S/cm}$., determinando la presencia de suelos **ligeramente salino a muy salino**, siendo frecuentes los **salinos**. En cambio, en el sector de Peine, la conductividad eléctrica fluctúa entre 1.444 y 9.799 $\mu\text{S/cm}$. por lo tanto los suelos varían de **no salino a muy salino**, no determinándose la dominancia de alguno de ellos, y en Tilopozo, la conductividad eléctrica fluctúa entre 654,6 y 17.990 $\mu\text{S/cm}$. observándose la presencia de suelos **no salino a extremadamente salino**, donde dominan los suelos **ligeramente salinos y muy salino**, siendo muy escasos los **extremadamente salinos**, ver **Tabla N° 8-4**.

Tabla N° 8-4. Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$). Monitoreo Invierno, 2019.

Punto de Muestreo	C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	Categoría	Sector
S 5-1(LP)	2.098	Ligeramente salino	La Punta
S 5-2(LP)	2.166	Ligeramente salino	La Punta
S 3-2(LP)	4.022	Salino	La Punta
S 4-2(LP)	4.673	Salino	La Punta
S 3-1(LP)	4.831	Salino	La Punta
S 6-1(B)	6.818	Salino	La Brava
S 4-1(LP)	7.094	Salino	La Punta
S 6-2(B)	8.028	Muy salino	La Brava
S 11-1(P)	1.444	No salino	Peine
S 11-2(P)	1.873	No salino	Peine
S 14-2(P)	3.833	Ligeramente salino	Peine
S 14-1(P)	4.801	Salino	Peine
S 12-2(P)	5.027	Salino	Peine
S 12-1(P)	5.292	Salino	Peine
S 10-2(P)	8.612	Muy salino	Peine
S 10-1(P)	9.799	Muy salino	Peine
S 13-2(T)	654,6	No salino	Tilopozo

Punto de Muestreo	C. E. (uS/cm)	Categoría	Sector
S 8-2(T)	870,8	No salino	Tilopozo
S 9-1(T)	2.475	Ligeramente salino	Tilopozo
S 9-2(T)	2.810	Ligeramente salino	Tilopozo
S 13-1(T)	3.449	Ligeramente salino	Tilopozo
S 8-1(T)	4.531	Salino	Tilopozo
S 7-2(T)	5.825	Salino	Tilopozo
S 1-2(T)	10.080	Muy salino	Tilopozo
S 1-1(T)	11.240	Muy salino	Tilopozo
S 7-1(T)	13.300	Muy salino	Tilopozo
S 2-2(T)	13.390	Muy salino	Tilopozo
S 2-1(T)	17.990	Extremadamente Salino	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.2 Materia orgánica

Para el sector de La Punta-La Brava, la materia orgánica varía entre 3,82 y 13,6%, es decir, que la totalidad de los suelos presentan un porcentaje **muy alto** (Tabla N° 8-5). Mientras que, en el sector de Peine la materia orgánica varía entre 1,55 y 19,5%, con una dominancia de los suelos donde la materia orgánica es **muy alta**, siendo muy escasos aquellos porcentaje **bajo** y **normal**.

En el sector de Tilopozo la materia orgánica varía entre 1,98 y 37,1%, aquí la mayoría de los suelos presentan un porcentaje **muy alto**, siendo menos frecuentes los suelos con contenido **alto** y **normal**, y muy escaso los suelos con un **bajo** porcentaje de materia orgánica, ver **Tabla N° 8-5**.

Tabla N° 8-5 . Resultados análisis laboratorio Materia orgánica (%). Monitoreo invierno, 2019.

Punto de Muestreo	Materia orgánica (%)	Categoría	Sector
S 6-1(B)	8,24	Muy alto	La Brava
S 6-2(B)	13,6	Muy alto	La Brava
S 5-2(LP)	3,82	Muy alto	La Punta
S 3-2(LP)	4,21	Muy alto	La Punta
S 3-1(LP)	4,53	Muy alto	La Punta
S 5-1(LP)	4,82	Muy alto	La Punta
S 4-1(LP)	9,34	Muy alto	La Punta
S 4-2(LP)	10,12	Muy alto	La Punta
S 12-2(P)	1,55	Bajo	Peine
S 12-1(P)	2,21	Normal	Peine

Punto de Muestreo	Materia orgánica (%)	Categoría	Sector
S 10-2(P)	4,21	Muy alto	Peine
S 10-1(P)	6,91	Muy alto	Peine
S 14-1(P)	7,47	Muy alto	Peine
S 14-2(P)	9,03	Muy alto	Peine
S 11-2(P)	12,95	Muy alto	Peine
S 11-1(P)	19,5	Muy alto	Peine
S 1-1(T)	1,98	Bajo	Tilopozo
S 2-1(T)	2,24	Normal	Tilopozo
S 1-2(T)	2,5	Normal	Tilopozo
S 2-2(T)	2,97	Alto	Tilopozo
S 13-2(T)	3,02	Alto	Tilopozo
S 9-2(T)	4,11	Muy alto	Tilopozo
S 13-1(T)	4,16	Muy alto	Tilopozo
S 9-1(T)	5,3	Muy alto	Tilopozo
S 7-2(T)	7,41	Muy alto	Tilopozo
S 8-2(T)	7,48	Muy alto	Tilopozo
S 7-1(T)	16,16	Muy alto	Tilopozo
S 8-1(T)	37,1	Muy alto	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.3 pH

En el sector de La Punta-La Brava, el pH varía de **moderadamente básico** (8,1) a **alcalino** (9,1), siendo muy escaso aquellos los suelos que presentan esta última categoría, con dominancia de los suelos con un pH **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino**. Mientras que, en Peine se presentan las mismas categorías que en el sector anterior, pero los valores fluctúan entre 7,9 y 9,1, y en este sector el pH de mayor frecuencia en los suelos es **moderadamente básico**, siendo escasas las categorías restante. En cambio, en Tilopozo los suelos presentan las categorías **medianamente básico** y **ligeramente alcalino**, siendo dominante la primera, y lo valores fluctúan entre 7,6 y 8.8 (**Tabla N° 8-6**).

Tabla N° 8-6. pH. Monitoreo invierno, 2019.

Punto de muestreo	pH	Categoría	Sector
S 3-2(LP)	8,1	Moderadamente básico	La Punta
S 6-2(B)	8,2	Moderadamente básico	La Brava
S 3-1(LP)	8,2	Moderadamente básico	La Punta
S 4-2(LP)	8,4	Moderadamente básico	La Punta

Punto de muestreo	pH	Categoría	Sector
S 6-1(B)	8,5	Ligeramente alcalino	La Brava
S 4-1(LP)	8,6	Ligeramente alcalino	La Punta
S 5-2(LP)	8,8	Ligeramente alcalino	La Punta
S 5-1(LP)	9,1	Alcalino	La Punta
S 14-1(P)	7,9	Moderadamente básico	Peine
S 14-2(P)	7,9	Moderadamente básico	Peine
S 11-2(P)	8,1	Moderadamente básico	Peine
S 11-1(P)	8,3	Moderadamente básico	Peine
S 12-1(P)	8,3	Moderadamente básico	Peine
S 12-2(P)	8,3	Moderadamente básico	Peine
S 10-2(P)	8,8	Ligeramente alcalino	Peine
S 10-1(P)	9,1	Alcalino	Peine
S 13-1(T)	7,6	Medianamente básico	Tilopozo
S 9-2(T)	7,7	Medianamente básico	Tilopozo
S 2-2(T)	8,1	Moderadamente básico	Tilopozo
S 8-1(T)	8,1	Moderadamente básico	Tilopozo
S 8-2(T)	8,2	Moderadamente básico	Tilopozo
S 9-1(T)	8,3	Moderadamente básico	Tilopozo
S 1-2(T)	8,4	Moderadamente básico	Tilopozo
S 13-2(T)	8,5	Ligeramente alcalino	Tilopozo
S 7-1(T)	8,5	Ligeramente alcalino	Tilopozo
S 7-2(T)	8,6	Ligeramente alcalino	Tilopozo
S 2-1(T)	8,7	Ligeramente alcalino	Tilopozo
S 1-1(T)	8,8	Ligeramente alcalino	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.4 Salinidad

En lo que respecta a la concentración de sales solubles, en el sector de La Punta-La Brava éste varía entre **11.886** y **48.062** mg/kg. Mientras que, en Peine la concentración fluctúa entre **7.614** y **45.798** mg/kg., y en Tilopozo varía entre **4.596** y **93.267** (Tabla N° 8-7), observándose una amplia variación en todos los sectores para la mayoría de los puntos de muestreo.

Tabla N° 8-7. Resultados análisis laboratorio Salinidad (mg/kg.). Monitoreo invierno, 2019.

Punto de muestreo	Salinidad (mg/kg.)	Sector
S 5-1(LP)	11.886	La Punta
S 5-2(LP)	13.307	La Punta
S 3-2(LP)	19.547	La Punta
S 4-2(LP)	20.660	La Punta
S 3-1(LP)	22.284	La Punta
S 6-1(B)	30.362	La Brava
S 4-1(LP)	43.477	La Punta
S 6-2(B)	48.062	La Brava
S 11-2(P)	7.614	Peine
S 11-1(P)	7.848	Peine
S 14-2(P)	14.670	Peine
S 14-1(P)	18.079	Peine
S 12-2(P)	19.588	Peine
S 12-1(P)	40.723	Peine
S 10-1(P)	45.675	Peine
S 10-2(P)	45.798	Peine
S 8-2(T)	4.596	Tilopozo
S 13-2(T)	5.721	Tilopozo
S 13-1(T)	8.954	Tilopozo
S 8-1(T)	10.120	Tilopozo
S 9-1(T)	11.739	Tilopozo
S 9-2(T)	12.868	Tilopozo
S 7-2(T)	20.802	Tilopozo
S 1-2(T)	43.239	Tilopozo
S 7-1(T)	46.648	Tilopozo
S 2-2(T)	52.569	Tilopozo
S 1-1(T)	73.058	Tilopozo
S 2-1(T)	93.267	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.5 Conductividad Hidráulica

En el sector de La Punta-La Brava, la permeabilidad de los suelos varía de **moderadamente alta** a **muy alta**, siendo muy escaso los suelos donde la primera, dominando aquellos donde la conductividad hidráulica es **muy alta** y **alta**. Mientras que, en Peine se determinaron las categorías **alta** y **muy alta**, presentando una frecuencia mayor los suelos en los cuales la permeabilidad es muy alta. En cambio, en Tilopozo los suelos pueden presentar las categorías **moderadamente alta**, **alta** o **muy alta**, siendo poco frecuente la primera de éstas y de dominantes los suelos con las otras categorías, ver **Tabla N° 8-8**.

**Tabla N° 8-8. Resultados análisis laboratorio Conductividad Hidráulica (cm/hr).
Monitoreo invierno, 2019.**

Punto de muestreo	Conductividad hidráulica (cm/hr)	Categoría	Sector
S 6-2(B)	1,2	Moderadamente alta	La Brava
S 3-2(LP)	8,1	Alta	La Punta
S 3-1(LP)	12,1	Alta	La Punta
S 4-2(LP)	15,3	Alta	La Punta
S 6-1(B)	448,3	Muy alta	La Brava
S 5-2(LP)	633,2	Muy alta	La Punta
S 4-1(LP)	845,4	Muy alta	La Punta
S 5-1(LP)	1.580,0	Muy alta	La Punta
S 14-2(P)	17,3	Alta	Peine
S 11-2(P)	21,8	Alta	Peine
S 11-1(P)	27,0	Alta	Peine
S 10-2(P)	45,9	Muy alta	Peine
S 10-1(P)	122,5	Muy alta	Peine
S 12-1(P)	176,4	Muy alta	Peine
S 12-2(P)	210,1	Muy alta	Peine
S 14-1(P)	412,0	Muy alta	Peine
S 8-2(T)	0,7	Moderadamente alta	Tilopozo
S 1-1(T)	9,0	Alta	Tilopozo
S 7-2(T)	14,6	Alta	Tilopozo
S 9-1(T)	16,3	Alta	Tilopozo
S 13-1(T)	21,8	Alta	Tilopozo
S 2-2(T)	27,6	Alta	Tilopozo
S 2-1(T)	36,3	Muy alta	Tilopozo
S 8-1(T)	66,0	Muy alta	Tilopozo
S 13-2(T)	77,2	Muy alta	Tilopozo

Punto de muestreo	Conductividad hidráulica (cm/hr)	Categoría	Sector
S 9-2(T)	104,6	Muy alta	Tilopozo
S 7-1(T)	158,8	Muy alta	Tilopozo
S 1-2(T)	225,9	Muy alta	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.6 Nutrientes

a) Nitrógeno

Respecto al nitrógeno disponible, en los suelos del sector de La Punta-La Brava, la disponibilidad de mayor frecuencia corresponde a **media** y luego la **alta**. Situación similar presentan los suelos del sector de Peine, donde además de la categoría **alta**, se detectó un punto (S 14-2) cuya disponibilidad es **muy baja**. En cambio, en Tilopozo el 50% de los puntos de muestreo presenta una categoría de disponibilidad **media** y el otro 50% una categoría **alta**, ver **Tabla N° 8-9**.

**Tabla N° 8-9. Resultados análisis laboratorio Nitrógeno disponible (mg/kg).
Monitoreo invierno, 2019.**

Punto de muestreo	Nitrógeno (mg/kg.)	Categoría	Sector
S 4-2(LP)	28	Media	La Punta
S 5-2(LP)	32	Media	La Punta
S 3-2(LP)	35	Media	La Punta
S 5-1(LP)	36	Media	La Punta
S 3-1(LP)	38	Media	La Punta
S 4-1(LP)	40	Media	La Punta
S 6-1(B)	42	Alta	La Brava
S 6-2(B)	45	Alta	La Brava
S 14-2(P)	3	Muy baja	Peine
S 11-2(P)	25	Media	Peine
S 14-1(P)	26	Media	Peine
S 11-1(P)	29	Media	Peine
S 12-2(P)	29	Media	Peine
S 12-1(P)	32	Media	Peine
S 10-1(P)	36	Media	Peine
S 10-2(P)	43	Alta	Peine
S 13-1(T)	25	Media	Tilopozo
S 8-2(T)	30	Media	Tilopozo
S 13-2(T)	30	Media	Tilopozo

Punto de muestreo	Nitrógeno (mg/kg.)	Categoría	Sector
S 9-2(T)	31	Media	Tilopozo
S 9-1(T)	33	Media	Tilopozo
S 7-2(T)	35	Media	Tilopozo
S 1-1(T)	41	Alta	Tilopozo
S 7-1(T)	41	Alta	Tilopozo
S 2-2(T)	43	Alta	Tilopozo
S 8-1(T)	44	Alta	Tilopozo
S 1-2(T)	44	Alta	Tilopozo
S 2-1(T)	55	Alta	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

b) *Potasio*

En relación al potasio disponible para el área de estudio, en la totalidad de los suelos del sector de La Punta-La Brava, la disponibilidad es **alta**. En cambio, en Peine se presentan las categorías **adecuada** y **alta** en disponibilidad de este macroelemento, siendo más frecuente la primera de ellas. En cambio, en Tilopozo la mayoría de los suelos presenta una disponibilidad **alta**, siendo muy escasa la disponibilidad **adecuada** (S 8-2), ver **Tabla N° 8-10**.

Tabla N° 8-10. Resultados análisis laboratorio Potasio disponible (mg/kg). Monitoreo invierno, 2019.

Punto de muestreo	Potasio (mg/Kg.)	Categoría	Sector
S 5-2(LP)	1.183,0	Alto	La Punta
S 3-2(LP)	1.286,0	Alto	La Punta
S 4-2(LP)	1.491,0	Alto	La Punta
S 5-1(LP)	1.536,0	Alto	La Punta
S 3-1(LP)	1.591,0	Alto	La Punta
S 4-1(LP)	1.750,0	Alto	La Punta
S 6-2(B)	4.025,0	Alto	La Brava
S 6-1(B)	4.038,0	Alto	La Brava
S 11-2(P)	237,0	Adecuado	Peine
S 14-1(P)	290,0	Adecuado	Peine
S 12-2(P)	556,0	Adecuado	Peine
S 11-1(P)	653,0	Adecuado	Peine
S 12-1(P)	686,0	Adecuado	Peine
S 10-1(P)	1.193,0	Alto	Peine
S 14-2(P)	2.222,0	Alto	Peine
S 10-2(P)	4.516,0	Alto	Peine
S 8-2(T)	534,0	Adecuado	Tilopozo

Punto de muestreo	Potasio (mg/Kg.)	Categoría	Sector
S 13-1(T)	1.011,0	Alto	Tilopozo
S 9-1(T)	1.373,0	Alto	Tilopozo
S 7-2(T)	1.414,0	Alto	Tilopozo
S 13-2(T)	1.537,0	Alto	Tilopozo
S 8-1(T)	1.585,0	Alto	Tilopozo
S 1-1(T)	1.681,0	Alto	Tilopozo
S 9-2(T)	2.230,0	Alto	Tilopozo
S 1-2(T)	2.325,0	Alto	Tilopozo
S 2-2(T)	3.501,0	Alto	Tilopozo
S 7-1(T)	3.819,0	Alto	Tilopozo
S 2-1(T)	5.627,0	Alto	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

c) *Fósforo*

Tal como se observa en la **Tabla N° 8-11**, para el sector de La Punta-La Brava en la mayoría de los suelos el potasio disponible en **muy bajo**, siendo muy escasos los suelos con una disponibilidad **baja** y **media**. En cambio, en Peine este macroelemento presenta un amplio rango de disponibilidad, variando de **muy baja** a **alta**, sin existir una dominancia de alguna de las categorías, siendo la menos frecuente la categoría **alta**. Situación similar en términos de variabilidad en el potasio se presenta en Tilopozo, aun cuando aquí dominan los suelos de **muy baja** disponibilidad, y muy escasa los con una **muy alta**.

**Tabla N° 8-11. Resultados análisis laboratorio Fósforo disponible (mg/kg).
Monitoreo invierno, 2019.**

Punto de muestreo	Fósforo (mg/kg.)	Categoría	Sector
S 3-2(LP)	2	Muy bajo	La Punta
S 5-2(LP)	2	Muy bajo	La Punta
S 4-2(LP)	3	Muy bajo	La Punta
S 5-1(LP)	3	Muy bajo	La Punta
S 3-1(LP)	4	Muy bajo	La Punta
S 6-1(B)	5	Muy bajo	La Brava
S 4-1(LP)	7	Bajo	La Punta
S 6-2(B)	18	Medio	La Brava
S 14-1(P)	3	Muy bajo	Peine
S 14-2(P)	4	Muy bajo	Peine
S 12-2(P)	8	Bajo	Peine
S 10-2(P)	8	Bajo	Peine
S 12-1(P)	11	Medio	Peine

Punto de muestreo	Fósforo (mg/kg.)	Categoría	Sector
S 11-2(P)	11	Medio	Peine
S 11-1(P)	12	Medio	Peine
S 10-1(P)	21	alto	Peine
S 9-2(T)	3	Muy bajo	Tilopozo
S 1-1(T)	3	Muy bajo	Tilopozo
S 13-2(T)	4	Muy bajo	Tilopozo
S 2-2(T)	4	Muy bajo	Tilopozo
S 7-2(T)	5	Muy bajo	Tilopozo
S 1-2(T)	5	Muy bajo	Tilopozo
S 13-1(T)	8	Bajo	Tilopozo
S 7-1(T)	9	Bajo	Tilopozo
S 9-1(T)	14	Medio	Tilopozo
S 2-1(T)	18	Medio	Tilopozo
S 8-2(T)	19	Medio	Tilopozo
S 8-1(T)	299	Muy alto	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.7 Humedad

La humedad de los suelos en el sector de La Punta-La Brava varía entre 15,55 y 64,27%, mientras que, en Peine lo hacen entre 5,3 y 67,08%. En cambio, en Tilopozo estos valores se presentan entre 9,28 y 78,85%, ver **Tabla N° 8-12**.

Tabla N° 8-12. Resultados análisis de laboratorio Humedad (%). Monitoreo invierno, 2019.

Punto de muestreo	Humedad (%)	Sector
S 5-2(LP)	15,55	La Punta
S 5-1(LP)	17,95	La Punta
S 4-1(LP)	34,51	La Punta
S 4-2(LP)	45,59	La Punta
S 3-1(LP)	52,79	La Punta
S 3-2(LP)	53,22	La Punta
S 6-1(B)	62,05	La Brava
S 6-2(B)	64,27	La Brava
S 12-2(P)	5,30	Peine
S 12-1(P)	5,62	Peine
S 10-1(P)	16,06	Peine

Punto de muestreo	Humedad (%)	Sector
S 10-2(P)	33,07	Peine
S 14-1(P)	38,07	Peine
S 11-2(P)	66,32	Peine
S 14-2(P)	66,80	Peine
S 11-1(P)	67,08	Peine
S 2-1(T)	9,28	Tilopozo
S 1-1(T)	9,56	Tilopozo
S 1-2(T)	14,48	Tilopozo
S 2-2(T)	18,86	Tilopozo
S 13-1(T)	31,19	Tilopozo
S 13-2(T)	32,99	Tilopozo
S 9-2(T)	48,18	Tilopozo
S 7-1(T)	51,10	Tilopozo
S 8-2(T)	51,48	Tilopozo
S 7-2(T)	51,73	Tilopozo
S 9-1(T)	68,82	Tilopozo
S 8-1(T)	78,85	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.8 Textura

En el sector de La Punta-La Brava los suelos presentan un variabilidad en su textura, siendo estas **areno francosa, franco arenosa, franca, y franco limosa**, siendo dominantes las 2 primeras texturas y muy escasa la última. En cambio, en el sector de Peine las textura determinadas corresponden a **areno francosa, franco limosa, arcillosa y franco arenosa**, siendo la textura dominante la primera y la menos frecuente la última. Mientras que, en Tilopozo, las textura de os suelos corresponden a **franca, franco arenosa y franco limosa**, siendo los suelos de mayor frecuencia aquellos que presentan la primera textura, y los más escasos la última (**Tabla N° 8-13**).

Tabla N° 8-13: Resultados análisis de laboratorio Textura. Monitoreo invierno, 2019.

Punto de muestreo	Textura	Sector
S 4-1	Areno francosa	La Punta
S 5-1	Areno francosa	La Punta
S 5-2	Areno francosa	La Punta
S 3-1	Franca	La Punta
S 3-2	Franca	La Punta
S 6-2	Franco arenosa	La Brava
S 4-2	Franco arenosa	La Punta
S 6-1	Franco limosa	La Brava
S 10-2	Arcillosa	Peine
S 11-2	Arcillosa	Peine
S 12-1	Areno francosa	Peine
S 12-2	Areno francosa	Peine
S 14-1	Areno francosa	Peine
S 10-1	Franco arenosa	Peine
S 11-1	Franco limosa	Peine
S 14-2	Franco limosa	Peine
S 13-1	Franca	Tilopozo
S 2-2	Franca	Tilopozo
S 7-1	Franca	Tilopozo
S 7-2	Franca	Tilopozo
S 8-1	Franca	Tilopozo
S 8-2	Franca	Tilopozo
S 9-2	Franca	Tilopozo
S 1-1	Franco arenosa	Tilopozo
S 1-2	Franco arenosa	Tilopozo
S 2-1	Franco arenosa	Tilopozo
S 13-2	Franco limosa	Tilopozo
S 9-1	Franco limosa	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.9 Nivel Freático

Tal como se observa en la **Tabla N° 8-14**, del total de puntos de muestreo realizados (14) en el área de estudio, en 9 de ellos (64,3%), se detectó la presencia de nivel freático a profundidad de trabajo.

En el sector de **La Brava**, el punto de muestreo S 6 se presenta a 44 cm. En cambio, en **La Punta** el nivel freático en el punto S 5, se encuentra a los 6 cm, en este mismo sector pero a 19 cm. se encuentra el agua en el punto S 4, y a 48 cm. se observó la presencia del nivel freático en el punto S 3. Mientras que, en **Tilopozo** en el punto S 8 y S 9, el nivel freático se presenta a 33 y 50 cm., respectivamente (**Tabla N° 8-14**).

En el sector de **Peine**, en el punto S 14 el nivel freático se presenta a los 25 cm, en este mismo sector pero en el punto S 11 el agua se encuentra a los 30 cm. ver **Tabla N° 8-14**.

Tabla N° 8-14: Resultados profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreo invierno, 2019.

Punto de muestreo	Profundidad (cm.)	Sector
S 6(B)	44	La Brava
S 5(LP)	6	La Punta
S 4(LP)	19	La Punta
S 3(LP)	48	La Punta
S 14(P)	25	Peine
S 11(P)	30	Peine
S 9(T)	50	Tilopozo
S 8(T)	33	Tilopozo
S 13(T)	38	Tilopozo

Fuente: Elaboración Propia

8.2.2 Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato

En la RCA 21/2016 del proyecto, quedaron establecidos dentro del Plan de Seguimiento, como Niveles o Límites comprometidos que “Mantención dentro de su variación histórica”. Considerando lo anterior, y dado que no se presentaron antecedentes específicos para el subcomponente suelo (Línea de Base), como los desarrollados en estas campañas, el análisis comparativo de la evolución de estos parámetros, 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 los análisis de la evolución del componente se desarrollan en general en base al monitoreo inicial M1, de invierno 2016, fundamentalmente en el Informe Anual del PMB. No obstante, para efectos de este Informe Semestral de invierno 2019, se mantiene el enfoque estacional, analizando la evolución de estas variables del suelo entre las épocas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019.

9 LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS)

Este acápite corresponde a las actividades y resultados obtenidos en el monitoreo de invierno de 2019, para el subcomponente ambiental **flora y fauna acuática, calidad de aguas y sedimentos**, 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.

El periodo reportado en el presente informe, corresponde al monitoreo semestral de invierno 2019 que se desarrolló en terreno entre los días 03 y 05 de septiembre de 2019.

Los objetivos del monitoreo de invierno de 2019 para el subcomponente ambiental de **flora y fauna acuática, calidad de aguas y sedimentos** corresponden a los siguientes:

- 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 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 monitoreo

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 Plan de Seguimiento PMB, señala 12 estaciones, no obstante, con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos y en función de recomendación de los especialistas,

se han sumado voluntariamente, desde el primer año de monitoreo, dos 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.

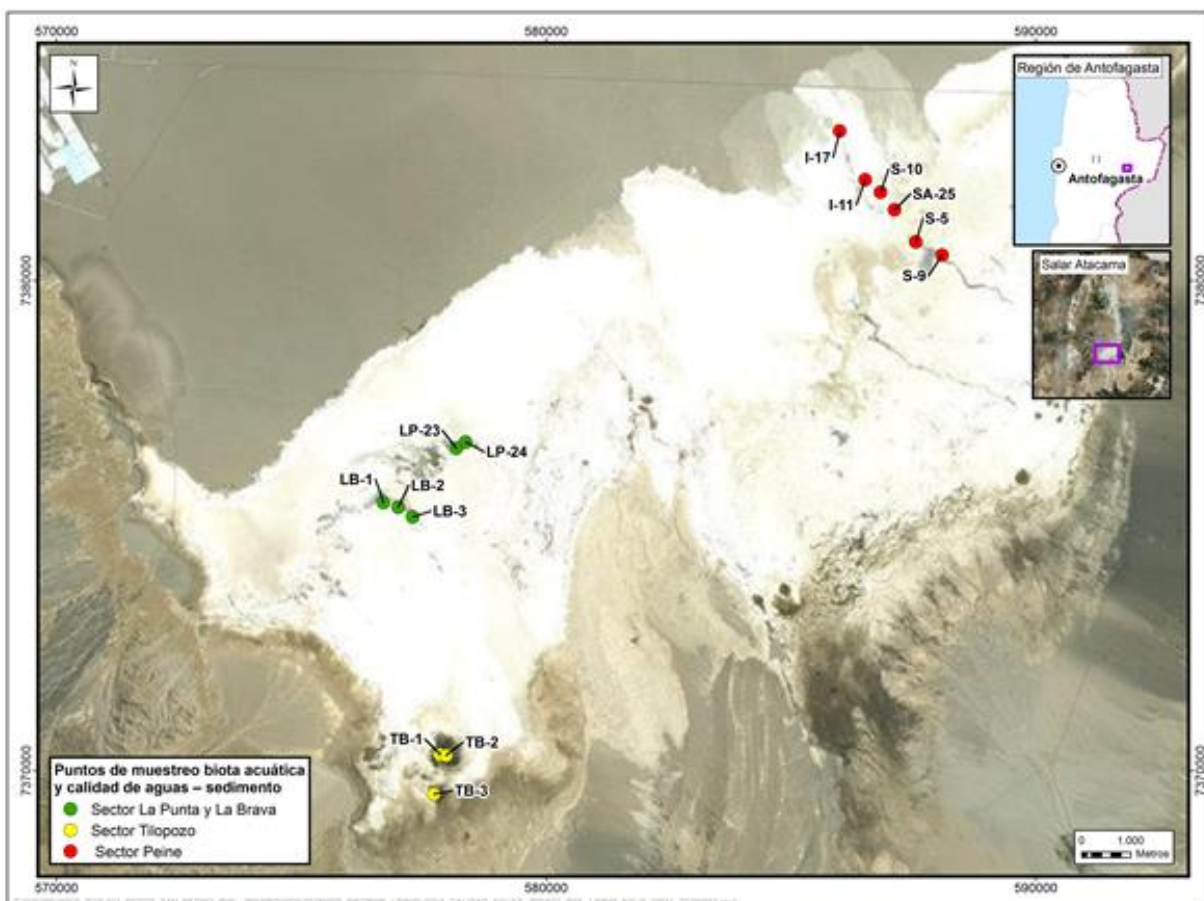
Tabla N° 9-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector.

Sector	Sub Sector	Estación	Coordenadas INICIAL PMB 2016 UTM WGS 84 (Huso:19 Zona:K)		Coordenadas VIGENTES UTM WGS 84 (Huso:19 Zona:K)	
			Este	Norte	Este	Norte
Sector Peine	Salada	S-5	587.551	7.380.785	587.551	7.380.785
	Salada	S-9*	588.084	7.380.520	588.086	7.380.518
	Saladita	SA-25	587.114	7.381.447	587.114	7.381.447
	Saladita	S-10	586.827	7.381.805	586.827	7.381.805
	Interna	I-11	586.515	7.382.055	586.515	7.382.055
	Interna	I-17	585.996	7.383.052	585.996	7.383.052
Sector La Punta y La Brava	La Punta	LP-24	578.356	7.376.704	578.356	7.376.704
	La Punta	LP-23	578.164	7.376.581	578.164	7.376.581
	La Brava	LB-1	576.677	7.375.474	576.677	7.375.474
	La Brava	LB-2	576.978	7.375.378	576.978	7.375.378
	La Brava	LB-3***	577.272	7.375.176	577.272	7.375.176
Sector Tilopozo	Tilopozo	TB-1**	577.828	7.370.429	577.837	7.370.331
	Tilopozo	TB-2**	577.973	7.370.194	577.956	7.370.310
	Tilopozo	TB-3***	577.705	7.369.524	577.705	7.369.524

Fuente: Elaboración propia. * En el Sector Peine, puntualmente la estación S-9 fue desplazada a la orilla opuesta del curso de agua, con el fin de facilitar la ejecución de toma de muestras y levantamiento de datos en terreno. (Ref. desde Inf Anual N°1 Albemarle - marzo 2017). ** En el sector Tilopozo, se debió modificar la ubicación de las estaciones TB-1 y TB-2 debido a que las coordenadas de la ubicación inicial no estaban asociadas a cuerpos de agua. (Ref. desde Inf Anual N°1 Albemarle - marzo 2017). ***Estaciones Voluntarias

Se destacan en negrita en la **Tabla N° 9-1**, las dos estaciones **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.

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 tienen los siguientes parámetros:

- En agua: temperatura, pH, conductividad, 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 en laboratorio y se informan sus registros, como Calcio Total, Magnesio Total, que se requieren para el cálculo de la alcalinidad, y como los propios parámetros de alcalinidad parcial y total, por ser requisito para medir otros como carbonatos y bicarbonatos, que sí son parte del monitoreo. El parámetro turbiedad se incorpora, ya que fue evaluado como requerimiento para descripción de tapetes microbianos (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Los parámetros utilizados para caracterizar el estado de las comunidades biológicas corresponden a: composición, riqueza (número de *taxa*), abundancia, abundancia relativa, diversidad (Shannon-Wiener) y equidad de Pielou (J').

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 evalúan 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 correspondientes a invierno 2019 emitidos por la ETFA señalada, se presentan en el formato ETFA requerido por la SMA (RES. 1194/2015) en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua y Anexo Limnología - Sedimentos**.

Para la evaluación de las variables *in situ*, se calibran diariamente los sensores utilizados con las soluciones del fabricante y siguiendo las instrucciones 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 requirieran. Los frascos con las muestras de agua son transportados en cajas de material aislante de temperatura, rellenos con hielo en escarcha, y enviados directamente al laboratorio de manera de que las muestras fueran analizadas dentro de los

plazos o *holding time* requeridos. Todas las cajas incluyen un frasco testigo para corroborar la temperatura.

El muestreo de sedimentos consiste en coleccionar una porción de sustrato sumergido en cada una de las estaciones evaluadas, vaciando el sedimento en contenedores específicos para ello y cuidando de no contaminar la muestra con agentes externos. Estas muestras son debidamente etiquetadas, almacenadas y transportadas hasta el laboratorio para su análisis, procurando no realizar contaminación cruzada entre las distintas muestras (según serie de normas NCh 411 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	µS/cm	SM 2510 B Ed.22 / 2012
Salinidad	g/Kg	SM 2510 B Ed.22 / 2012
Turbiedad	UNT	SM 2130 B Ed.22 / 2012
Oxígeno disuelto	mg/L	MLM 000007
Clorofila "a" (Fitoplancton)	µg/L	SM 10200-H2c (2012)
Clorofila "a" (Perifiton)	µg/L	SM 10300-C7 (2012)
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320 B
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320 B (2012)
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320 B
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	SM 2320 B
Cloruro (Cl)	mg/L	SM 4500CL-B (2005)
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	SM 4110 B (2012)
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	SM 4110 B (2012)
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	SM 4500-NH3 F
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	SM 4500 B (2012)
Fósforo Total (P)	mg/L	SM 4500PC
Ortofosfato	mgP/L	SM 4500-P E (2012)
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	SM 4500-SO4 C

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	SM 5220 D

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	MQC000059 rev.4 Basado en T
Fosforo Total (P)	mg/Kg	SM 3120 B (2012)
Materia Orgánica	%	MQC000059 rev.4 Basado en T
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	MQI000058 Interno basado INIA
Potencial Redox	mV	SM 2580 B

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que, para la presente campaña de monitoreo, las metodologías de análisis de algunos parámetros, tanto de agua como de sedimentos, han sido actualizadas por el laboratorio ANAM para dar cumplimiento a su acreditación frente al INN y como ETFA.

Respecto de los resultados granulométricos que se realizan para cada estación, éstos se clasifican según la escala de Wentworth (1922), la cual cataloga los sedimentos según el tamaño de grano. En la **Tabla N° 9-4** se muestran las categorías de la escala que son utilizadas para caracterizar los sedimentos y 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. Lo anterior, considerando que en Chile aún no se cuenta con metodologías estandarizadas dictadas por la autoridad. Los documentos referidos corresponden a “*Metodologías para el establecimiento del estado ecológico según la DMA (Directiva Marco del Agua) de la Confederación Hidrológica del Ebro*”, Ministerio de Medio Ambiente de España (2005) y las metodologías de examinación biológica definidas por la Asociación de Salud Pública Americana de Estados Unidos (APHA) mediante su publicación de “*Métodos estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*”. Las referencias se resumen en la **Tabla N° 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, de esta campaña de invierno 2019, se contó con la autorización de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura a través RES. EXT. N°159/2018. El documento se presenta como “**Permiso de Pesca de Investigación**” en el “**Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**” de este Informe.

El muestreo fue realizado por los especialistas de la empresa **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 en duplicado, colectando directamente 500 mL de agua de los sistemas en botellas plásticas. El agua colectada fue fijada con solución Lugol, para evitar descomposición previa a su análisis en laboratorio. Las muestras fueron preparadas y analizadas al microscopio, determinando la riqueza y abundancia de las microalgas presentes (Wetzel&Likens 1991). La identificación de las diatomeas y de los otros grupos del fitoplancton se realizó utilizando las claves de Prescott (1970), Rivera (1983), Krammer&LangeBertalot (1986, 1991), Simonsen (1987), Parra *et al.* (1982a, 1982b, 1982c y 1983), Pereira & Parra, 1984, Round *et al.* (1996), Rumrich *et al.* (2000) y Lange-Bertalot (2001).

- **Zoobentos:** La estimación de la composición y abundancia de la fauna bentónica se realizó mediante el recuento directo por grupo de organismos. Esto se midió en muestras en duplicado por punto de monitoreo obtenidas con un core de 0,004 m² las que fueron preservadas en alcohol al 70%. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo la lupa, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos se realizó en base a los trabajos de Bertrand (1995), Lopretto & Tell (1995), Merrit & Cummins (1996), Lugo-Ortiz & MacCafferty (1995-1999), Fernández & Domínguez (2001), Domínguez *et al.* (2006).
- **Zooplankton:** La estimación de la composición y abundancia de la comunidad zooplanctónica se realizó obteniendo muestras representativas del plancton, utilizando una red o tamiz dotado con una malla N°10 (110 μm). Las muestras se tomaron en duplicado y se realizó extrayendo un volumen conocido de agua superficial con un contenedor graduado, para posteriormente ser filtrado en el tamiz o red. Cada muestra fue preservada en alcohol al 70% de concentración final. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo la lupa en una cámara BOGOROW, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos zooplanctónicos se realizó en base a los trabajos de Araya & Zuñiga (1985) y Pennak (1989).

Para cada componente o ensamble biológico de la biota acuática (fitobentos, fitoplancton fauna bentónica y zooplankton) se realiza 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 realiza 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 p_i = 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 determina 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. Instrumento de medición *in situ* de parámetros del agua

Análisis	Referencias del Método
Temperatura (°C)	Medidor Multiparamétrico HANNA HI 98194
pH	
Oxígeno disuelto (mg/L)	
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)*	

Fuente: Elaboración propia. * La medición de Conductividad en terreno es solo referencial, los valores presentados en los informes de ensayo corresponden a los medidos en laboratorio.

Tabla N° 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 110 micrones. Fijador alcohol*.

Fuente: Elaboración propia. *Se utilizó como fijador alcohol, debido a los efectos cancerígenos que se pueden generar con el uso de la formalina.

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

La campaña de monitoreo correspondiente a invierno de 2019 se realizó entre las fechas 03 y 05 de septiembre de 2019, días en los cuales se visitaron las estaciones y se tomaron tanto las muestras de agua y sedimentos, como aquellas correspondientes a biota. En la

Tabla N° 9-8 se presenta el detalle de las fechas de visita por sector y obtención de muestras para cada variable evaluada en la campaña de monitoreo.

Tabla N° 9-8. Fechas de muestreo de cada una de las variables evaluadas.

Componente	Variable	Fecha toma muestra		
		Sector Tilopozo	Sector Peine	Sector La Punta y La Brava
Agua	Temperatura	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	pH	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Conductividad	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Salinidad	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Turbiedad	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Oxígeno disuelto	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Clorofila "a"	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Clorofila en Perifiton	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Alcalinidad Parcial (CaCO3)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Alcalinidad Total (CaCO3)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Bicarbonato (CaCO3)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Carbonatos (CaCO3)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Cloruro (Cl)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Nitrato (N-NO3-)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Nitrito (N-NO2-)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Nitrógeno amoniacal (NH4+)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Fosforo Total	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Ortofosfato	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Sulfato (SO4-2)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
Aceites y Grasas (A y G)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019	
Sedimento	Carbono Orgánico Total (COT)	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Fosforo Total (P) M.S.	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Materia Orgánica	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Nitrógeno Total Kjeldahl	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Potencial Redox	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
Biota	Fitobentos	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Fitoplancton	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019

Componente	Variable	Fecha toma muestra		
		Sector Tilopozo	Sector Peine	Sector La Punta y La Brava
	Zoobentos	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Zooplancton	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019
	Macrófitas	05-09-2019	04-09-2019	03-09-2019

Fuente: Elaboración propia.

9.2 RESULTADOS

9.2.1 Caracterización del hábitat durante la campaña de invierno 2019

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 de la campaña de invierno 2019. Cabe mencionar que en el Informe Anual N°4 (consolidado invierno 2019 y verano 2020), se mostrarán las fotografías de cada punto de monitoreo. En Sección 1.7 del **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**, se detallan las características observadas en terreno de cada estación de muestreo.

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**).

- Estación S-9

La estación S-9 se ubica en un afluente dentro de la laguna Salada, a una altura geográfica de 2308 msnm, con un ancho de sección estimado de 69 m, de profundidad baja observada de 12,16 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, sin helófitas ni vegetación ribereña.

- Estación S-5

La estación S-5 corresponde a un sector somero de laguna Salada, ubicada a una altura geográfica de 2310 msnm, con un ancho de sección estimado de 93 m, de profundidad baja observada de 8,66 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, con olor a sustrato orgánico, sin flujo y con aguas transparente. La estación de

muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin presencia de vegetación ribereña.

- Estación S-10

La estación S-10 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2303 msnm, con un ancho de sección estimado de 39 m, de profundidad baja de 19,13 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, con un flujo nulo y de aguas muy turbias. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida en el centro de la laguna, sin vegetación ribereña.

- Estación SA-25

La estación SA-25 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2313 msnm, con un ancho de sección estimado de 315 m, de profundidad baja de 13,33 cm en promedio. El sustrato de la estación correspondió a sedimento fino, sin flujo y con aguas ligeramente turbias. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin vegetación ribereña.

- Estación I-11

La estación I-11 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2301 msnm, con un ancho de sección estimado de 288 m, de profundidad baja de 10,0 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y orgánico, con un flujo nulo y con aguas muy turbias. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña.

- Estación I-17

La estación I-17 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2300 msnm, con un ancho de sección estimado de 430 m, de profundidad baja de 15,5 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, con un significativo aumento del espejo de agua y de la profundidad de la columna de agua.

9.2.1.2 Sector La Punta y La Brava

Este sector comprende las lagunas La Punta y La Brava en las que fueron emplazadas cinco estaciones de muestreo, 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**).

- Estación LB-1

La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2311 msnm, con un ancho de sección estimado de 268 m, de profundidad baja de 22,0 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y orgánico, 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.

- Estación LB-2

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2310 msnm, con un ancho de sección estimado de 252 m, de profundidad 8,0 cm en promedio. 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. Se observó una disminución en el área del espejo de agua de la laguna.

- 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 2308 msnm, con un ancho de sección estimado de 13 m, de profundidad baja con 4,66 cm en promedio. El tipo de sustrato corresponde a sedimento fino, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó plantas acuáticas hidrófitas senescentes. Se observó una disminución en el espejo de agua de la laguna.

- Estación LP-23

La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2305 msnm, con un ancho de sección estimado de 140 m, de profundidad de 23,6 cm en

promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, aunque se observaron afloramientos pequeños, en la línea de costa se observó un nulo flujo en la laguna, y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas y tres especies de helófitas en ribera. Presencia de microbialitos al interior de la laguna.

- Estación LP-24

La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2304 msnm, con un ancho de sección estimado de 473 m, de profundidad de 22,6 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas y helófitas en ribera. Presencia de evaporitas al interior de la laguna.

9.2.1.3 Sector Tilopozo

Este Sector corresponde al área denominada vegas de Tilopozo y en ella se ubican tres estaciones de muestreo, 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**).

- Estación TB-1

La estación TB-1 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2305 msnm, con un ancho de sección aproximado de 6,3 m en promedio, de profundidad estimada de 226 cm. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento grava y arena sin flujo, y con aguas transparentes.

Además, en esta estación se observó un canal aledaño de 97 cm de ancho; con especies emergentes (helófitas) principalmente de los géneros *Schoenoplectus* y *Distichlis* y lamas de microalgas flotantes en el canal, se observó también la presencia de peces del género *Gambusia*, taxón introducido y sin categoría de conservación según RCE (2012). Cabe destacar que, la poza presenta más de un 33% de hidrófitas sumergidas (*Zannichellia palustris*) y lamas de microalgas que crecen sobre y entre dichas plantas.

- Estación TB-2

La estación TB-2 corresponde pajonal hídrico, ubicado a una altura geográfica de 2309 msnm, con un ancho de sección aproximado de 16,3 x 22,0 m. Respecto del sustrato no fue posible en este monitoreo obtener registro, dado que la estación de monitoreo estaba

completamente cubierta por plantas helófitas. En la presente campaña se observó la estación de muestreo sin agua y cubierta en un 100% por especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Juncus*.

- Estación TB-3

La estación TB-3 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2315 msnm, con un ancho de sección aproximado de 8,0 m, de una profundidad estimada de 200 cm. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento fino, detrito y materia orgánica particulada fina, sin flujo, y con aguas transparentes.

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).

En la campaña de invierno 2019 se observó 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.

9.2.2 Resultados del muestreo campaña de invierno 2019 (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 2019 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**.

Para la subcomponente de calidad de aguas, se entrega de forma adicional a sus Anexos, las planillas excel con los formatos establecidos en la Resolución Exenta SMA 894 del 24.06.19 que Dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Agua.

9.2.2.1.1 Resultados Sector Peine

Tabla N° 9-9. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (invierno 2019).

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	24,5	22,58	20,38	19,46	17,25	15,45	14,93
pH (***)	U pH	-	8,1	8,57	8,2	8,56	8,42	8,41	8,36	8,09
Conductividad	µS/cm	-	25350	45900	33500	46040	47330	48770	52850	119100
Salinidad	g/Kg	1	8,7	23,3	20,9	29,7	30,6	31,6	35,1	94
Oxígeno disuelto (***)	mg/L	-	4,1	9,6	7,46	5,93	5,68	4,67	4,53	3,91
Turbiedad	UNT	0,07	21,3	152	0,44	0,76	1,94	2,86	2,28	0,93
Clorofila "a"	µg/L	0,02	8,4	18,2	2,74	11,59	1,77	2,72	9,34	0,9
Clorofila en Perifiton	µg/L	0,02	-	-	0,17	0,47	0,07	0,11	0,38	0,04
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	3	-	-	<3	14	5	<3	<3	<3
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	2	273	491	245	204	198	188	189	202
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	3	-	-	239	176	188	182	183	196
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	3	-	-	6	28	10	6	6	6
Cloruro (Cl-)	mg/L	8	9634	17575	12974,7	18150,4	18292,2	19001,2	20773,7	54309,4
Nitrato (N-NO3-) (**)	mg/L	0,023	<0,15	<0,15	1,19	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Nitrito (N-NO2-) (**)	mg/L	0,023	<0,5	<0,5	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Amonio (N-NH4+)	mg/L	0,01	-	-	0,0153	<0,01	<0,01	<0,01	0,1983	0,0876
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	0,42	1,41	1,6	1,3	1,7	1,9	2,8	1,6
Fósforo Total (P) (**)	mg/L	0,127	<0,05	<0,05	0,28	0,165	0,204	0,276	0,643	1,062
Ortofosfato	mg/L	0,105	-	-	0,355	0,514	0,407	0,379	0,355	1,701

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Max LB (*)	Salada		Saladita		Interna	
					S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Sulfato (SO4-2)	mg/L	10	845	3474	1549	2202	2227	2589	2692	4598
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	137	619	<4	<4	<4	<4	5	5

Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante las campañas de invierno de 2008, 2013 y 2014 de la Línea Base. (**) Parámetros que se midieron en solo una campaña de invierno de Línea Base y los valores mínimos y máximos fueron iguales. (***) Parámetros registrados *in situ*.

Los resultados para el Sector de Peine (**Tabla N° 9-9**) en general se encuentran en los rangos propios de sistemas acuáticos salinos, es decir, alta conductividad (entre 33.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 119.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y salinidades elevadas (entre 20,9 y 94 g/Kg) incrementándose desde laguna Salada a laguna Interna, asociadas principalmente al contenido de sales como cloruros (entre 12.974,7 mg/L y 54.309,4 mg/L) y sulfatos (entre 1.549 mg/L y 4.598 mg/L) que presentaron la misma tendencia. Las temperaturas se presentan acorde con la profundidad de estos cuerpos de agua, oscilando entre 14,93 y 22,58 °C. El pH se presenta principalmente alcalino con valores entre 8,09 y 8,56, valores que se corresponden con los obtenidos para los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato.

El oxígeno disuelto mostró un rango de 7,46 a 3,91 mg/L entre las estaciones del Sector Peine, disminuyendo desde laguna Salada a laguna Interna. La turbiedad tuvo valores bajos entre 0,44 y 2,86 UNT y la clorofila “a” en fitoplancton presentó valores entre 0,90 y 11,59 $\mu\text{g}/\text{L}$, con su valor máximo registrado en S-5. Los compuestos nitrogenados en general mostraron valores bajos (la gran mayoría bajo el límite de detección), exceptuando por el Nitrógeno Total Kjeldhal con valores entre 1,3 y 2,8 mg/L. A su vez, el fósforo total y el ortofosfato mostraron valores de 0,165 a 1,062 mg/L y de 0,355 a 1,701 mg/L, respectivamente, con sus máximos registros en la estación I-17.

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 2019).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura (***)	C	-	7,5	24,9	13,09	12,18	20,51	23,43	22,25
pH (***)	U pH	-	7,77	8,32	8,27	8,29	8,1	8,13	8,31
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	-	22300	77600	54860	55470	102000	112100	44100
Salinidad	g/Kg	1	22,7	24,9	36,1	36,5	73,4	87,2	28,2
Oxígeno disuelto (***)	mg/L	-	5,3	9,12	3,88	4,06	3,32	3,51	4,35
Turbiedad	UNT	0,07	2,7	5,7	1,12	1,03	0,74	0,93	0,78

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Clorofila "a"	µg/L	0,02	<1,00	1,5	0,8	0,55	0,04	0,19	1,46
Clorofila en Perifiton	µg/L	0,02	-	-	0,05	0,03	<0,02	<0,02	0,05
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-	<3	9	<3	<3	5
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	2	268	387	383	382	433	454	314
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-	377	364	427	448	304
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	-	-	6	18	6	6	10
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	8	22224	22865	20631,9	21837,2	43461,7	48424,7	16377,9
Nitrato (N-NO ₃ ⁻) (**)	mg/L	0,023	<0,15	<0,15	0,3	0,2	<0,023	<0,023	<0,023
Nitrito (N-NO ₂ ⁻) (**)	mg/L	0,023	<0,5	<0,5	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	0,01	-	-	0,074	0,0855	0,074	<0,01	<0,01
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	0,27	1,25	1,3	1,5	1,2	1,8	1
Fósforo Total (P) (**)	mg/L	0,127	<0,05	<0,05	0,832	0,954	1,146	1,052	1,042
Ortofosfato	mg/L	0,105	-	-	1,383	2,069	2,931	2,457	2,39
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	10	6716	7261	3173	3141	6573	8532	3684
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	424	749	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante las campañas de invierno de 2008, 2013 y 2014 de la Línea Base. (**) Parámetros que se midieron en solo una campaña de invierno de Línea Base y los valores mínimos y máximos fueron iguales. (***) Parámetros registrados *in situ*.

Los valores obtenidos para el Sector de La Punta y La Brava (Tabla N° 9-10) se caracterizaron por presentar una alta conductividad (entre 44.100 y 112.100 µS/cm) y elevadas salinidades (entre 28,2 y 87,2 g/Kg). La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruro (entre 16.377,9 y 48.424,7 mg/L) y sulfato (entre 3.141 y 8.532 mg/L), siendo las estaciones LB-1 y LB-2 (laguna La Brava) las que presentaron el mayor contenido de sales comparado con el resto de las estaciones monitoreadas en el sector. La estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de la Laguna La Brava, mostró los menores valores de los parámetros relacionados con la conductividad y salinidad en el sector, pero aun así tuvo una gran concentración de sales, con una conductividad de 44.100 µS/cm, una salinidad de 28,2 g/Kg, una concentración de cloruros de 16.377,9 mg/L y una concentración de sulfatos no menor de 3.684 mg/L). En el caso de Laguna La Punta, también se obtuvieron conductividades y salinidades altas, con valores para LP-23 y LP-24 de 54.860 y 55.470 µS/cm y de 36,1 y 36,5 g/Kg, respectivamente en esos parámetros, junto con altas concentraciones en cloruro (20.631,9 y 21.837,2 mg/L) y sulfato (3173 y 3141 mg/L) para cada una de esas estaciones.

Las temperaturas en esta campaña estuvieron acordes con la profundidad de estos cuerpos de agua (12,18 a 23,43 °C), junto con un pH alcalino entre 8,1 y 8,31 cuyos valores se

corresponden con los parámetros de alcalinidad total (314 a 454 mg/L) y bicarbonato (304 a 448 mg/L). El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 3,32 y 4,35 mg/L, observándose el mayor valor en LB-3 (afluente de La Brava), al igual que la clorofila "a" que mostró un rango entre 0,04 y 1,46 µg/L. La turbiedad tuvo un rango de valores bajos entre 0,74 y 1,12 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 1,0 mg/L y 1,8 mg/L. Por su parte el fósforo total varió entre 0,832 y 1,146 mg/L y el ortofosfato entre 1,383 y 2,931 mg/L, con sus máximos registros en LB-1.

9.2.2.1.3 Resultados Sector Tilopozo

Tabla N° 9-11. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (invierno 2019).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Temperatura (**)	C	-	25,15	Sin Agua	25,6
pH (**)	U pH	-	7,02		6,86
Conductividad	µS/cm	-	4256		4148
Salinidad	g/Kg	1	2,3		2,3
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	3,79		3,65
Turbiedad	UNT	0,07	0,24		0,3
Clorofila "a"	µg/L	0,02	<0,02		0,21
Clorofila en Perifiton	µg/L	0,02	<0,02		<0,02
Alcalinidad Parcial (CaCO ₃)	mg/L	3	<3		5
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	2	348		344
Bicarbonato (CaCO ₃)	mg/L	3	342		334
Carbonatos (CaCO ₃)	mg/L	3	6		10
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	8	1701,6		1772,5
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,023	5,25		5,33
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,023	<0,023		<0,023
Amonio (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	0,01	<0,01		0,0401
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,1	1,6		1
Fósforo Total (P)	mg/L	0,127	<0,127		0,145
Ortofosfato	mg/L	0,105	0,367		0,407
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	mg/L	10	448		429
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	<4	

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo.

(**) Parámetros registrados *in situ*.

En esta campaña de invierno 2019, la estación TB-2 se encontró sin agua. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de aproximadamente 2 m de profundidad, respectivamente, 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 4.148 y 4.256 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (2,3 g/Kg) y cloruro (entre 1.701,6 y 1.772,5 mg/L). El pH fue neutro (entre 6,86 y 7,02), 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 25,15 y 25,6 °C. El oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 3,65 y 3,79 mg/L. Por otro lado, la turbiedad mostró un rango de valores entre 0,24 y 0,3 UNT y la clorofila “a” en fitoplancton presentó un rango de <0,02 a 0,21 $\mu\text{g}/\text{L}$. Por su parte el nitrato fluctuó entre 5,25 y 5,33 mg/L y el Nitrógeno Total Kjeldhal entre 1 y 1,6 mg/L, mientras que los otros compuestos nitrogenados (nitrito y amonio) tuvieron valores iguales o menores a 0,04 mg/L. En el caso del fósforo, las concentraciones fueron bajas y oscilaron entre <0,127 y 0,145 mg/L, los valores de ortofosfato fueron menores a 0,407 mg/L, mientras que el sulfato varió entre 429 y 448 mg/L.

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 2019. 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 R134 / 2019 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 MQC000073 Rev.0 basado en ASTM C136/C136 M-14 Gravimetría, acreditado para suelos, sedimentos lacustres, sedimentos acuáticos y sedimentos marinos, según certificado LE-651 del Instituto Nacional de Normalización emitido para la ETFA ANAM, tal entidad informó que las muestras de sedimento obtenidas durante la campaña de invierno de 2019, formaron una masa compacta al evaporar el contenido de agua a baja temperatura (proceso que se realiza en el laboratorio de forma previa según el método), 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 campaña invierno 2019 del Sector de Peine.

Tabla N° 9-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (invierno 2019).

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	69,08	66,47	69,55	30,74	73,72	28,77
Fósforo Total (P)	mg/Kg	0,5	34	78	255,79	342,95	115,97	95,91	137,81	7,15
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	0,14	5,3	5,52	3,87	4,13	1,64	3,16	1,15
Materia Orgánica	%	0,28	0,5	7,4	11,91	11,46	11,99	5,30	12,71	4,96
Potencial Redox	mV	-	-160	46,4	-442,2	-436,0	-433,5	-410,8	-423,9	-394,7

Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante la campaña de verano de 2015 de la Línea Base (única campaña de referencia para este componente).

En el sector Peine (**Tabla N° 9-12**) la concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 28,77 a 73,72 g/Kg y de 4,96% a 12,71%, respectivamente, registrándose los valores más altos en la estación I-11 (laguna Interna). El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en los sedimentos, varió de 1,15 a 5,52 g/Kg, con su máximo registro en S-9 (laguna Salada). Respecto al fósforo total, este osciló entre 7,15 y 342,95 mg/Kg, observándose concentraciones sobre 255 mg/Kg en laguna Salada (S-9 y S-5) y su concentración menor en laguna Interna (7,15 mg/Kg). Referente al potencial óxido-reducción, los registros muestran que en todas las estaciones se presentaron sedimentos con características reductoras con valores entre -442,2 y -394,7 mV, siendo el menor valor encontrado en S-9 (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 la campaña invierno 2019 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 2019).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	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	112,65	73,96	68,45	72,16	39,62
Fosforo Total (P)	mg/Kg	0,5	8	55	75,55	80,06	90,47	16,79	107,56

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	1,596	6,351	4,87	5,50	3,88	2,45	9,5
Materia Orgánica	%	0,28	3,9	8,2	19,42	12,75	11,80	12,44	6,83
Potencial Redox	mV	-	-161,6	-61	-452,3	-475,1	-434,7	-459,1	-443,6

Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante la campaña de verano de 2015 de la Línea Base (única campaña de referencia para este componente).

La concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 39,62 a 112,65 g/Kg y de 6,83% a 19,42%, respectivamente, registrándose los valores más altos en la estación LP-23 (La Punta) y los más bajos en la estación LB-3 (La Brava). Por su parte el Nitrógeno Total Kjeldahl, presentó su valor máximo y mínimo en La Brava, con un máximo de 9,5 g/Kg en LB-3 y un mínimo de 2,45 g/Kg en LB-2. Respecto al fósforo total, este varió entre 16,79 y 107,56 mg/Kg, observándose también su valor máximo en LB-3 y el mínimo en LB-2 (laguna La Brava). Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones se registraron en los sedimentos valores que indican sedimentos de ambiente reductor con valores entre -475,1 y -434,7 mV, con su mínimo valor en LP-24 (laguna La Punta).

9.2.2.2.3 Resultados Sector Tilopozo

En la **Tabla N° 9-14** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2019 del Sector de Tilopozo.

Tabla N° 9-14. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2019).

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	111,89	Sin agua	110,56
Fosforo Total (P)	mg/Kg	0,5	936,20		570,24
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	6,70		8,47
Materia Orgánica	%	0,28	19,29		19,06
Potencial Redox	mV	-	-392,5		-417,0

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo.

Cabe señalar que la estación TB-2, en la campaña de invierno 2019 se encontró sin agua. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de aproximadamente 2 m de profundidad, respectivamente, de afloramiento subsuperficial. Los resultados mostraron valores de carbono orgánico total (COT) entre 110,56 y 111,89 g/Kg y de materia orgánica entre 19,06% y 19,29%, siendo los más altos los registrados en TB-1. El nitrógeno

total Kjeldahl varió entre 6,70 g/Kg (TB-1) y 8,47 g/Kg (TB-3). El fósforo total, por su parte, presentó altos registros con valores entre 570,24 mg/Kg (TB-3) y 936,20 mg/Kg (TB-1). El potencial Redox en ambas estaciones indicó que los sedimentos presentan características reductoras con valores entre -417,0 y -392,5 mV, con su mínimo registrado en TB-3.

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 2019 estuvo compuesta por 14 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 2 géneros en la estación I-17 y 9 géneros en las estaciones S-9 y SA-25 respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas en Peine, fluctuó entre 0,05 cel/cm² en I-17 (laguna Interna) y 0,73 cel/cm² en SA-25 (laguna Saladita) (**Tabla N° 9-15**). La comunidad que presentó una diversidad mayor correspondió a la estación S-9 con 2,22 nits/ind, ubicada en la laguna Salada, mientras que, en la estación de Interna (I-17), se registró el menor valor de diversidad con 0,32 nits/ind (**Tabla N° 9-15**). Respecto de la equidad, se observó que el mayor valor lo presentó la estación S-9 (laguna Salada) y el menor en la estación I-17 ubicada en la laguna Interna. En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2019, se observó que las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Mastogloia* y *Rhopalodia*.

**Tabla N° 9-15. Comunidad fitobentos abundancia y riqueza en Sector Peine.
Campaña Invierno 2019.**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	0,02	0,01	0,07	0,07	0,05	
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	0,10	0,02				
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	0,02	0,01	0,01	0,02		
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	0,14		0,26	0,05	0,15	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>		0,03				
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>				0,21		
	Pennales	-	Pennales indet.		0,03	0,14	0,09	0,06	0,01
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	0,24	0,04	0,09	0,05	0,02	
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>					0,01	
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	0,01	0,02	0,01	0,01		
Naviculales	Neidiaceae	<i>Scolioleura</i>	0,01		0,13		0,10		
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>			0,01			
	Chroococcales	Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>		0,02				
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	0,09	0,01	0,02		0,05	0,05
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2019					
Abundancia total (cel/cm²)		46,8	6787,2	0,63	0,20	0,73	0,50	0,43	0,05
Riqueza de géneros (S)		2	14	8	9	9	7	7	2
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,60	2,22	1,80	1,61	1,67	0,32
Equidad (J')		-	-	0,77	0,93	0,78	0,83	0,86	0,46

Fuente: Elaboración propia. (*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante las campañas de invierno de la Línea Base.

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 2019 estuvo compuesta por 24 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 8 y 15 géneros en las estaciones LB-2 y en LB-3 respectivamente, ambas estaciones de la laguna La Brava). Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 0,59 cel/cm² en LB-1 (laguna La Brava) y 1,34 cel/cm² en LB-3 (laguna 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-2), se registró los menores valores de dichos parámetros (**Tabla N° 9-16**). En relación a los taxa dominantes durante la campaña de invierno 2019, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Denticula* y *Achnanthes*.

Tabla N° 9-16. Comunidad fitobentos, Abundancia y Riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2019.

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-24	LP-23	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Achnantheidium</i>			0,04		
	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Achnanthes</i>		0,004	0,12	0,41	0,11
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	0,06	0,04	0,07	0,09	0,15
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>					0,04
	Stephanodisciales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>		0,10	0,01		
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>		0,10			
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	0,10		0,11	0,39	0,16
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	0,04	0,06			
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	0,09	0,09			0,22
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>		0,16	0,04		0,16
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>		0,24	0,12		0,03
	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Planothidium</i>	0,08				
	Sellaphorineae	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>		0,04			
	Pennales	-	Pennales indet.	0,06	0,03	0,01	0,11	0,09
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	0,02		0,06	0,21	0,09
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>	0,05				
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	0,04				0,07
Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>	0,05			0,05	0,01	
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	0,01	0,01			0,13
	Chroococcales	Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>					0,03
	Nostocales	Nostocaceae	<i>Nostoc</i>				0,02	0,04
	Nostocales	Aphanizomenonaceae	<i>Nodularia</i>		0,09			0,01
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	0,07	0,16			
	Sphaeropleales	Radiococcaceae	<i>Gloeocystis</i>				0,01	
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2019				
Abundancia total (cel/cm²)		15,8	8752,8	0,69	1,12	0,59	1,28	1,34
Riqueza de géneros (S)		5	17	12	13	9	8	15
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	2,32	2,27	1,95	1,62	2,44
Equidad (J')		-	-	0,93	0,88	0,89	0,78	0,90

Fuente: Elaboración propia. (*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector La Punta y La Brava durante las campañas de invierno de la Línea Base.

9.2.2.3.1.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 9 géneros. La riqueza por estación fluctuó entre 6 géneros en TB-1, y 7 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 0,34 y 0,61 cel/cm² respectivamente (**Tabla N° 9-17**). Los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fueron similares para las estaciones TB-1 y TB-3. Cabe destacar que, la estación TB-2 en la actual campaña se encontró sin agua. Respecto de los *taxa* dominantes, se puede observar que las diatomeas *Nitzschia* y *Diploneis* presentaron las mayores abundancias relativas entre las estaciones evaluadas.

Tabla N° 9-17. Comunidad fitobentos, Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2019.

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	0,01	Sin agua	
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	0,10		0,01
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	0,10		
	Diploneidinea	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	0,03		0,20
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>			0,06
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>			0,02
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	0,07		0,27
	Pennales	-	Pennada indet.	0,04		0,03
Conjugatophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Mougeotia</i>		0,01	
Abundancia total (cel/cm²)				0,34		0,61
Riqueza de géneros (S)				6		7
Diversidad Shannon (nits/ind)				1,57		1,36
Equidad (J')				0,88		0,70

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo

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 ecológicamente 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 2019 estuvo compuesta por 14 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 1 y 11 géneros en las estaciones I-17 (laguna Interna) y SA-25 (laguna Saladita) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 0,13 cel/mL en I-17 (laguna Interna) y 1,20 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 1,87 nits/ind. En cambio, la menor diversidad fue observada en las estaciones S-10 e I-11 con 1,40 nits/ind. Para la equidad se observó el mayor registro en las estaciones S-10 e I-11, en cambio, la menor fue observada en la estación S-5. Cabe destacar que I-17 solo presentó un género por lo que la diversidad y equidad no es posible calcularla (**Tabla N° 9-18**). Respecto de los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de invierno 2019, se observó que las mayores representatividades fueron registradas para las diatomeas *Rhopalodia* y *Mastogloia*.

Tabla N° 9-18. Comunidad fitoplancton, abundancia y riqueza en Sector Peine. Campaña Invierno 2019.

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>	0,04	0,13				
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>			0,04			
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	0,05	0,06				
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>		0,04				
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	0,37	0,06	0,04	0,07	0,07	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	0,07	0,07				
	Pennales	-	Pennada indet.		0,11	0,22			
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	0,11	0,04	0,06	0,49	0,29	
	Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>					0,11	
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	0,04	0,15		0,36		
Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>			0,02			
	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>		0,17				
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>	0,35	0,80	0,24	0,12	0,14	0,13
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Microcystis</i>	0,02	0,17	0,12	0,16	0,44	
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2019					
Abundancia total (cel/mL)		29	5280	1,05	1,79	0,74	1,20	1,05	0,13
Riqueza de géneros (S)		4	12	8	11	7	5	5	1

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	1,57	1,87	1,64	1,40	1,40	-
Equidad (J')		-	-	0,75	0,78	0,84	0,87	0,87	-

Fuente: Elaboración propia. (*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante las campañas de invierno de la Línea Base.

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 2019 presentó 16 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 3 y 11 géneros, observado en las estaciones LP-24 (laguna La Punta) y LB-3 (laguna La Brava) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 0,45 cel/mL en LP-24 (laguna La Punta) y 1,35 cel/mL en LP-23 (laguna La Punta) (**Tabla N° 9-19**). La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LB-3 con 1,86 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LP-24 con 0,71 nits/ind ubicadas en la laguna La Punta (**Tabla N° 9-19**). En tanto, la equidad fluctuó entre 0,64 en la estación LP-24 y 0,96 en la estación LB-2. Respecto de los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de invierno 2019, se observó que las mayores representatividades fueron observadas para la cianófita *Microcystis* y para el taxón Pennales indet.

Tabla N° 9-19. Comunidad fitoplancton, abundancia y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2019.

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-24	LP-23	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>					0,10
	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Achnanthidium</i>		0,03			
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>			0,04		0,16
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>		0,02			
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>		0,03			
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	0,02				
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>		0,05			0,01
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>				0,10	0,03
	Pennales	-	Pennada indet.	0,32	0,36	0,22	0,07	0,06
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>		0,05	0,27		0,04
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>		0,08			
	Sphaeropleales	Radiococcaceae	<i>Gloeocystis</i>				0,12	0,10
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>					0,07
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Microcystis</i>	0,11	0,70	0,42	0,17	0,50
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>		0,05	0,04		0,06

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-24	LP-23	LB-1	LB-2	LB-3
	Spirulinales	Spirulinaceae	<i>Spirulina</i>					0,01
Límites LB (*)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación Inv-2019				
Abundancia total (cel/mL)		76	4905	0,45	1,35	1,00	0,47	1,13
Riqueza de géneros (S)		6	14	3	9	5	4	11
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,71	1,43	1,33	1,34	1,86
Equidad (J')		-	-	0,64	0,65	0,83	0,96	0,77

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 las campañas de invierno de la Línea Base.

9.2.2.3.2.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 5 géneros. Cabe destacar que, la estación TB-2 se encontró sin agua en esta campaña. La riqueza por estación presentó un valor de 3 géneros en TB-1 y TB-3 respectivamente. Respecto a las abundancias registradas las estaciones TB-1 y TB-3 presentaron valores entre 0,47 y 0,66 cel/mL (**Tabla N° 9-20**). Los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitoplancton dentro del Sector Tilopozo fueron mayores en la estación TB-3. Respecto de los *taxa* dominantes, *Mougeotia* (Conjugatophyceae) presentó la mayor abundancia relativa entre las estaciones de vegas de Tilopozo.

Tabla N° 9-20. Comunidad fitoplancton, abundancia y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2019.

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	0,03	Sin agua	
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	0,04		
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Synedra</i>			0,09
Conjugatophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Mougeotia</i>	0,40		0,34
	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i>			0,23
Abundancia total (cel/mL)				0,47		
Riqueza de géneros (S)				3		3
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,52		0,99
Equidad (J')				0,47		0,90

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo.

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 2019.

9.2.2.3.3.1 Sector Peine

En la comunidad de zooplancton del sector de Peine en invierno 2019, se observaron riquezas entre 1 taxón y 4 *taxa* en las estaciones de muestreo. Se registró un taxón, solamente en la estación I-17, mientras que las máximas riquezas de *taxa* se registraron en las estaciones S-9 y S-5. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos Canthocamptidae, por el branquiópodo *Artemia franciscana*, por larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae y Ephydriidae y por anfípodos del género *Hyalella*. En el caso de *A. franciscana*, los individuos capturados se encontraron tanto en estado larvario de Nauplius como adultos. Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton fueron bajos y variaron entre 0,25 ind/L en SA-25 (laguna Saladita) y 9,67 ind/L en I-11 (laguna Interna). Los organismos con mayor abundancia y frecuencia en Peine fueron los copépodos Canthocamptidae, obteniendo su máximo registro en I-11 (9,63 ind/L), además de ser los más abundantes en todas las estaciones de las lagunas Salada y Saladita. Por su parte *A. franciscana* mayoritariamente se encontró en I-17 siendo el único taxón encontrado en esa estación (9,32 ind/L). El resto de los *taxa* encontrados mostraron muy bajas abundancias (entre 0,02 y 0,45 ind/L). Respecto a la diversidad (H) y equidad (J'), no se pudo estimar en la estación I-17 de laguna Interna, debido a que solo se registró un taxón. En todas las demás estaciones, las diversidades fueron bajas (entre 0,01 y 0,8 nits/ind) y las equidades en general bajas (entre 0,02 y 0,73), debido a las bajas riquezas y 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 2019).

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> (*)				0,02		9,32
Hexanauplia (SC Copepoda)	Harpacticoida	Canthocamptidae	Canthocamptidae indet.	1,42	1,07	0,17	9,25	9,63	
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.	0,45	0,08	0,07			
		Ephyrididae	Ephyrididae indet.	0,02	0,02	0,02		0,02	
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella sp.</i>	0,08				0,02	
Oligochaeta	-	-	Oligochaeta indet		0,08				
Límites LB		Mínimo LB (**)	Máximo LB (**)	Valores por estación en Invierno 2019					
Abundancia total (Ind/L)		0,3	137,3	1,97	1,25	0,25	9,27	9,67	9,32
Riqueza de taxa (S)		1	4	4	4	3	2	3	1
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,75	0,55	0,80	0,01	0,03	-
Equidad (J')		-	-	0,54	0,40	0,73	0,02	0,02	-

Fuente: Elaboración propia. (*) Incluye larvas Nauplius y Adultos de *Artemia franciscana*. (**) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector, durante las campañas de invierno de 2008, 2013 y 2014 de la Línea Base.

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 registró un total de 4 taxa de organismos zooplanctónicos en invierno de 2019, con riquezas entre 2 y 3 taxa por estación, siendo la mínima la obtenida en la estación LB-2 (La Brava) y en el resto de las estaciones ocurrieron 3 taxa. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos Harpacticoida de la familia Canthocamptidae, por el branquiópodo *Artemia franciscana* (en estado larvario Nauplius y adultos) y también por larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae y Ephyrididae. El taxón con mayor frecuencia fue Canthocamptidae, que se encontró en todas las estaciones de este sector. Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron en un rango de 2,47 a 5,78 ind/L, con un mínimo obtenido en LP-24 y un máximo en LB-1. Los organismos más abundantes fueron los copépodos Canthocamptidae, alcanzando 5,40 ind/L en LB-2, seguidos por *A. franciscana* que obtuvo un máximo de 1,18 ind/L en LP-24. La estructura comunitaria del zooplancton en el sector La Punta y La Brava, muestra que el grupo dominante fue Canthocamptidae seguido por *A. franciscana*, mientras que las larvas de dípteros fueron pobremente representadas. Respecto a las diversidades estimadas, estas fueron bajas tanto para las estaciones de la laguna La Brava como para la laguna La Punta (entre 0,24 y 0,78 nits/ind). La equidad también tendió a ser mayoritariamente baja en las estaciones del sector (valores entre 0,30 y 0,71), 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 2019).

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> (*)	1,17	1,18	0,13		0,12
Hexanauplia (SC Copepoda)	Harpacticoida	Canthocamptidae	Canthocamptidae indet.	2,78	1,23	3,83	5,40	2,92
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.					0,13
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.	0,02	0,05	0,28	0,38	
Límites LB (**)		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2019				
Abundancia total (Ind/L)		0,0	239,1	3,97	2,47	4,25	5,78	3,17
Riqueza de taxa (S)		0	4	3	3	3	2	3
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,63	0,78	0,38	0,24	0,33
Equidad (J')		-	-	0,57	0,71	0,35	0,35	0,30

Fuente: Elaboración propia. (*) Incluye larvas Nauplius y Adultos de *Artemia franciscana*. (**) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector, durante las campañas de invierno de 2008, 2013 y 2014 de la Línea Base.

9.2.2.3.3.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2019, solo en la estación TB-1 se encontraron organismos zooplanctónicos, mientras que en TB-3 no se encontró ningún organismo de este componente. Cabe mencionar que la estación TB-2 en campañas anteriores correspondió a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, en la campaña de invierno 2019 esta estación se encontró sin agua. En TB-1 la riqueza total fue de 0,35 ind/L, 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. A pesar de las bajas abundancias, Collembola fue el grupo dominante con 0,27 ind/L en esa estación. Respecto a la diversidad, esta fue baja (0,55 nits/ind) y la equidad tendió a ser alta (0,79), debido a la baja riqueza y que las abundancias de sus *taxa* fueron similares (Tabla N° 9-23).

Tabla N° 9-23. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo (invierno 2019).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Hexanauplia (SC Copepoda)	Harpacticoida	Canthocamptidae	Canthocamptidae indet.	0,08	Sin agua	
Ellipura	Collembola	-	Collembola indet.	0,27		
Abundancia total (Ind/L)				0,35	-	0,00
Riqueza de taxa (S)				2	-	0
Diversidad Shannon (nits/ind)				0,55	-	-
Equidad (J')				0,79	-	-

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo.

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 gasterópodos 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, consumidores secundarios y los niveles tróficos superiores. A continuación, se presentan los resultados de la campaña de monitoreo de invierno 2019.

9.2.2.3.4.1 Sector Peine

En el sector Peine el zoobentos presentó una riqueza de taxa entre 0 y 5, ocurriendo el máximo en la estación S-9, tres taxa en la estación S-5, dos taxa en I-11, solo un taxón en las estaciones SA-25 e I-17 (respectivamente) y ningún organismo en la estación S-10. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae, Dolichopodidae, Ephydriidae y Muscidae, por anfípodos *Hyaella* sp., por ostrácodos *Eucypris* sp., por moluscos gasterópodos *Heleobia* sp. y por gusanos Oligochaeta. Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 0 ind/m² en S-10 (laguna Saladita) a 6.875 ind/m² en S-9 (laguna Salada). Los organismos más abundantes fueron los ostrácodos *Eucypris* sp. encontrados solo en S-9, seguidos por larvas de insectos Ceratopogonidae encontrados en SA-25 (únicos en esa estación) y luego por los gasterópodos *Heleobia* sp. encontrados solo en S-5. Las estimaciones de diversidad

y equidad solo se pudieron calcular matemáticamente en las estaciones que tuvieron 2 o más *taxa* registradas, en este caso solo para las estaciones S-9, S-5 e I-11. Las diversidades para todas las estaciones fueron bajas, entre 0,38 y 0,71 nits/ind y las equidades calculadas fueron bajas en S-9 y S-5 (0,44 y 0,35, respectivamente) y alta en I-11 (0,97). Este último valor estuvo dado por las abundancias similares de los *taxa* obtenidas en esa estación (**Tabla N° 9-24**).

Tabla N° 9-24. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Peine (invierno 2019).

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.	875		3000		250	
		Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.	125					
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.		125			375	625
		Muscidae	Muscidae indet.	125					
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella sp.</i>	250					
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	<i>Eucypris sp.</i>	5500					
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>		2375				
Oligochaeta	-	-	Oligochaeta indet.		125				
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2019					
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	6875	2625	3000	0	625	625
Riqueza de taxa (S)		2	5	5	3	1	0	2	1
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	0,71	0,38	-	-	0,67	-
Equidad (J')		-	-	0,44	0,35	-	-	0,97	-

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB (*) y Máximo LB (*) corresponden a los valores mínimos y máximos de riqueza de familias registrados en estas estaciones del sector Peine, durante las campañas de invierno 2013 y 2014 de la Línea Base.

9.2.2.3.4.2 Sector La Punta y La Brava

En el sector La Punta y La Brava el zoobentos registró una riqueza máxima de 2 *taxa* en la estación LP-24, solo un taxón en las estaciones LP-23, LB-2 y LB-3, y ningún organismo se encontró en la estación LB-1. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta únicamente por larvas de insectos dípteros de las familias Ceratopogonidae y Ephydriidae. Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 0 ind/m² en LB-1 a 2375 ind/m² en LB-3. Los organismos más abundantes fueron las larvas de Ceratopogonidae, alcanzando los 2375 ind/m² en LB-3 (únicos en esa estación). Las estimaciones de diversidad y equidad solo se pudieron calcular matemáticamente en la estación LP-24 que tuvo 2 *taxa* registradas, resultando una baja diversidad de 0,56 nits/ind y una equidad alta de 0,81, esta última dada porque las abundancias tendieron a ser similares en esa estación. (**Tabla N° 9-25**).

Tabla N° 9-25. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector La Punta y La Brava (invierno 2019).

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.	375	375			2375
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.		125		125	
Límites LB		Mínimo LB	Máximo LB	Valores por estación en Invierno 2019				
Abundancia total (Ind/m²)		-	-	375	500	0	125	2375
Riqueza de taxa (S)		0	6	1	2	0	1	1
Diversidad Shannon (nits/ind)		-	-	-	0,56	-	-	-
Equidad (J')		-	-	-	0,81	-	-	-

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 las campañas de invierno 2013 y 2014 de la Línea Base.

9.2.2.3.4.3 Sector Tilopozo

En el sector Tilopozo el zoobentos presentó tan solo un taxón, correspondiente al gasterópodo *Heleobia* sp. La abundancia de este organismo en TB-1 fue de 750 ind/m² y en TB-3 fue de 2875 ind/m². Cabe mencionar que en la campaña de invierno 2019 la estación TB-2 se encontró sin agua. (Tabla N° 9-26). Las estimaciones de diversidad y equidad solo se pueden calcular matemáticamente en las estaciones que tengan 2 o más taxa registradas, en este caso dichos parámetros comunitarios no se pudieron estimar.

Tabla N° 9-26. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector Tilopozo (invierno 2019).

Clase	Orden	Familia	Taxa	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia</i> sp.	750	Sin agua	2875
Abundancia total (Ind/m²)				750		2875
Riqueza de taxa (S)				1		1

Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo.

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 2019, 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° 9-27**).

**Tabla N° 9-27. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio.
 Campaña invierno 2019**

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 sp.</i>	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. 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 47 y 57% en el sector Peine y entre 8 y 22% de cobertura en La Punta, mientras que en La Brava fue detectada solo en la estación LB-3 con 10%. 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 (ej. presencia en la 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 las estaciones LP-23 y LP-24 se reportó la presencia de las helófitas emergentes *Puccinellia frígida* (3%), *Triglochin concinna* (2%) y *Sarcocornia fruticosa* en LP-23 y solo la

presencia de *S. fruticosa* en LP-24 y en la laguna La Brava solo 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 (% cobertura) en el área de estudio. Campaña invierno 2019.

Especie	Nombre Común	Estaciones													
		Sector Peine						Sector La Punta - La Brava					Sector Tilopozo		
		S5	S9	SA 25	S10*	I11	I17	LP 24	LP 23	LB1	LB2	LB3	TB1	TB2	TB3
<i>Ruppia filifolia</i>	Pelo de Agua	X (47%)		X (57%)	X			X (22%)	X (8%)			X (10%)			
<i>Zannichellia palustris</i>	Cachagüita											X (33%)			X (33%)
<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>	Totorá											X (27%)			X (33%)
<i>Juncus balticus</i>	Junco											X (27%)	X (100%)		
<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre								X (2%)		X (17%)				
<i>Puccinellia frigida</i>	Sin nombre								X (3%)						
<i>Distichlis spicata</i>	Gramá salada											X (10%)			
<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa							X	X (53%)						
<i>Baccharis</i> sp.	Romerillo														X (33%)
		1	0	1	1	0	0	1	4	0	1	1	4	1	3

Fuente: Elaboración propia. *Se registró solo presencia de *Ruppia*, ya que el parche fue detectado en el centro de la laguna. N=3. Cuadrante 50x50 cm.

9.2.3 Límites considerados en la evaluación de Limnología

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 (Línea Base del Plan de Manejo Biótico, en adelante LB) con los resultados obtenidos en los monitoreos realizados posteriormente hasta la fecha. En el presente informe se utilizó la data de LB

respectiva para cada sector, de los periodos de invierno 2008, 2013 y 2014. Para las comunidades biológicas se aplicó el mismo criterio.

Cabe destacar que el sector Tilopozo no cuenta con antecedentes de LB dentro del Plan de Manejo Biótico, por lo que sólo se pueden realizar comparaciones entre monitoreos, considerándose los mismos periodos estacionales (invierno 2016, 2017, 2018 y 2019).

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. Una disminución en el nivel del acuífero y/o aporte hídrico, originaría la compresión de los cuerpos de agua, así como la reducción de la cobertura de vegetación azonal (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 “Superficie Cubierta 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 y (2) Peine. Para tal fin, se utilizan imágenes satelitales multiespectrales con un pixel 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 septiembre de 2019**.

En este contexto, este informe presenta el monitoreo y seguimiento ambiental de las “Superficies cubierta por lagunas” medidas en invierno de 2019, 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)¹¹”, 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

¹¹ 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)	Análisis de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales con un pixel máx. de 4 metros, que incluirán los dos sistemas lagunares. Metodología Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI), Adenda 5 RWL, (2015).

Cabe señalar que las superficies cubiertas por lagunas se asocian también con los niveles freáticos medidos en las mismas¹² y vegetación azonal, las que 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 validación estacional, 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, 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.

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.	Especialistas en terreno: Tomás Lizama Victoria Perry David Avaca
	<u>Trabajo en gabinete:</u> Aplicación del modelo de clasificación	Jefe de Proyecto: Jorge Ramos

¹² 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.

Empresa / Equipo de Trabajo	Actividades realizadas	Encargado
	supervisada y análisis de resultados.	Encargada del componente: Victoria Perry Especialistas en gabinete: Tomás Lizama Jessica Labarca
Apogeos	Trabajo en gabinete: Correcciones y adquisición de imágenes satelitales.	Lorena Bustamante (Cartógrafo especialista)

Fuente: Elaboración Propia

Respecto al contenido del presente 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 de agosto de 2019. 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 del mismo periodo y con la superficie determinada a partir de Landsat 8.

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 informe semestral se desarrollan los siguientes objetivos específicos:

- Presentar las coberturas de cuerpos de agua calculadas en agosto de 2019 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 validación de terreno 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, y compararlas con los registros de línea de base.

- Comparar las coberturas de los sistemas lagunares calculadas desde imágenes de alta resolución (Pleiades 1A) con las superficies calculadas a partir de imágenes de media resolución (Landsat 8).
- Contrastar los resultados de la presente temporada, con temporadas similares desde agosto del año 2016, aún en fase de construcción del proyecto, y agosto de los años 2017 y 2018, ya en fase de operación, tanto de coberturas de cuerpos de agua obtenidas desde imágenes satelitales de alta y media resolución.

10.1 MATERIALES Y MÉTODOS

10.1.1 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

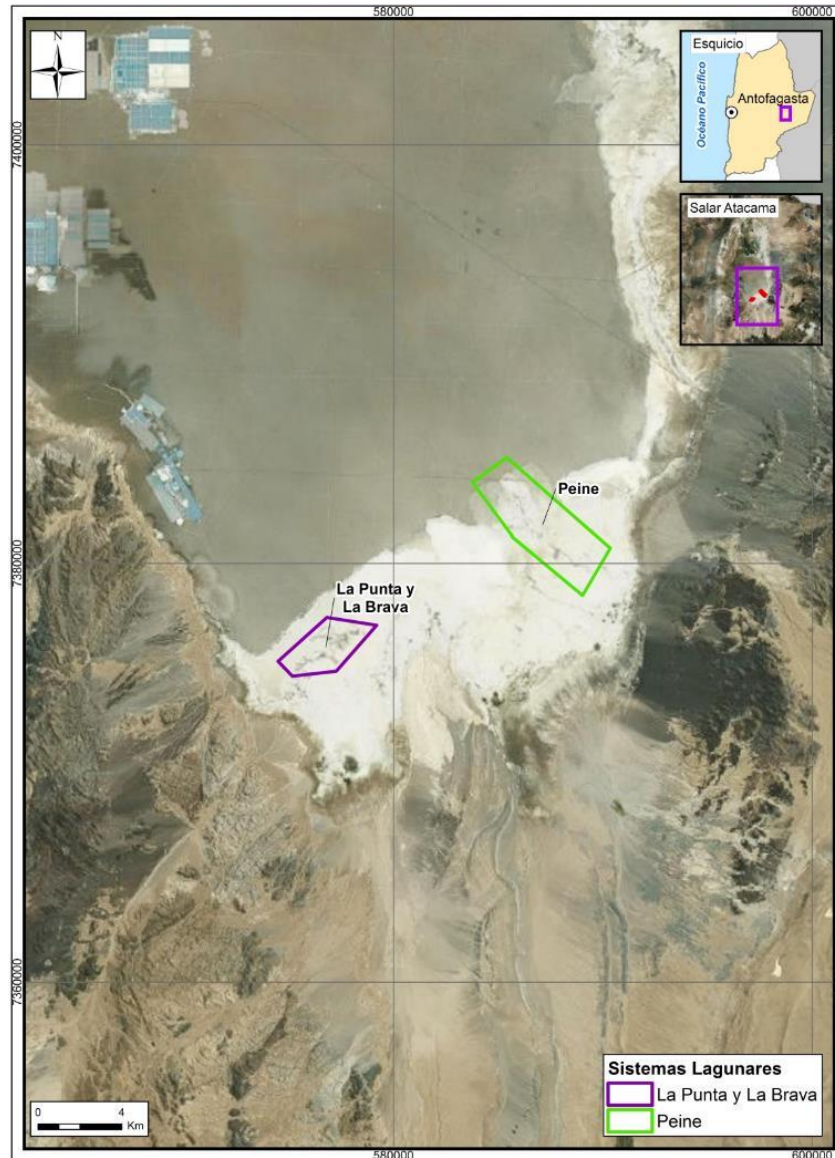
Esta área corresponde a los Sistemas Lagunares establecidos en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos (PSAH), que para efecto del PMB corresponden a dos sistemas lagunares del Salar de Atacama (Figura N°10-1), conformando un área de estudio total de 2.495,1 ha (fuente datos Anexo 3- Adenda 5), donde:

- 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 sub-superficialmente hacia el núcleo del Salar, se enriquecen progresivamente en sales disueltas. En el resto de la zona marginal, en torno al núcleo del salar, las aguas del acuífero se sitúan muy próximas a la superficie del terreno,

sin llegar a aflorar, y sufren una evaporación muy intensa, con una oscilación estacional, la cual provoca que los niveles asciendan en los meses de invierno, y desciendan en verano, cuando se favorecen flujos de evaporación mayores (Adenda 5 RWL, 2015).

Figura N°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 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 validan el modelo de clasificación supervisada usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.

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.

La colección de datos para este año se realizó en una campaña, la que se llevó a cabo entre el **28 y el 31 de agosto de 2019** (invierno de 2019). En forma complementaria, durante la campaña, se realizó la captura de las imágenes satelitales de alta resolución (Pleiades-1A) y, cuatro días después de finalizada la campaña se descargó la imagen de media resolución (Landsat 8). La metadata de las imágenes se presenta en el **Anexo Área de Lagunas**. Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron DJI modelo *Mavic Pro* con cámara de 12 mega pixeles en los sectores de La Punta y La Brava y Peine.

La **Tabla N°10-3** presenta el detalle del muestreo aplicado en cada sistema lagunar en estudio. Las diferencias en la ubicación y el número de puntos considerados para validación entre imágenes Pleiades-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 2019, 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 RECURRIMIENTO DE SUELO	PUNTOS DE VALIDACIÓN TERRENO	
		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	167	45
	Cuerpos de agua	138	52
	Total sistema lagunar	305	97
Peine	Otros recubrimientos	55	55
	Cuerpos de agua	136	127
	Total sistema lagunar	191	182
TOTAL GENERAL		496	279

Fuente: Elaboración Propia.

10.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua

El parámetro de seguimiento utilizado en el presente análisis corresponde a la “superficie o área (m²)” calculada por sistema lagunar a través de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales, con un píxel máximo de 4 metros, en base a la metodología de Índice Normalizado de Diferencias de Agua (*NDWI*) indicada en Adenda 5 RWL, (2015).

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

La metodología para la determinación de superficies lagunares se lleva a cabo en dos fases: (i) muestreo en terreno, que implica el apoyo al modelo de clasificación supervisada y (ii) metodología de análisis y procesamiento de la información o generación del modelo de clasificación supervisada.

10.1.4.1 Muestreo en terreno

El diseño de muestreo implementado corresponde al tipo *aleatorio –estratificado y estratificado- dirigido* mediante transectos, en ambos 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 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. El muestreo en terreno se lleva a cabo mediante el levantamiento de puntos de monitoreo con receptores Full GNSS/GPS, que consiste en el marcaje del tipo de recubrimiento de suelo mediante tecnología Geo-Estacionaria de posicionamiento en tiempo real al decímetro (5-10 cm) con señal de corrección *Starfire*, que implica el marcaje del tipo de recubrimiento de suelo directamente en terreno para cada punto de medición, en coordenadas UTM 19S WGS84.

En la campaña de invierno de 2019, este muestreo se implementó en los puntos de réplicas estacionales establecidos para el monitoreo desde el inicio (2016), considerando las condiciones de accesibilidad, seguridad y permisos respectivos en zonas de acceso restringido.

Posteriormente, en el software GIS ArcMap 10.0 se validan los puntos a los que no se pudo acceder en terreno, mediante la técnica de interpretación visual o fotointerpretación en base a las imágenes satelitales e imágenes de dron, proceso en el que se les asignó a estos puntos el tipo de recubrimiento de suelo (Cuerpo de agua / Otro recubrimiento). El **Anexo Áreas de Lagunas** muestran la distribución de los puntos de validación en cada sistema lagunar de estudio y el detalle de sus coordenadas de dichos puntos.

10.1.5 Metodología de análisis de las imágenes satelitales para delimitación de cuerpos de agua

10.1.5.1 Obtención de imágenes de alta resolución – Pleiades-1A

Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio provienen del sensor Pleiades-1A, y conforman un mosaico correspondiente a los sistemas de Peine y La Punta y La Brava (Figura N°10-2). La fecha de captura es 30 de agosto de 2019. La selección de este tipo de imágenes se debe a que sus características permiten contar con la resolución espacial adecuada para la cartografía detallada y de precisión (Pancromática, 50 cm; Multiespectral, 2 m), y permite mayor flexibilidad en cuanto a la periodicidad de captura, ya que su intervalo de revisita es de 24 h.

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

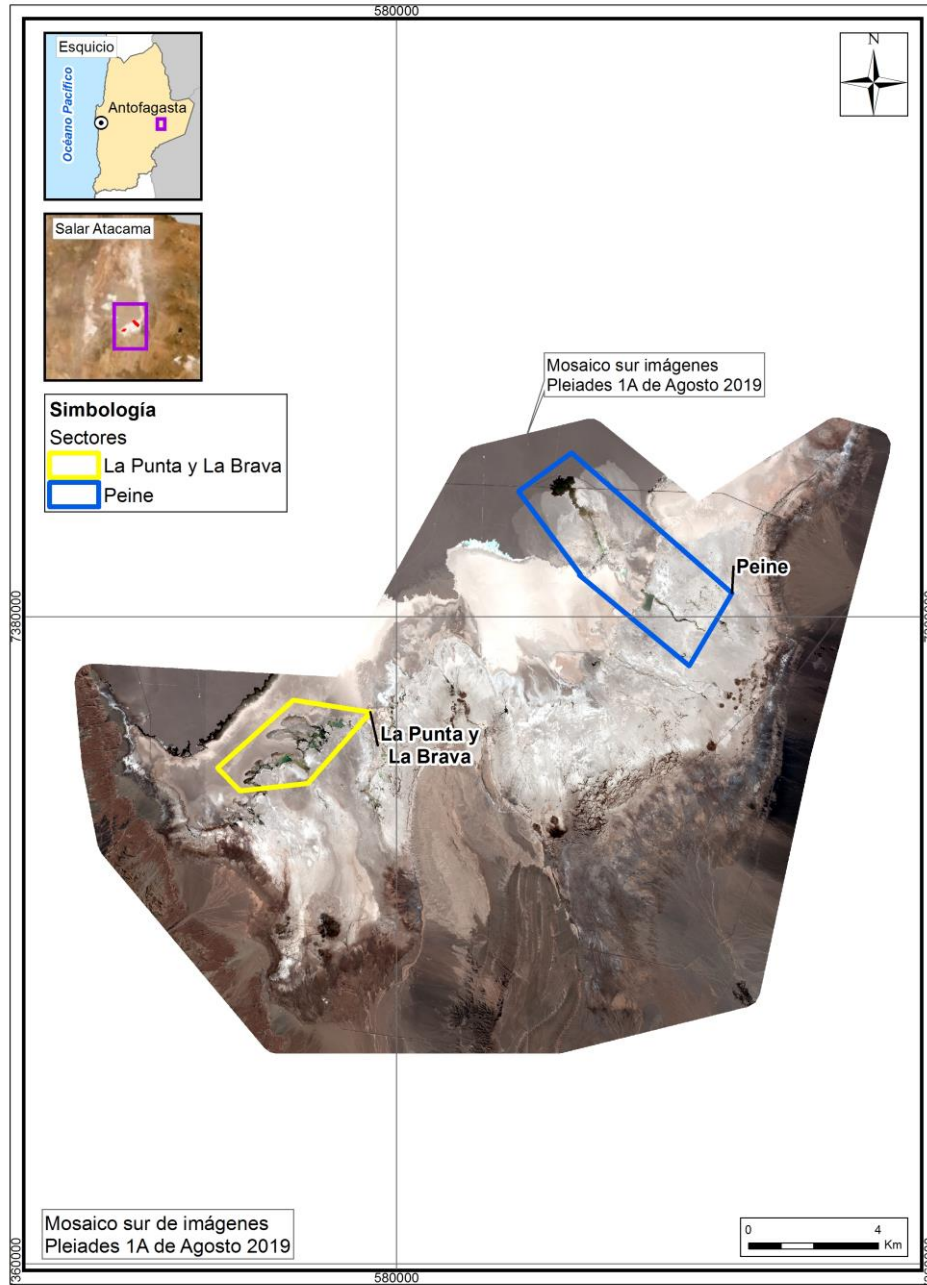
Tabla N°10-4. Características técnicas del sensor Pleiades-1A.

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 de 2019.

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 2019.

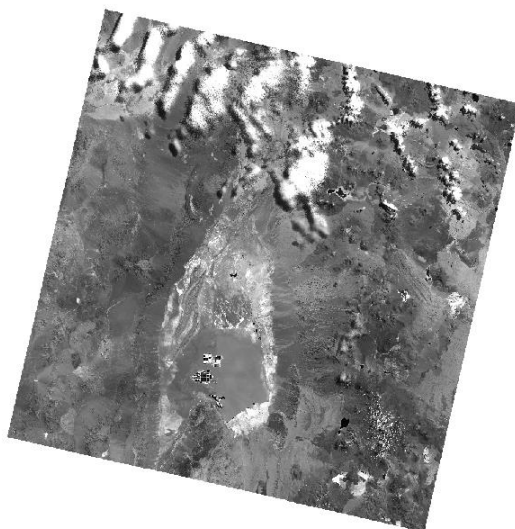


Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades-1A (invierno 2019).

10.1.5.2 Obtención de imagen de resolución media – LANDSAT 8

La imagen usada cubre por completo el área de estudio y la fecha de captura corresponde al 04 de septiembre de 2019. La descarga se realiza en forma gratuita desde <http://earthexplorer.usgs.gov/>, sitio web de *United States Geological Survey* (USGS; Figura N°10-3). 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 la Tabla N°10-5 y el **Anexo Área de Lagunas** presenta la *metadata* de la imagen descargada.

Figura N°10-3. Imagen Landsat 8 (Banda 5) correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2019.



Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en septiembre de 2019.

Tabla N°10-5. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8

Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
Band 1 Coastal	0,43 – 0,45	30

Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
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 NIR	0,85 – 0,88	30
Band 6 SWIR1	1,57 – 1,65	30
Band 7 SWIR2	2,11 – 2,29	30
Band 8 Pancromática	0,50 – 0,68	15
Band 9 Cirrus	1,36 – 1,38	30
Band 10 TIRS1	10,6 – 11,19	100
Band 11 TIRS2	11,5 – 12,51	100

Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en septiembre de 2019.

10.1.5.3 Procesamiento de las imágenes satelitales

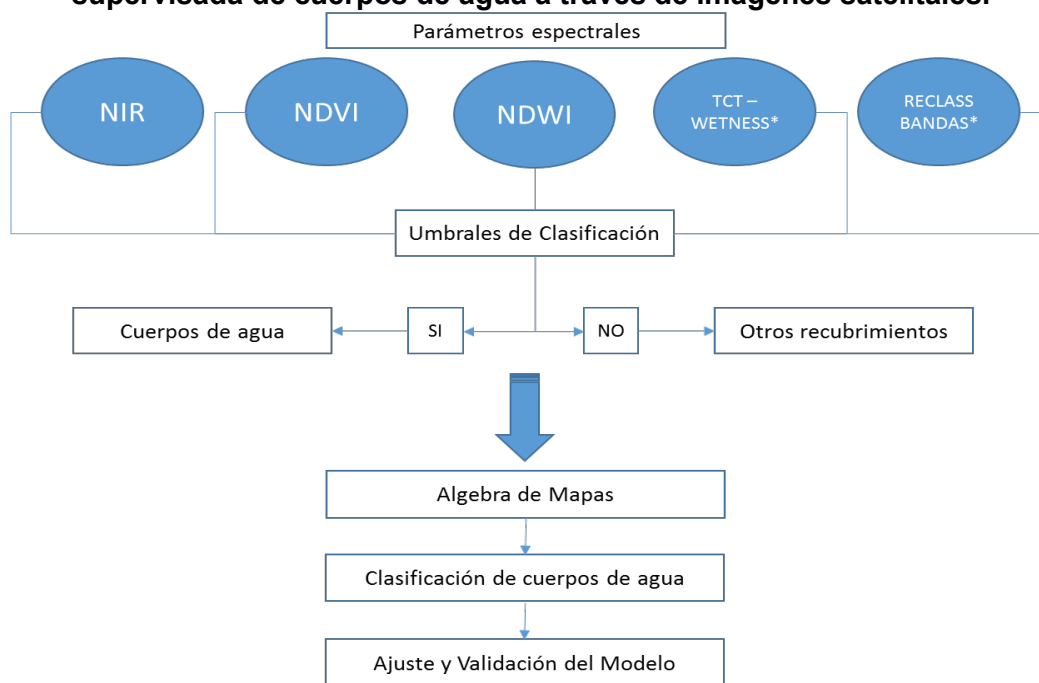
Tanto las imágenes Landsat 8, como las Pleiades-1A de alta resolución, son sometidas a procesamiento digital de correcciones radiométricas y atmosféricas, con el fin de reducir errores provenientes de interferencias, las cuales pueden ser producto del ángulo de captura y alteraciones en el movimiento del satélite, o bien el efecto de las partículas presentes en la atmósfera, entre otros.

En el **Anexo Áreas de Lagunas** se detallan los ajustes metodológicos aplicados y sus implicancias en la estimación de los cuerpos de agua.

10.1.5.4 Aplicación 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).

Figura N°10-4. 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 BANDAS).

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 en evaluación y que tienen una respuesta determinada ante la presencia de un cuerpo de agua. Posteriormente, en un modelo de árbol de decisiones, se estiman los cuerpos de agua, utilizando la combinación de los criterios definidos en el paso anterior y

se evalúa el ajuste y la precisión del modelo mediante la comparación con los datos validados en terreno (Figura N°10-4; Anexo Áreas de Lagunas).

Los parámetros evaluados durante la clasificación supervisada en el presente estudio fueron cinco:

- La reclasificación de la banda infrarroja (NIR),
- el índice NDWI;
- el índice NDVI;
- la reclasificación de bandas espectrales (B1<B2) y (B3 > B4), usada en el modelo de imágenes de alta resolución Pleiades-1A y la transformación “*Tasseled Cap*” (*Wetness*; Kauth & Thomas, 1976), la cual se utilizó para el caso Landsat 8, dado el mayor número de bandas que ofrece este sensor.

Comparativamente entre la metodología de línea de base y la actual, cabe destacar que en esta última se incorporan dos parámetros espectrales adicionales, correspondientes a NDVI y a la transformación “*Tasseled Cap*” (*Wetness*). Esta modificación, se realizó con el fin de robustecer el modelo ya desarrollado, considerando que los suelos salinos usualmente presentan distintos tipos y concentraciones de sales, afectando la reflectancia del suelo en distintos grados y puede conducir a errores significativos durante interpretaciones espectrales (Wang *et al.*, 2012). El **Anexo Área de Lagunas** detalla los ajustes metodológicos aplicados en relación a la línea de base y las posibles implicancias en la estimación de los cuerpos de agua.

10.1.5.5 Análisis de los 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, 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 (VNIR), 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).

f) Umbrales y validación del modelo de clasificación supervisada

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, y para cada tipo de imagen satelital.

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 previamente en terreno en la campaña de agosto de 2019. Los umbrales obtenidos en agosto de 2019 se presentan en la Tabla N°10-6. 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°10-6. 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 de 2019.

TIPO DE IMAGEN	ÍNDICE	SISTEMA LAGUNAR	
		LA PUNTA Y LA BRAVA	PEINE
Agosto 2019			
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	R10/32 >= -0,047038	NB8/20 >= -0,038516
	NDVI	R20/32 <= 0,071457	P5 <= 0,11745
	NIR - B4	P5 <= 0,18256	P5 <= 0,342589
	(B1 < B2) Y (B3 > B4)	NO	NO
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	P90 >= -0,163807	R2/20 >= -0,168484
	NDVI	P5 <= -0,087276	P10 <= 0,046528
	NIR - B5	R7/15 <= 0,269457	P15 <= 0,359173
	WETNESS	R8/15 >= 0,007811	R9/20 >= -0,000286

Dónde: R: Intervalo equivalente (Equal Interval), donde todos los valores se subdividen en rangos del mismo tamaño; NB: Quiebres naturales (Natural breaks), basado en las agrupaciones naturales inherentes a la distribución de los datos; P: Percentiles (Quantile).

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 10.0.

Una vez fijado cada umbral de clasificación, se extrajo el conjunto de pixeles espectralmente similares que formaron grupos o clases, a las que luego se les 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 pixel 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).

Seguidamente, 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 de 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*, el cual es una medida ajuste en términos de la exactitud del modelo de clasificación. Este mide la diferencia entre los datos de validación en terreno 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 en terreno 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).

g) Depuración cartográfica de cuerpos de agua

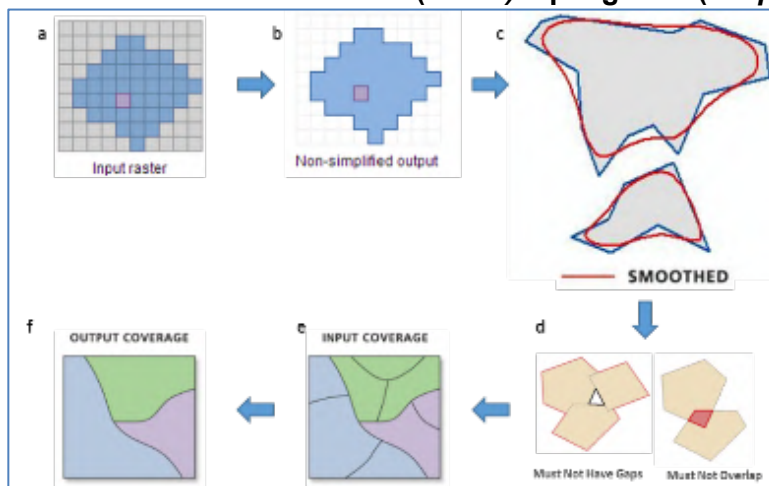
Posterior a obtener las coberturas de clasificación de los cuerpos de agua según el tipo de imagen satelital usada (Pleiades-1A y Landsat 8) y por sistema lagunar, se procedió con la depuración de las coberturas. Este proceso consistió primero en la transformación de los datos desde formato raster a 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°10-5).

Adicionalmente, se realizó una depuración final en los *shapes*, la cual buscó reducir errores de clasificación aleatorios siguiendo dos criterios:

- 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,
- 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 desde invierno de 2016, 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 - La Brava y Peine).

Figura N°10-5. 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.

10.1.5.6 Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua

De acuerdo con lo expresado en la sección **10.1.3 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 el monitoreo de agosto de 2019, y las variaciones en relación con el 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 actual monitoreo, provenientes de las imágenes de alta resolución (Pleiades-1A) y media resolución (Landsat 8).

- *Comparación entre monitoreos:* se realizó una comparación entre los resultados de las superficies lagunares en el monitoreo de agosto de 2019 y los resultados de los monitoreos de agosto de 2018, 2017 y 2016.

Cabe destacar que el actual monitoreo, describe los cuerpos de agua en condiciones de operación del proyecto.

10.1.6 Materiales y equipos utilizados

El equipo utilizado en la campaña de agosto 2019 para el levantamiento de puntos de información de sistemas lagunares, corresponde a un receptor Full GNSS/GPS de doble frecuencia, tecnología geoestacionaria de posicionamiento en tiempo real al decímetro (10 cm), con señal de corrección *Starfire*, que entrega información en coordenadas UTM 19S WGS84.

Además, se utilizó en la campaña un dron DJI modelo *Mavic Pro* con cámara de 12 mega píxeles, con vuelo programado a 200 metros de altura en los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine, con algunas excepciones de 300 metros en sectores con alta concentración de avifauna.

10.1.7 Fechas de medición, medición, análisis y/o control de cada parámetro

La campaña de invierno de 2019 se realizó entre el 28 y el 31 de agosto de 2019, en tanto las imágenes Pleiades 1A, se obtuvieron el 30 de agosto de 2019 y las imágenes Landsat 8, fueron capturadas el 04 de septiembre de 2019.

Las fechas y datos de las imágenes utilizadas en el análisis, incluyendo los mosaicos realizados a partir de las imágenes de dron, 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

Para invierno de 2019, 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 una variación entre 0,83 y 0,66 para imágenes de alta resolución Pleiades-1A, y de 0,79 y 0,54 para imágenes de resolución media Landsat 8 en agosto de 2019 (Tabla N°10-7, Tabla N°10-8).

Tabla N°10-7. 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, 2019.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	*88	50	138	63,8	36,2	
	Otros Recubrimientos	0	*167	167	100,0	0,0	
	Total	88	217	305	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	77,0	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	23,0	-	-	Índice Kappa:	0,66
						Exactitud global (OA):	0,84
Peine	Cuerpos de agua	*122	14	136	89,7	10,3	
	Otros Recubrimientos	0	*55	55	100,0	0,0	
	Total	122	69	191	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	79,7	-	-	-	
	**Error omisión (%)	0,0	20,3	-	-	Índice Kappa:	0,83
						Exactitud global (OA):	0,93

Dónde: * número de puntos verificados en terreno 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 (Chuvienco, 2006). Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°10-8. 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, 2019.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	*31	21	52	59,6	40,4	
	Otros Recubrimientos	2	*43	45	95,6	4,4	
	Total	33	64	97	-	-	

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
	Exactitud de Campo (%)	93,9	67,2	-	-		-
	***Error omisión (%)	6,1	32,8	-	-	Índice Kappa:	0,54
						Precisión global (OA):	0,76
Peine	Cuerpos de agua	*111	16	127	87,4		12,6
	Otros Recubrimientos	1	*54	55	98,2		1,8
	Total	112	70	182	-		-
	Exactitud de Campo (%)	99,1	22,9	-	-		-
	**Error omisión (%)	0,9	77,1	-	-	Índice Kappa:	0,79
						Precisión global (OA):	0,91

Dónde: * número de puntos verificados en terreno 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 (Chuvienco, 2006). Fuente: Elaboración Propia.

En relación con la precisión global, los valores de 84% para La Punta y La Brava y 93% para Peine desde alta resolución, y de 76% y 91% respectivamente desde media resolución, indican un alto valor en la exactitud de los aciertos de la clasificación supervisada y una congruencia entre la precisión global y el índice *Kappa* para el periodo de invierno de 2019.

10.2.2 Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar

En la Tabla N° 10-9 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.

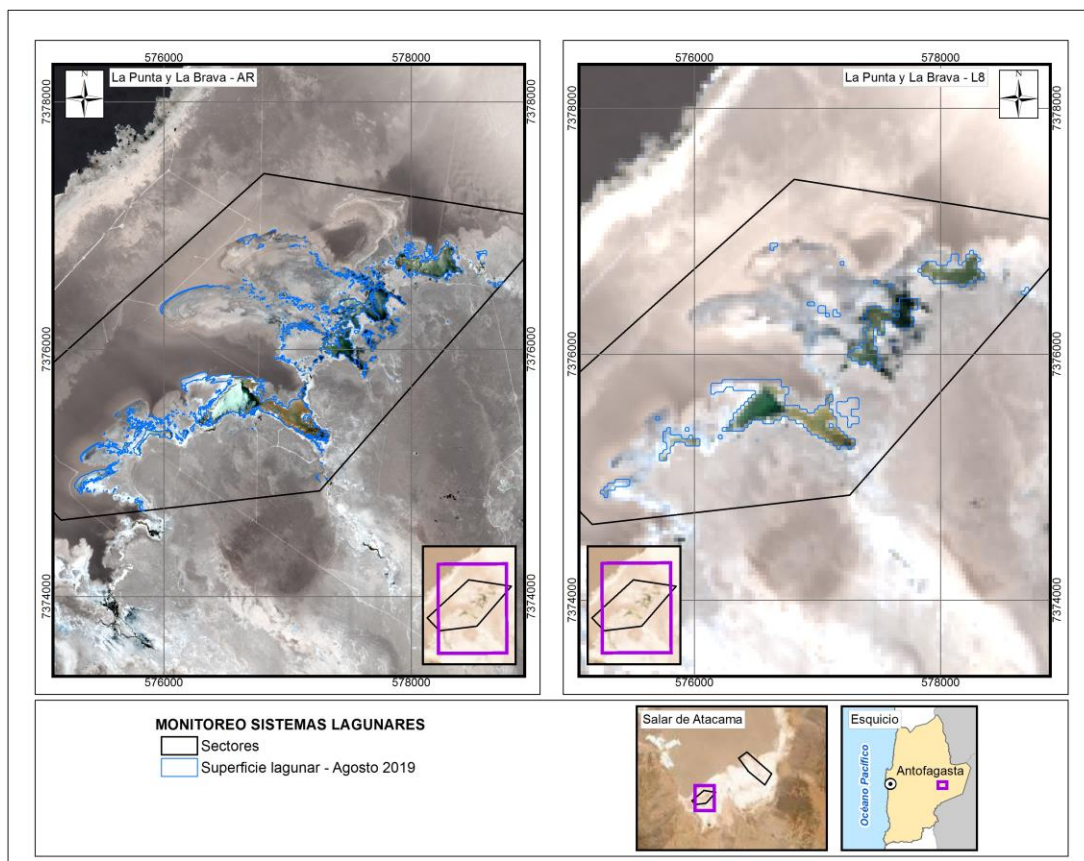
Tabla N° 10-9. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8, a partir de datos obtenidos en agosto de 2019 (invierno de 2019).

SISTEMA LAGUNAR	Superficie mínima histórica (ha)		Superficies lagunares (ha) Monitoreo Fase Operación			
			PLEIADES 1A (AR)		LANDSAT 8 (MR)	
	ha	m ²	ha	m ²	ha	m ²
La Punta y La Brava	31,6	316.000	52,8	528.462,2	53,8	537.733,1
Peine	48,9	489.000	86,7	866.637,3	85,1	851.020,7

Fuente: Elaboración Propia

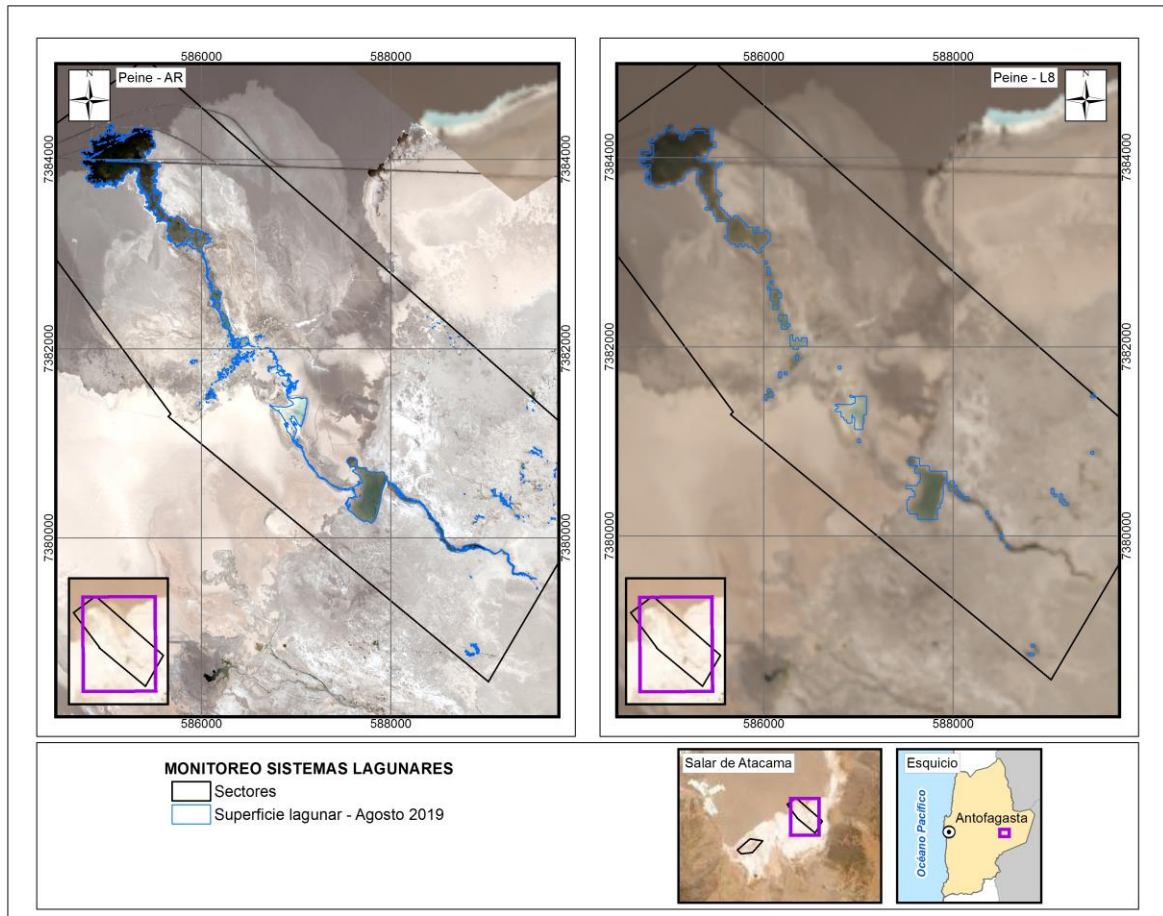
Complementariamente, la Figura N° 10-6 y Figura N° 10-7 muestran la representación gráfica de las superficies lagunares por sistema lagunar.

Figura N° 10-6. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades-1A (AR) y Landsat 8 (L8) en el sistema lagunar La Punta y La Brava, agosto de 2019.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto de 2019.

Figura N° 10-7. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A (AR) y Landsat 8 (L8) en el sistema lagunar Peine, agosto de 2019.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto de 2019.

10.2.3 Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua

De acuerdo a lo establecido 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”*, y según el análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar presentado en este informe, se tiene que las superficies de los cuerpos de agua resultantes del monitoreo de invierno de 2019 se encuentran dentro de los límites de seguimiento establecidos, y por sobre el mínimo histórico.

Cabe destacar que el actual monitoreo, describe los cuerpos de agua en fase de operación del Proyecto.

11 NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS

Este capítulo tiene como objetivo, presentar el reporte semestral de medición de niveles freáticos distribuidos en los Sistemas Lagunares La Punta - La Brava; y Peine, los cuales tienen una **frecuencia mensual de medición**, y se presentan para el **período abril a septiembre de 2019**.

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.

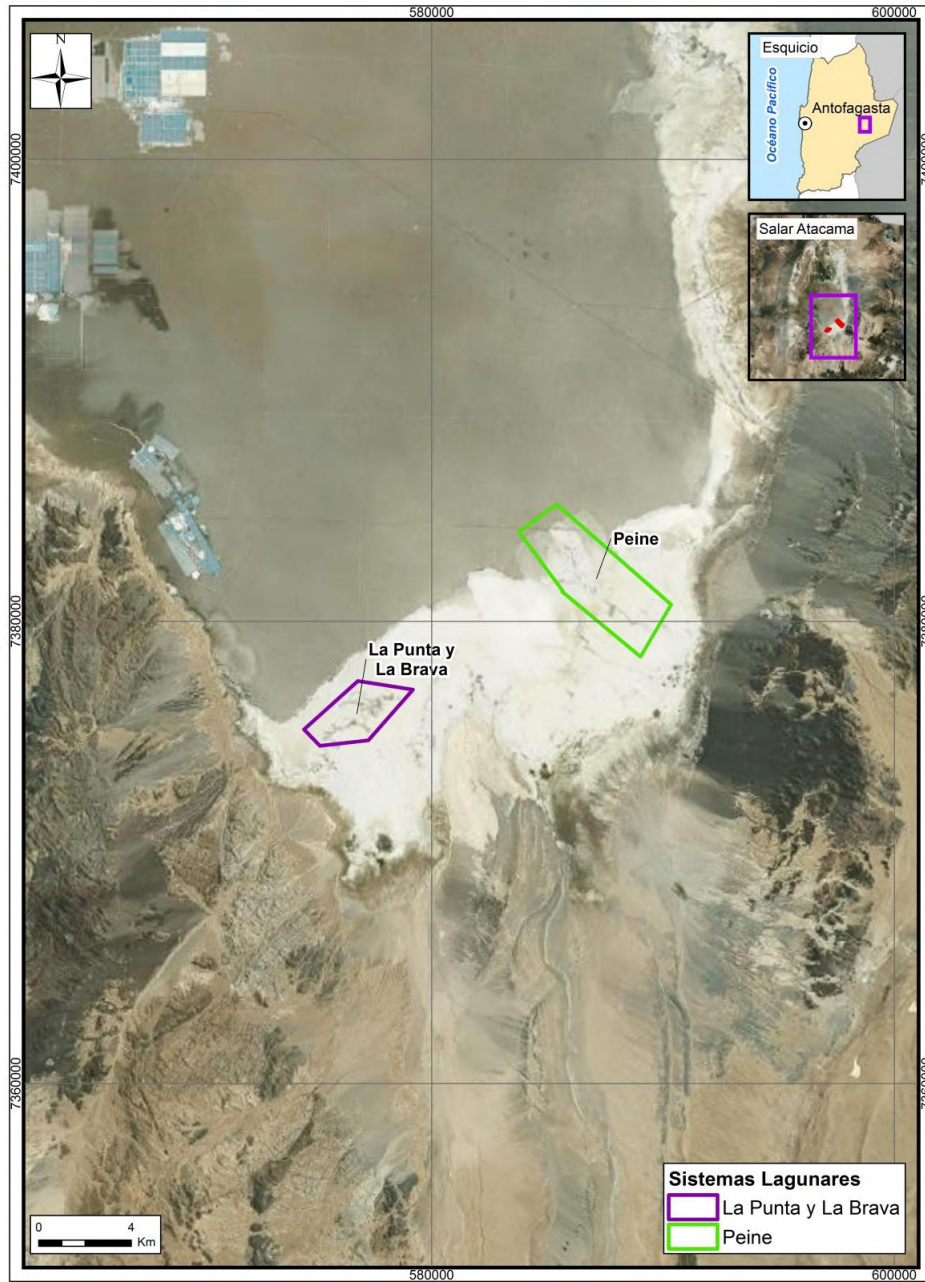
El monitoreo corresponde a 5 puntos de niveles freáticos de Lagunas, en específico: 3 puntos en La Punta-La Brava: BA-05, BA-07 y BA-16; y 2 puntos en Peine: BA-21 y BA-22. Estos puntos de medición presentan códigos del tipo “BA-XX”, y corresponden a piezómetros someros, denominados “Barrenos”, origen de su tipo de codificación. Cabe señalar que, no son altura limnimétrica de agua en lagunas, sino que 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 para el PMB.

Figura N° 11-1. Area 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 del 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 las profundidades, cota collar y los niveles correspondientes a las mediciones del semestre para estos piezómetros e históricos.

Tabla N° 11-1. Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas

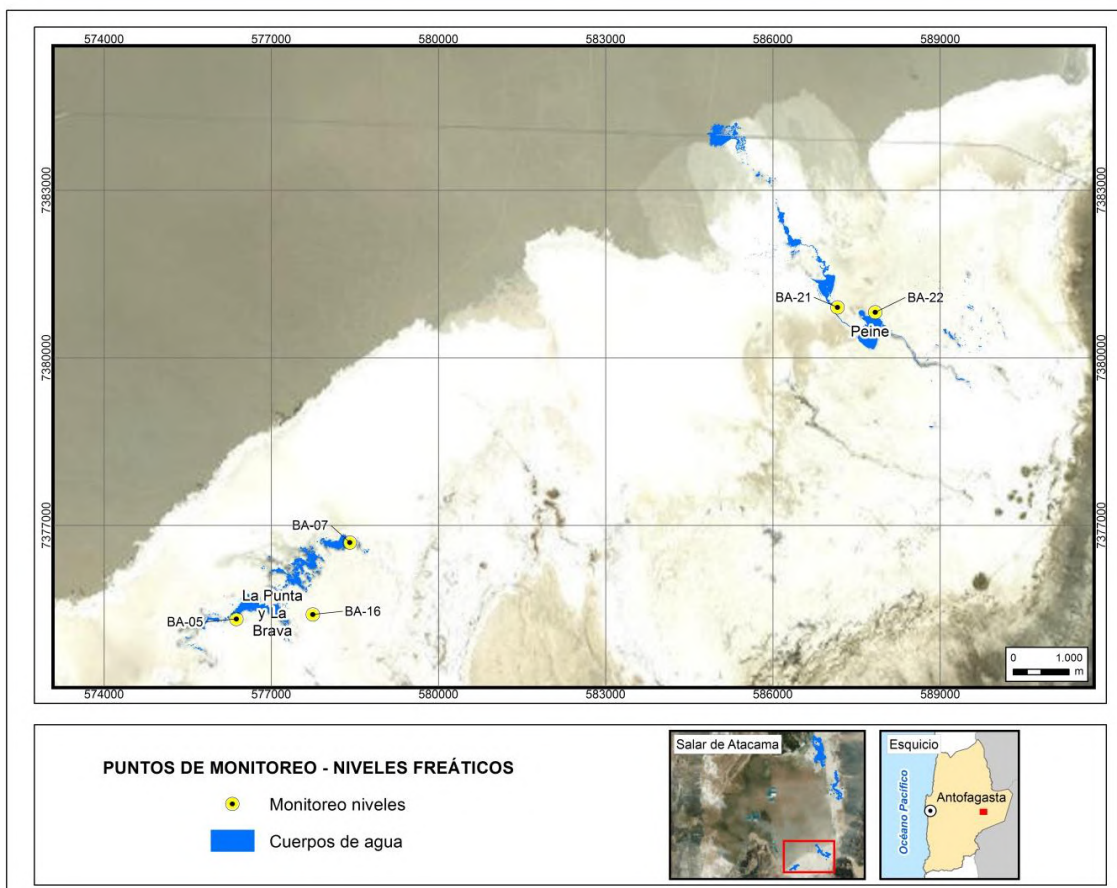
Punto	Coordenadas WGS 84 (HUSO 19S)		Sistema Lagunar	Cota collar (*) (m s.n.m.)
	UTM Este (m)	UTM Norte (m)		
BA-05	576.373	7.375.324	La Punta-La Brava	2.301,085
BA-07	578.406	7.376.692	La Punta-La Brava	2.300,881
BA-16	577.746	7.375.405	La Punta-La Brava	2.301,777
BA-21	587.159	7.380.905	Peine	2.301,393
BA-22	587.837	7.380.817	Peine	2.301,124

(*): Cota collar es información de la cota de referencia del piezómetro, desde la cual se hace la medida, necesaria para determinar el nivel sobre la base de la medición del parámetro profundidad.

Fuente: Coordenadas establecidas durante la evaluación ambiental, Tabla 4.2-4 y Tabla 4.2-5 del Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto. Pozos construidos durante la evaluación ambiental. Se utiliza y presenta la misma información que en el PSAH Plan de seguimiento hídrico de Albemarle, para estos 5 puntos.

En la **Figura N° 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 restándole 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 corresponden a los registros medidos en las campañas de monitoreo de los pozos de medición de Albemarle, las cuales se realizan con una frecuencia mensual.

Tabla N° 11-3. Fechas de Medición del Año

Variable/parámetro	Frecuencia	Meses
Nivel de Agua/Profundidad	Mensual	Abril 2019 Mayo 2019 Junio 2019 Julio 2019 Agosto 2019 Septiembre 2019

Fuente: Elaboración Propia

11.2 RESULTADOS

11.2.1 Resultados de los registros Abril a Septiembre 2019.

A continuación se presentan los resultados de medición de los niveles en los puntos señalados, para el período informado Abril -Septiembre 2019 (**Tabla N° 11-4 y Tabla N° 11-5**). En el **Anexo Nivel Freático en Lagunas**, se entregan las series históricas, de los niveles y de las profundidades medidas para estos piezómetros. Para la subcomponente de Nivel Freático, se entrega de forma adicional a sus Anexos, las planillas excel con los formatos establecidos en la Resolución Exenta SMA 894 del 24.06.19 que Dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Agua.

Cabe mencionar que, en las Tablas siguientes se incorporan mediciones de mayor frecuencia que la “mensual” frecuencia establecida en RCA para los niveles de los pozos, lo cual se enmarca dentro de lo reportado **para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH)**, específicamente relacionado con Plan de Alerta Temprana Hídrico (PATH).

El PATH, tiene por objetivo detectar anticipadamente (en el tiempo y en el espacio) desviaciones respecto de los pronósticos del comportamiento del componente hídrico que pudieren llegar a afectar los sistemas objeto de protección (cuerpos lagunares) y, activar las medidas preventivas necesarias para evitar efectos no previstos. Existen 3 sectores de alerta PATH: núcleo, acuífero y norte, los cuáles presentan diferentes condiciones de activación; entre ellas, para el PATH del sector norte, Albemarle se activa automáticamente si lo hace SQM. En relación con lo anterior, el PATH se ha reportado durante el 2019 mas de una medición al mes a la SMA, por activación del PAT sector de alerta Norte a principios de año y en siguiente por continuidad de mediciones. En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, éstos no son pozos puntos PATH, por lo que sólo tuvieron una medición al mes.

En enero del 2019 se notificó a Albemarle de una activación del PAT Fase I para SQM (Ref. Resolución Exenta MZN N°87/2018 y Resolución Exenta Afta N°001/2019; ambas en Anexo Nivel Freático en Lagunas), de manera consecutiva para 2 de sus pozos en sector Alerta Norte, lo que conllevó a la activación nuevamente del PATH de Albemarle en esa misma zona (Alerta Norte). Es por esta razón que en el año 2019, se registran y presentan mas de una medición para los pozos del PATH en Sector La Punta-La Brava.

Los valores de niveles que a continuación se reportan, corresponden a los mismos registrados e informados en el Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH), ya que son parte del Plan de Seguimiento Ambiental de Albemarle, PSAH y PMB.

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	03-04-19	0,946	2300,139
BA-05	17-04-19	0,931	2300,154
BA-05	24-04-19	0,933	2300,152
BA-05	05-05-19	0,921	2300,164
BA-05	17-05-19	0,915	2300,170
BA-05	28-05-19	0,908	2300,177
BA-05	06-06-19	0,900	2300,185
BA-05	16-06-19	0,894	2300,191
BA-05	26-06-19	0,888	2300,197
BA-05	03-07-19	0,885	2300,200
BA-05	13-07-19	0,886	2300,199
BA-05	26-07-19	0,886	2300,199
BA-05	12-08-19	0,884	2300,201
BA-05	20-08-19	0,889	2300,196
BA-05	29-08-19	0,891	2300,194
BA-05	09-09-19	0,891	2300,194
BA-05	18-09-19	0,906	2300,179
BA-05	25-09-19	0,919	2300,166
BA-07	03-04-19	0,850	2300,031
BA-07	17-04-19	0,830	2300,051
BA-07	24-04-19	0,828	2300,053
BA-07	05-05-19	0,823	2300,058
BA-07	17-05-19	0,813	2300,068
BA-07	28-05-19	0,806	2300,075
BA-07	06-06-19	0,795	2300,086
BA-07	16-06-19	0,788	2300,093
BA-07	26-06-19	0,783	2300,098
BA-07	03-07-19	0,783	2300,098
BA-07	13-07-19	0,784	2300,097
BA-07	26-07-19	0,786	2300,095
BA-07	12-08-19	0,790	2300,091
BA-07	20-08-19	0,789	2300,092
BA-07	29-08-19	0,797	2300,084
BA-07	09-09-19	0,794	2300,087
BA-07	18-09-19	0,816	2300,065
BA-07	25-09-19	0,828	2300,053
BA-16	03-04-19	0,961	2300,816
BA-16	17-04-19	0,943	2300,834
BA-16	24-04-19	0,940	2300,837
BA-16	05-05-19	0,931	2300,846
BA-16	17-05-19	0,923	2300,854
BA-16	28-05-19	0,919	2300,858
BA-16	06-06-19	0,907	2300,870

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-16	16-06-19	0,898	2300,879
BA-16	26-06-19	0,900	2300,877
BA-16	03-07-19	0,898	2300,879
BA-16	13-07-19	0,899	2300,878
BA-16	26-07-19	0,903	2300,874
BA-16	12-08-19	0,902	2300,875
BA-16	20-08-19	0,904	2300,873
BA-16	29-08-19	0,907	2300,870
BA-16	09-09-19	0,896	2300,881
BA-16	18-09-19	0,918	2300,859
BA-16	25-09-19	0,929	2300,848

Fuente: Elaboración propia.

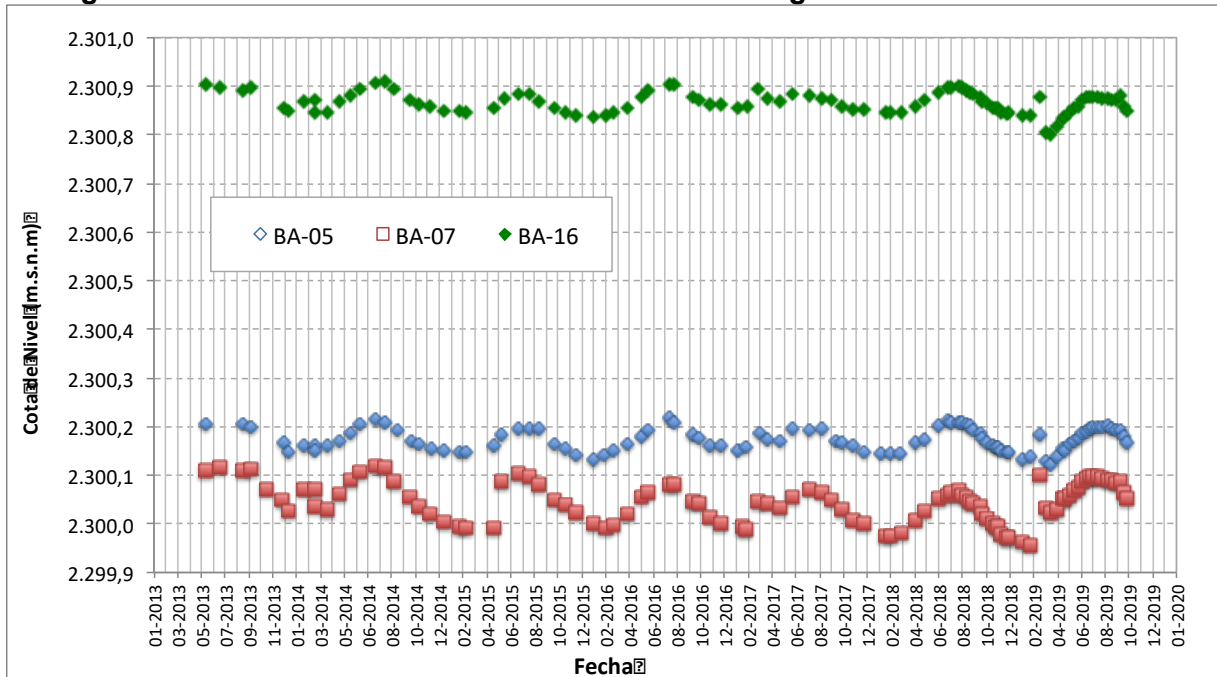
Tabla N° 11-5. Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-21	04-04-19	1,231	2300,162
BA-21	16-04-19	1,250	2300,143
BA-21	01-05-19	1,255	2300,138
BA-21	04-06-19	1,261	2300,132
BA-21	04-07-19	1,265	2300,128
BA-21	07-08-19	1,273	2300,120
BA-21	14-09-19	1,267	2300,126
BA-22	04-04-19	0,825	2300,299
BA-22	16-04-19	0,845	2300,279
BA-22	01-05-19	0,842	2300,282
BA-22	04-06-19	0,835	2300,289
BA-22	04-07-19	0,830	2300,294
BA-22	07-08-19	0,832	2300,292
BA-22	04-09-19	0,832	2300,292

Fuente: Elaboración propia.

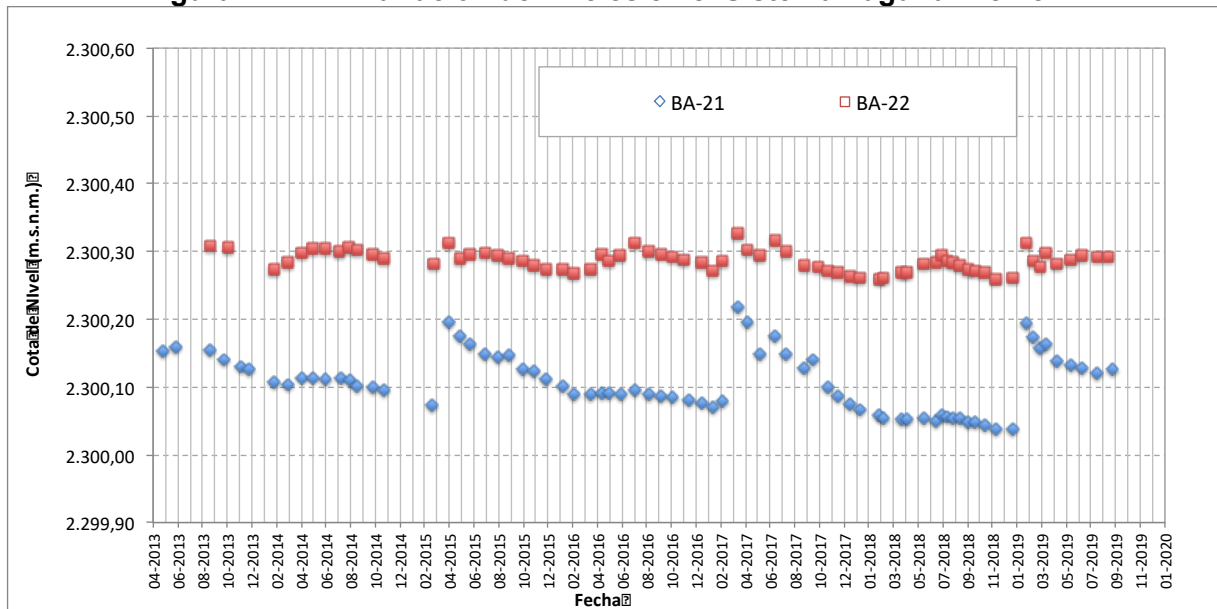
En las Figuras que se muestran a continuación, se presenta gráficamente la variación temporal de niveles desde el año 2013 a la fecha, incluido el último semestre de monitoreo Abril a Septiembre 2019, para los pozos de cada Sector.

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 para niveles freáticos

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)

12.1.1.1 Evolución entre monitoreo invierno 2016, 2017, 2018 y 2019

Principalmente, la validación en terreno de la vegetación durante la campaña de invierno de 2019, muestra una estabilidad al compararla con la estación de invierno 2018 en términos de superficie por formación vegetal u otro recubrimiento (**Tabla N° 12-1**). Si bien la validación permitió redefinir formaciones vegetales o delimitaciones en el actual monitoreo, la vegetación, en términos de su composición (especies dominantes), estructura (cobertura y fisonomía de las formaciones vegetales) y representatividad (superficies de las formaciones), se mantiene similar entre monitoreos (2018 y 2019), con mayores diferencias entre lo registrado en invierno 2016 y 2017, con respecto a invierno 2018, donde se observa un mayor cambio en los tipos de vegetación, así como en la dominancia de especies. Esta mayor diferencia se debe a los ajustes espaciales de la COT, resultando de esta forma con menores ajustes en los últimos monitoreos (invierno 2018 e invierno 2019), pero siempre con algunas modificaciones en la denominación de las formaciones por cambios estacionales de algunas especies dominantes o la presencia de regeneración en áreas que fueron intervenidas anteriormente (quemadas observadas en campañas anteriores).

Esta estabilidad registrada en la vegetación, se relaciona a la escala de trabajo que tiene la representación de la COT y los puntos de seguimiento sobre ésta, ya que la COT determina un mapa estable de la vegetación una vez que se logró un levantamiento homogéneo y una buena fotointerpretación sobre el área de estudio. Es importante tener en cuenta, que con el método COT es difícil identificar cambios a nivel estructural en periodos cortos, a menos que ocurran variaciones notorias sobre la dinámica de la vegetación en el salar (eventos climáticos inesperados o perturbaciones antrópicas a gran escala).

En el monitoreo de invierno 2019, no se evidenciaron cambios importantes en la vegetación, ya que la cobertura vegetal afectada volvió a desarrollarse en sus mismas características anteriores. Cabe destacar que se delimitó un área afectada por quemadas anteriores (quema ocurrida el segundo semestre de 2018 y evidenciada en verano 2019) para diferenciarla de la formación vegetal colindante, correspondiente a una vega de *Distichlis spicata*, la cual está asociada al punto MPC001.

En relación a las diferencias registradas en los cuatro monitoreos, se pueden observar los resultados por recubrimiento del suelo, según sectores, en la **Tabla N° 12-1**. En dicha tabla se observan las principales diferencias entre monitoreo de invierno 2017, invierno 2018 e invierno 2019, destacando las siguientes:

- En Sector Tilopozo, se observa que una de las unidades de matorral con dominancia de *Tessaria absinthioides*, cambia en su tipo de formación respecto de su asociación con *Distichlis spicata* en invierno 2018 y se mantiene en invierno 2019. Otras variaciones son observadas en las formaciones azonales de vega de *Juncus balticus*, la cual se presenta en una nueva formación vegetal junto a *Distichlis spicata*, y la vega de *Schoenoplectus californicus*, dividiéndose en función de su asociación con las especies *Baccharis juncea* y *Distichlis spicata*. Por otro lado, aparece la formación mixta de matorral – vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, siendo una variación del matorral de *Tessaria absinthioides*. En cuanto al monitoreo de 2018 con respecto a verano 2019, la vegetación se mantiene estable, presentando sus principales cambios en la cobertura de especies.
- El sector de La Punta y La Brava solo presenta variaciones entre el monitoreo de invierno 2017 e invierno 2018, donde se observa un aumento en la dominancia de la especie *Nitrophila atacamensis* en su asociación con *Triglochin concinna*.
- En la comparación del monitoreo de invierno 2017 con invierno 2018, el sector Peine presenta variaciones menores en cuanto a la derivación de superficie hacia áreas desprovistas de vegetación. Lo que se destaca en este sector es la variación de límites producto de los cambios en la composición de especies, como sucede por ejemplo en el caso de matorral hídrico de *Sarcocornia fruticosa* que derivó en las formaciones vega de *Distichlis spicata*. Cabe señalar, que la variación principalmente se debió a un cambio por ajuste cartográfico de fotointerpretación la que fue actualizada en el monitoreo de invierno 2018 y se mantuvo en el monitoreo de invierno 2019. Por su parte, el monitoreo de invierno 2019 presenta cambios menores con respecto a invierno 2018, siendo principalmente la derivación de superficie de las áreas desprovistas de vegetación hacia cuerpos de agua, presentándose estable en el resto de las formaciones.
- El sector de Aguas de Quelana solo presentó variaciones desde el monitoreo de invierno 2016 a invierno del 2017 donde se observa principalmente un cambio desde la formación de Matorral – Vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* a Matorral hídrico – vega de *Tessaria absinthioides*, *Lycium humile* y *Distichlis spicata*, y de invierno de 2017 a invierno de 2018 donde se observa que parte de la superficie de vega de *Distichlis spicata* cambia de tipología a Matorral de *Tessaria absinthioides* y *Lycium humile*, y desde Matorral hídrico de *Sarcocornia fruticosa* a Matorral hídrico – vega de *Sarcocornia fruticosa* y *Nitrophila atacamensis*. En invierno 2019 no se presentan variaciones.
- En cuanto al sector Soncor, 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 invierno 2019, método COT, respecto a los monitoreos de invierno 2018, 2017 y 2016.

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2016	MONITOREO INVIERNO 2017	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO INVIERNO 2019	SUPERFICIE (ha)			
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
Tilopozo	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	13.132,7	13.132,7	13.132,7	13.067,0
				Cuerpos de agua				65,6
	Áreas industriales	Áreas industriales	Áreas industriales	Áreas industriales	1.245,2	1.245,2	1.245,2	1.245,2
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	8,6	8,6	8,6	8,6
	Matorral de Ad	Matorral de Ad	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	8,5	8,5	8,5	8,5
	Matorral de Eb	Matorral de Eb	Matorral de Eb	Matorral de Eb	416,5	416,5	416,5	416,5
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	579,2	565,6	487,4	487,4
				Matorral de Tb				78,2
				Matorral - Vega de Tb dp				Matorral de Tb
	Vega de bj dp sca	Vega de bj sca dp	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	11,1	11,1	11,1	11,1
	Vega de bj jb dp	Vega de bj sca dp	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	7,5	7,5	7,5	7,5
	Vega de bj sca dp	Vega de bj sca dp	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	1,1	1,1	1,1	1,1
	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	661,8	661,8	661,8	661,8
	Vega de jb	Vega de jb	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	Vega de jb	247,6	183,0	166,8	166,8
				Vega de jb dp				16,2
				Matorral hídrico - Vega de Lh jb				Matorral hídrico - Vega de Lh jb
	Vega de jb dp	Vega de jb	Vega de jb	Vega de jb dp	58,6	58,6	58,6	58,6
Vega de ph sca dp	Vega de ph sca dp	Vega de ph dp sca	Vega de ph dp sca	42,5	42,5	42,5	42,5	
Vega de sca	Vega de sca	Vega de sca	Vega de sca	55,7	22,5	22,5	22,5	

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2016	MONITOREO INVIERNO 2017	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO INVIERNO 2019	SUPERFICIE (ha)			
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
		Vega de sca bj dp	Vega de sca bj	Vega de sca bj		20,2	20,2	20,2
		Vega de sca	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación		13,0	13,0	13,0
	Vega de sca bj	Vega de sca	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	10,3	8,0	10,3	10,3
		Vega de sca bj dp				2,3		
	Vega de tc	Vega de tc	Vega de tc	Vega de tc	24,5	24,5	24,5	24,5
	Matorral - Vega de Eb dp	Matorral - Vega de Eb dp	Matorral de Eb	Matorral de Eb	74,6	74,6	74,6	74,6
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	319,4	319,4	319,4	319,4
	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	8,6	8,6	8,6	8,6
	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	16,5	16,5	16,5	16,5
	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	31,3	31,3	31,3	31,3
	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	10,1	10,1	10,1	10,1
	Matorral hídrico - Vega de Lh sca jb	Matorral hídrico - Vega de Lh sca jb	Matorral hídrico - Vega de Lh jb sca	Matorral hídrico - Vega de Lh jb sca	14,3	14,3	14,3	14,3
	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	4,4	4,4	4,4	4,4
	Matorral hídrico - Vega de Sf nia tc	Matorral hídrico - Vega de Sf nia tc	Matorral hídrico - Vega de Sf tc nia	Matorral hídrico - Vega de Sf tc nia	13,8	13,8	13,8	13,8
	Matorral hídrico de Lh	Matorral hídrico de Lh	Matorral hídrico de Lh	Matorral hídrico de Lh	49,6	49,6	49,6	49,6
Total Tilopozo					17.054,1	17.054,1	17.054,1	17.054,1
La Punta y La Brava	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	18,4	18,4	18,4	18,4
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	39,8	39,8	39,8	39,8
	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	2,3	2,3	2,3	2,3

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2016	MONITOREO INVIERNO 2017	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO INVIERNO 2019	SUPERFICIE (ha)			
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
	Vega de tc	Vega de tc	Vega de tc	Vega de tc	16,9	13,6	13,6	13,6
		Vega de tc nia	Vega de nia tc	Vega de nia tc		3,3	3,3	3,3
	Matorral hídrico de Sf	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	41,1	41,1	41,1	41,1
Total La Punta y La Brava					118,5	118,5	118,5	118,5
Peine	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	2862,4	2862,4	2862,4	2.815,0
				Cuerpos de agua				47
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	71,8	71,8	71,8	71,8
	Matorral de Aa	Matorral de Aa	Matorral de Aa	Matorral de Aa	12	12	12	12
	Matorral de Aa cid Tt	Matorral de Aa cid Tt	Matorral de Aa	Matorral de Aa	530,8	530,8	530,8	530,8
	Matorral de Ad Aa	Matorral de Ad Aa	Matorral de Ad Aa	Matorral de Ad Aa	60,1	60,1	60,1	60,1
	Matorral de Ad Ai cis cid	Matorral de Ad Ai cis cid	Matorral de Ad Ai	Matorral de Ad Ai	9,3	9,3	9,3	9,3
	Matorral de Ai cid	Matorral de Ai cid	Matorral de Ai	Matorral de Ai	148,5	148,5	148,5	148,5
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	Matorral de Tb	Matorral de Tb	1.422,2	1.195,6	1.195,6	1.195,60
		Matorral de Tb Aa	Matorral de Tb Aa	Matorral de Tb Aa		226,5	226,5	226,55
	Vega de bj sca dp	Vega de bj sca dp	Vega de sca bj	Vega de sca bj	1,5	1,5	1,5	1,5
	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	81,6	24,4	24,4	24,4
		Vega de dp bj	Vega de dp bj	Vega de dp bj		57,2	57,2	57,2
	Vega de sca	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	21,2	6,1	6,1	6,1
		Vega de sca bj	Vega de sca bj	Vega de sca bj		11,6	15,0	15,0
Vega de sca bj dp		3,4						
Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	687,4	687,4	687,4	687,4	

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2016	MONITOREO INVIERNO 2017	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO INVIERNO 2019	SUPERFICIE (ha)			
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
	Matorral hídrico - Vega de Lh Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	5,3	1,9	1,9	1,9
		Matorral hídrico - Vega de Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Lh dp		3,4	3,4	3,4
	Matorral hídrico de Sf	Matorral hídrico de Sf	Vega de dp	Vega de dp	11,0	11,0	3,5	3,5
			Matorral hídrico - Vega de Sf dp	Matorral hídrico - Vega de Sf dp			Matorral hídrico - Vega de Sf dp	5,7
		Vega de sca bj	Vega de sca bj			1,7	1,7	
Total Peine					5.925	5.925	5.925	5.925
Aguas de Quelana	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	3.410,1	3.410,1	3.410,1	3.410,1
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	25,4	25,4	25,4	25,4
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	Matorral de Tb	Matorral de Tb	104,9	104,9	104,9	104,9
	Vega de dp	Vega de dp	Matorral de Tb Lh	Matorral de Tb Lh	213,7	213,7	9,8	9,8
			Vega de dp	Vega de dp			203,9	203,9
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	655,9	655,9	637,3	637,3
			Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp			Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp	18,6
	Matorral hídrico - Vega de Sf tc pu	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	313,6	313,6	313,6	313,6
Matorral hídrico de Sf	Matorral hídrico de Sf	Matorral hídrico - Vega de Sf nia	Matorral hídrico - Vega de Sf nia	230,7	230,7	21,6	21,6	
		Matorral hídrico de Sf	Matorral hídrico de Sf			Matorral hídrico de Sf	209,1	209,1
Total Aguas de Quelana					4.954,2	4.954,2	4.954,2	4.954,2
Soncor	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	4.749,3	4.749,3	4.749,3	4.749,3
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	244,2	244,2	244,2	244,2
	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	16,9	16,9	16,9	16,9

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2016	MONITOREO INVIERNO 2017	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO INVIERNO 2019	SUPERFICIE (ha)			
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	7,8	7,8	7,8	7,8
Total Soncor					5.018,2	5.018,2	5.018,2	5.018,2
Total general					33.070,1	33.070,1	33.070,1	33.070,1

Fuente: Elaboración propia.

12.1.1.2 Evolución respecto a valores históricos

En términos generales, al realizar una comparación entre los monitoreos del seguimiento (PMB) y éstos con la línea de base (2015), es necesario indicar que el uso de una escala menor en el PMB desde el primer monitoreo (M1) hasta el actual (M7), 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**.

Tabla N° 12-2. Variaciones en la cantidad y tipología de formaciones descritas por campaña.

TIPO DE FORMACIÓN	LINEA DE BASE (2015)	Invierno 2016 (M1)	Invierno 2017 (M3)	Invierno 2018 (M5)	Invierno 2019 (M7)
Matorral (zonal)	14	3	9	8	8
Humedal	1	-	-	-	-
Herbazal / Vega	18	6	10	10	10
Matorral mixtos azonales	-	3	14	16	16
TOTAL	33	12	33	34	34

Fuente: Elaboración propia.

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° 12-3. Rangos de variación de superficie relativa por tipo de vegetación desde la línea de base hasta el monitoreo de invierno de 2019.

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%
	Invierno 2017 (M3)	78,0%	9,5%	12,5%
	Invierno 2018 (M5)	78,1%	8,7%	13,2%
	Invierno 2019 (M7)	78,1%	8,7%	13,2%
Rango variación		0,2%	9,1%	9,3%

Fuente: Elaboración propia.

La mayor variación corresponde al tipo “vegetación azonal” (9,3%) en relación a la línea de base del EIA del Proyecto, sin embargo, entre los monitoreos de invierno 2017 a 2019 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.

12.1.2 Análisis Flora y Vegetación (Transectas)

La vegetación del área de estudio es característica de sistemas azonales, dependientes de un suministro hídrico temporal o constante, con vegetación característica de humedales andinos y/o formaciones vegetales resistentes a una alta salinidad con especies de carácter halófito.

En el presente acápite se realiza el análisis comparativo del monitoreo de invierno (M7) realizado en agosto-septiembre 2019, con los monitoreos de invierno anteriores del PMB (M1, M3 y M5) realizados en agosto 2016, agosto 2017 y agosto 2018, respectivamente, para ser consistentes en la comparación y analizar la condición actual de la vegetación presente en el área del Salar de Atacama, en comparación a inviernos anteriores. En el siguiente acápite se analiza con la campaña basal, MB0, su línea de base.

Adicionalmente, en las gráficas comparativas de las coberturas (**Anexo Vegetación y Flora; Figura N° 1-1 a 1-6**) se presentan los resultados de todos los monitoreos M1 (invierno 2016), M2 (verano 2017), M3 (invierno 2017), M4 (verano 2018), M5 (invierno 2018), M6 (verano 2019), M7 (invierno 2019), incluyendo el MB0 (monitoreo inicial).

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*.

12.1.2.1 Evolución entre invierno 2019 e inviernos 2016, 2017 y 2018

En este acápite se analiza la información levantada en el primer monitoreo semestral del cuarto año del plan de seguimiento, correspondiente al monitoreo de invierno 2019 (M7), con los monitoreos de invierno de los tres primeros años de seguimiento correspondientes a invierno 2016 (M1), invierno 2017 (M3) e invierno 2018 (M5). El muestreo fue realizado en las transectas fijas localizadas en seis subsectores del área de estudio del proyecto, correspondientes a los subsectores de: La Punta, La Brava, Peine, Tilopozo, Aguas de Quelana y Soncor. Cabe señalar, que el subsector Soncor presentó restricciones de acceso por mala accesibilidad de caminos, aunque se conoce que el área no tiene vegetación ni elementos de flora.

En cuanto a las formaciones vegetales, en el monitoreo M7 se observa, en general, las mismas características de estructura de la formación, composición de especies dominantes y fisonomía de las formaciones (ver **Tabla N° 5-6**) con respecto a monitoreos de años anteriores (M1, M3 y M5). No obstante, se observaron algunas diferencias entre monitoreos en algunas de las transectas, las cuales son:

- (1) algunas diferencias con respecto a las **características físicas del suelo** en donde se desarrollan estas formaciones vegetales, observando diferencias en la humedad del suelo, con mayor saturación en M7 en algunas transectas de las formaciones de herbazal de *D. spicata*, *S. californicus* y matorral de *S. fruticosa*, con respecto a M1 y M3, aunque menos variable con respecto a M5. Y en el caso del herbazal de *T. concinna*, se observó mayor saturación en M3 y M5 con respecto a M7. Y en cuanto a la salinidad, se observan mayores variaciones en algunas transectas, principalmente con menor salinidad en M7 con respecto a M1 y M3 en formaciones de *D. spicata* y *J. balticus*, aunque mayor respecto a M5. En la formación de *T. absinthioides* se observa mayor variación entre transectas, donde en algunas se observó un aumento de los afloramientos salinos en M7 respecto a inviernos anteriores, aunque también algunos disminuyen su cobertura dada la diferencia entre sectores, donde las transectas de matorral en Tilopozo siempre han presentado mayor salinidad que las de Peine, ver **Tabla N°1-1 en Anexo de Flora y Vegetación**.

Referente a la composición y coberturas registradas en las campañas de invierno (M7) en comparación con monitoreos de invierno anteriores (M1, M3 y M5), se observa lo siguiente:

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus* localizado en el sector de Tilopozo y Peine, se observa en los cuatro 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, donde en M7 presentó en cinco transectas una cobertura sobre un 90% y una media en la formación de 90,5%, relacionándose con registros anteriores, donde la cobertura de esta especie siempre ha sido la más alta inclusive con un 100% de cobertura en algunas transectas (ver **Figura N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**).

La especie *Distichlis spicata* presenta variabilidad en sus coberturas, con un rango de 4,8% a 38,0% de cobertura absoluta en las transectas del herbazal de *D. spicata* en M7. Si bien se observaba una disminución de las coberturas desde M1 a M5, en M7 se observa una recuperación de ésta en varias transectas desde M5, inclusive alcanzando una mayor cobertura que la registrada en M1 en varias transectas, asimismo, al comparar las coberturas medias, ésta es equivalente entre la registrada en M1 y M7 (18,7%), ver **Figura N°1-1 en Anexo de Flora y Vegetación**.

La especie *Sarcocornia fruticosa*, se observa como especie dominante en cuatro transectas y como especie acompañante en otras dos formaciones vegetales (**Figura N°1-2 y Figura N°1-4 en Anexo de Flora y Vegetación**). En M7 destaca un máximo de 49,0% en la transecta T17 correspondiente al matorral dominado por esta especie, y donde alcanza una media de 28,6% en su formación. En monitoreos de invierno anteriores las coberturas son similares, exceptuando la transecta T12 que registra una disminución de su cobertura de un 21,0% en M7, con respecto a M5 (31,0%) y mayor diferencia con M1 (37,0%), aunque la cobertura media para la formación se encuentra cercano al rango histórico registrado en todos los inviernos, entre 33,4% en M1 y 29,5% en M5. Con respecto a las coberturas de esta especie como acompañante, se mantiene similar la cobertura entre un mismo rango en el herbazal de *Triglochin concinna* entre un 5 y 10% y en el herbazal de *S. californicus*, aumenta la cobertura en una transecta aunque con menos de un 3% de cobertura, pero no hay presencia de esta especie en otras dos transectas donde se registraba que presentaban menos de un 2% de cobertura de *S. fruticosa* en ambos casos, ver **Figura N°1-5 en Anexo de Flora y Vegetación**.

La especie *Triglochin concinna* se observa en dos transectas en un herbazal dominado por esta especie. En general, se observa una disminución en la cobertura media en el herbazal dominado por esta especie, aunque principalmente por la disminución en la transecta T10, registrando en M7 la cobertura más baja de todos los monitoreos, donde *T. concinna* presentó un 10,2% en M1, bajando a un 1,2% en M3, 0,4% en M5 y 0,2% en M7 (**Figura N°1-4 en Anexo de Flora y Vegetación**).

En cuanto a la **especie *Tessaria absinthioides***, ésta se registra solo en el matorral dominado por esta especie en M7, ver **Figura N°1-6 en Anexo de Flora y Vegetación**. El matorral de *T. absinthioides* siempre ha presentado un rango variable de cobertura entre transectas (por ejemplo 6,4% a 26,2% en M7), y si bien se observa una disminución en las coberturas absolutas por transectas desde M1, en M7 se observa un aumento de la cobertura con respecto a M5, e inclusive en la transecta T07 (Peine) es mayor que M1. Asimismo, la cobertura media de la especie se ha mantenido entre un rango similar entre los cuatro monitoreos de invierno, de 18,9% (M1) a 13,8% (M7).

La **especie *Juncus balticus***, solo se registra en las cuatro transectas donde domina esta especie (en todos los monitoreos), correspondiente al herbazal de *J. balticus*, donde se observa con coberturas absolutas variables entre transectas, destacando una disminución de la cobertura en M3 desde M1, aunque en monitoreos posteriores y M7 esta cobertura se ha mantenido o aumentado desde M3. En M7, la cobertura media es de 12,6%, similar al 12,8% registrado en M5, ver **Figura N°1-3 en Anexo de Flora y Vegetación**.

Por otra parte, las **especies acompañantes *Baccharis juncea*, *Lycium humile*, *Nitrophila atacamensis* y *Puccinellia frigida*** mantienen similares sus coberturas en M7 con respecto a monitoreos de invierno anteriores (M1, M3 y M5), puntualmente destacan algunas diferencias pero manteniéndose dentro de la cobertura media registrada, ver **Figura N°1-1, Figura N°1-2, Figura N°1-3, Figura N°1-4 y Figura N°1-5, en Anexo de Flora y Vegetación**.

Al analizar la **cobertura absoluta por transecta**, en todos los monitoreos los mayores valores se observan en el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, manteniéndose esta constante en el monitoreo de invierno 2019 (M7), inclusive aumentando la cobertura absoluta en las seis transectas con respecto a M1. No obstante, se observa un aumento de la cobertura muerta o rastrojo en M7, a excepción de T03 que presenta una mayor cobertura muerta en M1 aunque con coberturas oscilantes entre monitoreos M1 y M5 (ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**). Cabe señalar, que en esta formación se había observado la activación de la cobertura post-incendio en M4 (incendio ocurrido en septiembre de 2017, posterior al monitoreo de invierno M3) en las transectas de Tilopozo (T19 y T29) y en M6 este fenómeno se observó en las transectas T01 y T03 de Peine, registrando igualmente una activación de la cobertura vegetal, con abundante regeneración y asimismo se observaba cobertura muerta bajo la cobertura vegetal. Cabe destacar, que en el monitoreo actual, no se observan rastrojos de quema en las transectas de Tilopozo (T19 y T29), no obstante en las transectas de Peine T01 y T03, la cobertura de rastrojos aún es evidente en ambas transectas a pesar de la regeneración y activación de la cobertura vegetal.

En cuanto a los valores de menor cobertura absoluta por transecta (menor al 10%), en M7 hay siete transectas con coberturas inferiores al 10%, mientras que en M5 habían seis transectas, en M3 ocho transectas y en M1 cuatro transectas. En el herbazal de *Distichlis spicata* destacan tres transectas con cobertura inferior al 10% en los cuatro monitoreos de invierno (T21, T26 y T27 en Tilopozo). En el herbazal de *Triglochin concinna*, de las dos transectas, T10 del

subsector La Brava, presentó en M7 la menor la cobertura de todos los monitoreos, descendiendo de 14,6% en M1 (invierno 2016) a 3,6% en M3, 4,0% en M5 y 1,2% en M7. En el matorral de *T. absinthioides* tres transectas presentan cobertura inferior al 10%, destacando la transecta T05 de Peine, que ha registrado menos de un 10% de cobertura en los cuatro monitoreos de invierno (ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**). En general, destaca que en las transectas con menor cobertura vegetal (<10%) son formaciones que siempre se han registrado con baja cobertura vegetal, y que a la vez también mantienen una baja cobertura de rastrojos (<10%), exceptuando la transecta T23 en un matorral de *T. absinthioides* de Tilopozo, donde la cobertura de rastrojos registra en M7 un 11,0%, entre 13 y 14% en M3 y M5 y en M1 una cobertura menor de 6,6%.

En relación a la cobertura muerta (absoluta), ésta se registra para todas las formaciones estudiadas, presentando algunas diferencias entre monitoreos y entre transectas, exceptuando algunas transectas del herbazal de *S. californicus* en algunos monitoreos de invierno que no registra rastrojos o cobertura muerta. El rango de cobertura muerta es variable, en M7 la transecta T19 en un herbazal de *S. californicus* de Tilopozo no registra cobertura muerta, mientras que el mínimo se registra en un herbazal de *T. concinna* en La Brava (0,6%; T10) y un máximo en un herbazal de *S. californicus* en Peine (84,8%; T24). Por una parte, destaca que el máximo de cobertura muerta en M1, M3 y M5 se registraba en la transecta T02 (30 a 47% en un herbazal de *S. californicus* en Peine), sin embargo en M7 desciende a un 24%, registrándose el máximo en la misma formación pero en la transecta T03 (84,8%), valor que se asocia principalmente a cobertura de rastrojos producto de la quema ocurrida en el 2018. Cabe destacar, que este máximo de cobertura muerta no es indicador de pérdida de cobertura en la formación, ya que igualmente, la cobertura vegetal de las especies en la transecta permanece activa registrando más de un 100% de cobertura absoluta en M7. Por otra parte, los mínimos de cobertura muerta de registran en el herbazal de *T. concinna* de La Punta y La Brava (T10 y T11) y en los herbazales de *S. californicus* de Tilopozo (T19 y T29).

En términos generales, se observa un aumento de la cobertura vegetal con respecto a invierno 2018 (M5), donde en 18 transectas se refleja una cobertura mayor en M7, ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**. Si bien en nueve transectas la cobertura en M7 es menor que M5 y registros previos, el aumento general en M7 refleja que el aporte de las precipitaciones en el verano de 2019, incidió en una mayor actividad en la vegetación, observada principalmente en los herbazales de *D. spicata*, donde inclusive en cuatro transectas (T09, T20, T21 y T27) el aumento es mayor al histórico desde M1 y MB0.

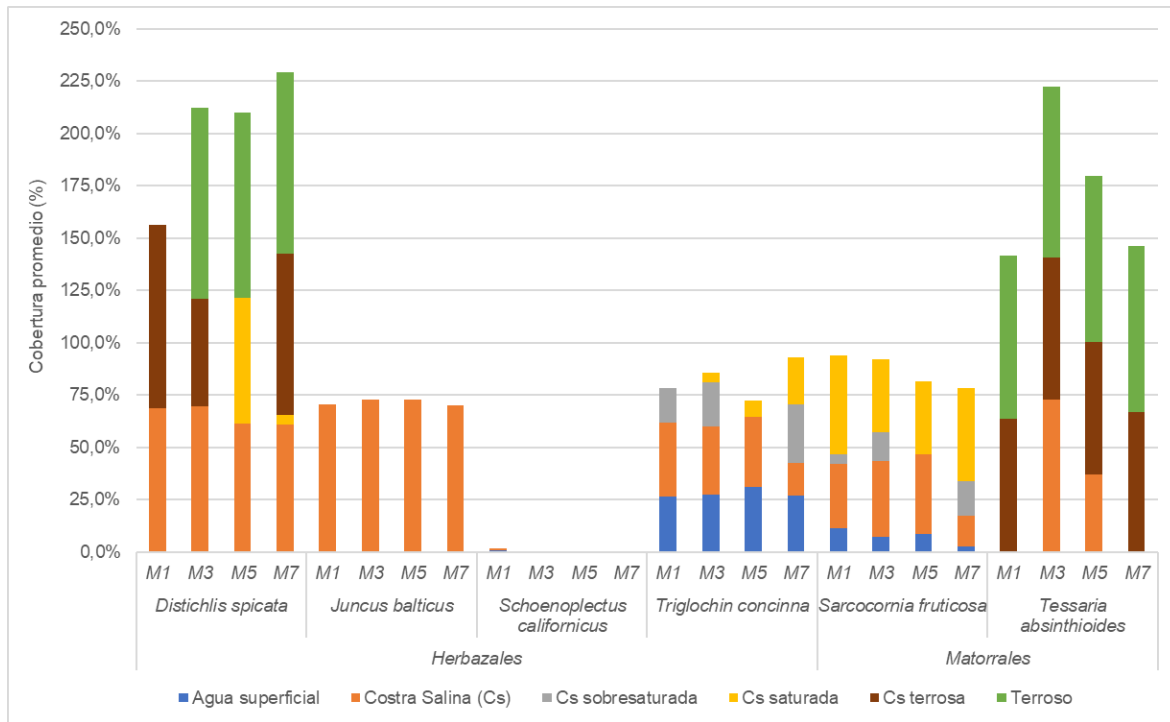
Con respecto a la riqueza de especies, en general la riqueza registrada en M7 se mantiene constante con respecto a los registros desde M1 a M5, presentando algunas diferencias en pocas transectas. Cabe destacar que no hay diferencias en la composición de especies dominantes, solo se registran diferencias con especies acompañantes, las cuales presentan generalmente coberturas inferiores al 2%. En relación a las diferencias, en M7 se registra una especie más en dos transectas con respecto a M5 (T21 en un herbazal de *D. spicata* y T07 en un matorral de *T. absinthioides*), en T03 se registra una especie menos con respecto a M5

pero es mayor con respecto a M1 y M3, y en T01 se registra una especie menos en M7 con respecto a los tres monitoreos de invierno anteriores (ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**).

Con respecto a la cobertura absoluta de otros recubrimientos, en general no se observan mayores diferencias de coberturas totales al comparar los resultados entre los monitoreos de invierno M1, M3, M5 y M7. En la **Figura N° 12-1** se pueden observar los promedios de la cobertura de los otros recubrimientos por sector en los monitoreos de invierno, en relación al tipo de recubrimiento, y en mayor detalle, en el **Anexo de Flora y Vegetación** se pueden observar la coberturas absolutas de estos recubrimientos (**Tabla N°1-3 en Anexo de Flora y Vegetación**). De acuerdo a la **Figura N° 12-1**, destaca el recubrimiento de agua superficial que siempre ha estado presente en las transectas del herbazal de *T. concinna*, y con menor cobertura en el matorral de *S. fruticosa* y, ocasionalmente en una transecta del herbazal de *S. californicus* (T01; M1 y M7). En relación a la costra salina, la que ha variado entre monitoreos es principalmente la costra salina saturada y sobresaturada en herbazales de *D. spicata* y *T. concinna* y en el matorral de *S. fruticosa*. La costra salina terrosa en el herbazal de *D. spicata* también presenta variaciones, donde destaca el reemplazo de este recubrimiento en M5 por costra salina saturada. Por otra parte, el sustrato terroso que es característico en algunas transectas del herbazal de *D. spicata* se observa que mantiene su cobertura desde M3 a M7, asimismo en el matorral de *T. absinthioides* donde la variación en esta formación se registra mayormente entre la costra salina y la costra salina terrosa.

El herbazal de *Schoenoplectus californicus* es el único que presenta muy baja o nula cobertura de otros recubrimientos, con menos de 1% de cobertura registrado en la transecta T01 en M1 y M7 (agua superficial) y en la transecta T04 en M1 y M5 (costra salina). Distinto es para el resto de las formaciones, donde las coberturas totales de otros recubrimientos son generalmente sobre el 50% en M7, exceptuando en pocas transectas (T08 con 44,4%, T20 con 40,2%, T17 con 47,2% y 47,6% en T24), lo cual presenta un comportamiento similar entre los registros de los distintos monitoreos de invierno sobre todo en T17 y T24 que en los cuatro monitoreos de invierno registra una cobertura menor al 50% (**Figura N° 12-1 y Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**).

Figura N° 12-1. Cobertura promedio de otros recubrimientos por formación vegetal en los monitoreos de invierno.



Donde: M1 monitoreo invierno 2016, M3 monitoreo invierno 2017, M5 monitoreo invierno 2018, M7 monitoreo invierno 2019.
 Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura N° 12-2** se observa gráficamente las coberturas promedio por campañas y por sector, con respecto a la cobertura promedio de la vegetación y de rastrojos y la riqueza. En el **Anexo de Flora y Vegetación**, se puede observar en más detalle la evolución de las coberturas por cada sector y monitoreos desde MB0.

Para el sector Peine, correspondiente al sector con mayor cobertura vegetal promedio del área de estudio, se observa un 69,5% en M7, uno de los mayores valores registrados en monitoreos de invierno, además de M3 (2017), con una cobertura vegetal de 69,6% para el sector (**Figura N° 12-2 y Tabla 1.4 en Anexo de Flora y Vegetación**).

El subsector de Tilopozo, presenta variación estable en su cobertura vegetal, dado entre 35% y 37% en todas las campañas de invierno, registrando un 35,7% en M7 (**Figura N° 12-2 y Tabla 1.4 en Anexo de Flora y Vegetación**).

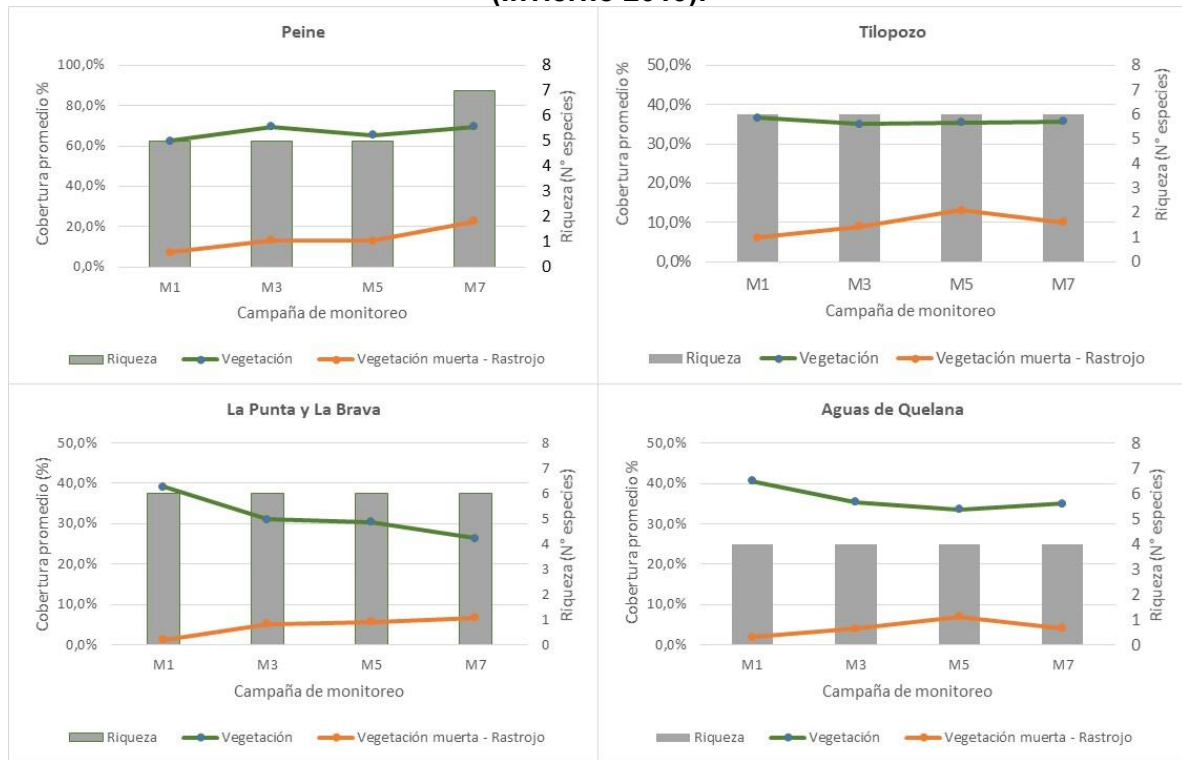
En La Punta y La Brava, se observan variaciones de cobertura entre monitoreos, con un 39,1% en M1 (invierno 2016), bajando a 31,1% en M3 (invierno 2017), seguido de 30,4% en M5 (invierno 2018), hasta llegar a una cobertura de 26,4% en M7 (invierno 2019), ver **Figura N° 12-2 y Tabla 1.4 en Anexo de Flora y Vegetación**.

En Aguas de Quelana, se observaba un descenso de la cobertura desde M1 (40,6%) a M3 (35,4%) pero en monitoreos de invierno posteriores se mantiene una cobertura constante entre 33 y 35%, dada entre M3, M5 y M7. En el caso de Soncor, a pesar de que no hay muestreo en M7, se conoce que en este sector no hay vegetación o elementos de flora aislados que pudieran monitorearse en el tiempo, tratándose de un área completamente cubierta por costra salina (**Figura N° 12-2 y Tabla 1.4 en Anexo de Flora y Vegetación**).

En relación a la cobertura de rastrojos, se observa en general un aumento de esta cobertura desde M1 en los monitoreos de invierno posteriores, principalmente, observado en el sector de Peine con un registro de 22,7% en M7 de un 7,3% en M1. No obstante, cabe recordar que en el sector de Peine es donde se registró mayormente este recubrimiento producto de la quema ocurrida el segundo semestre de 2018 que incidió en la mayor presencia de rastrojos (por quema) en dos transectas del sector (T01 y T03), aunque sin afectar directamente a la formación, logrando una regeneración y recuperación de la cobertura vegetal exitosa en ambas transectas. Por otro lado, en M7 se observa una leve disminución de los rastrojos en Aguas de Quelana y Tilopozo respecto a M5, aunque sigue siendo mayor que M1 (**Figura N° 12-2 y Tabla 1.4 en Anexo de Flora y Vegetación**).

Finalmente, la riqueza registrada por sector se mantiene similar entre los monitoreos de invierno, a excepción del sector Peine que registró dos especies adicionales en M7 con respecto a las cinco registradas en M1, M3 y M5. Las especies adicionales en Peine son acompañantes en dos formaciones, el arbusto *Atriplex atacamensis* que corresponde a un registro en una transecta, que originalmente se observó desde el monitoreo M6, y la herbácea *Puccinellia frigida* que corresponde a un registro nuevo para el sector, con menos de 1% de cobertura absoluta (ver **Figura N° 12-2 y Tabla N°1-5 en Anexo de Flora y Vegetación**).

Figura N° 12-2. Tendencia de la cobertura vegetal promedio y riqueza por sector (Invierno 2019).



Donde: M1 monitoreo invierno 2016, M3 monitoreo invierno 2017, M5 monitoreo invierno 2018, M7 monitoreo invierno 2019.
 Fuente: Elaboración propia.

12.1.2.2 Evolución respecto de valores históricos (MB0)

En el siguiente análisis, se comparan las coberturas del monitoreo semestral de invierno 2019 (M7) en referencia al **Monitoreo “0” realizado en julio de 2016 (MB0)**, monitoreo realizado, igualmente, 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).

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus* las coberturas absolutas de las seis transectas de la formación presentaban más del 100% de cobertura vegetal en MB0, lo cual se ha mantenido hasta M7. Si bien hay diferencias de coberturas entre monitoreos, éstas se mantienen altas representando una cobertura muy densa de la vegetación en todas las transectas. Cabe señalar, que la transecta T02 había disminuido su cobertura absoluta entre M1 y M5 a menos de un 100%, pero en M7 aumentó a un 127,8%, acercándose al valor inicial en MB0 (156,6%), ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**.

Con respecto a las otras formaciones, éstas presentan en general, una disminución en las coberturas vegetales desde MB0 y asimismo un aumento en las coberturas de rastrojo o de

cobertura muerta, con respecto a la condición inicial determinada para la primera fase pre operacional de este estudio (ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**). No obstante, en el herbazal de *D. spicata* se observa un aumento de la cobertura en M7 en tres de sus ochos transectas (T09, T21 y T27) y una cobertura muy similar con MB0 en otras dos transectas (T20 y T28) y asimismo, solo en esta formación se observa una disminución y/o mantención de la cobertura de rastrojos en M7 con respecto a MB0 (T21, T27 y T28), además de las transectas en un herbazal de *S. californicus* de Tilopozo (T19 y T29), que presentan muy baja o nula cobertura de rastrojos en M7 con respecto a la nula presencia de este recubrimiento en MB0.

En las otras formaciones, solo resaltan ciertas transectas donde puntualmente se registran mayores diferencias en las coberturas comparadas desde MB0 a M7 (ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**). Destacan tres transectas con más del 50% de diferencia entre sus coberturas; la transecta T18 en un herbazal de *Juncus balticus* en Tilopozo, que registraba un 27,6% en MB0 y en M7 un 11,0%, la transecta T10 en un herbazal de *Triglochin concinna* en el subsector La Brava, que registraba un 14,6% en MB0 y en M7 presenta una cobertura de 1,2%, lo que representa una pérdida de cobertura vegetal mayor al 90% en dicha transecta, y por último, la transecta T06 en Peine, en un matorral de *Tessaria absinthioides* que registra un 24,6% en MB0 bajando a un 11,6% en M7.

Finalmente, en relación a la riqueza de especies, se observa una diferencia leve en la riqueza de especies en seis transectas, obteniendo valores constantes en el resto de las transectas en los registros desde Monitoreo Base 0 a Monitoreo 7. De las transectas con variaciones, destaca principalmente T12 del subsector La Punta, que registraba tres especies en MB0 y actualmente se registró solo la especie dominante de la formación *S. fruticosa*. Las otras variaciones corresponden a una especie menos en M7 o adicional en M7 con respecto a MB0, correspondiendo en todos los casos a especies acompañantes de menor cobertura y representatividad dentro de las transectas (**Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**).

12.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

12.2.1 Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres (análisis campañas invernales de 2016, 2017, 2018 y 2019)

En el área de estudio en la séptima campaña de monitoreo (**Tabla N° 12-4**), se registraron 26 especies, siendo éstas: 2 especies de reptiles, 18 especies de aves y 6 especies de mamíferos, no registrándose especies de anfibios. De las 26 especies de fauna detectadas, 10 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación, de las cuales 6 se consideran amenazadas. En esta séptima campaña de invierno 2019 no se incorporan especies nuevas para el monitoreo.

En el área de estudio, y en relación a la riqueza acumulada, considerando las cuatro campañas invernales (2016, 2017, 2018 y 2019) de monitoreo realizadas por el PMB a la fecha, ésta asciende a un total de 39 especies, identificándose 2 especies de reptiles, 31 especies de aves y 6 especies de mamíferos (**Tabla N° 12-4**).

De las 39 especies de fauna detectadas, 12 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 6 especies se encuentran en categoría de conservación listadas en el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI); otras 4 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 2 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 corresponden a las dos especies de reptiles detectadas, seis de las especies de aves y cuatro especies de mamíferos (**Tabla N° 12-4**).

Del total de 12 especies en categoría de conservación, 8 se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro (una especie, un reptil), Vulnerable (seis especies; cinco aves y un mamífero) y Casi amenazada (una especie de ave). Por su parte, cuatro especies se catalogan sin amenaza (precautorias). (**Tabla N° 12-4**).

De acuerdo a su origen geográfico, 3 de las especies registradas son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles y una especie de mamífero), en tanto que otras 35 especies son nativas (31 especies de aves y 4 especies de mamíferos), y finalmente, una especie es catalogada como introducida (un mamífero, *Equus asinus*) (**Tabla N° 12-4**).

En relación a las especies especialistas de hábitat, 16 especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar) y 15 especies de aves (habitantes de ambientes de humedal, **Tabla N° 12-4**).

Por otro lado, la movilidad de las especies detectadas se desglosa de la siguiente forma: tres especies son de baja movilidad, tres especies se catalogan con movilidad media, y por último 33 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 12-4**).

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), 4 se encuentran clasificadas con índice de riesgo alto (las 3 especies de flamencos y el tuco-tuco de Atacama), otras 8 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, seis aves y un mamífero), y por último 25 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (22 aves y 3 mamíferos). A la única especie introducida, el burro (*Equus asinus*) no le fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 12-4**).

Del análisis por sector, la mayor riqueza se presenta en el sector de Tilopozo, con 24 especies registradas (un reptil, 18 aves y cinco mamíferos). Le sigue el sector de Peine, con 19 especies registradas (dos reptiles, 11 aves y seis mamíferos); y finalmente el sector con la menor riqueza; La Punta y La Brava con 18 especies (un reptil, 15 aves y dos mamífero; **Tabla N° 12-4**).

Tabla N° 12-4. Lista Sistemática de especies de fauna registradas a lo largo de las cuatro campañas de monitoreo invernales (2016, 2017, 2018 y 2019). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
REPTILIA											
SQUAMATA											
TROPIDURIDAE											
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	R ¹	SE	-	E	N	B	44,35		X	X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN ³	SE	-	E	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	S	A	18,35			X
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho común	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35			X
ANSERIFORMES											
ANATIDAE											
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	S/EC	-	-	N	S	A	30			X
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	S/EC	-	-	N	S	A	15	X	X	X
CHARADRIIFORMES											
CHARADRIIDAE											
<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	S/EC	BS	-	N	N	A	10,85	X	X	
LARIDAE											
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	VU ¹	S	-	N	S	A	48,65	X	X	
RECURVIROSTRIDAE											
<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	S/EC	BS	-	N	S	A	25,85	X	X	
SCOLOPACIDAE											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	S/EC	B	-	N	S	A	31,65	X	X	
<i>Phalaropus tricolor</i>	Pollito de mar tricolor	S/EC	BS	-	N	S	A	18,35	X	X	
COLUMBIFORMES											
COLUMBIDAE											
<i>Mettiopelia aymara</i>	Tortolita de la puna	S/EC	S	-	N	N	A	9,15			X
<i>Zenaida auriculata</i>	Tórtola	S/EC	-	-	N	N	A	7,5			X
FALCONIFORMES											
FALCONIDAE											
<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35			X
GRUIFORMES											
RALLIDAE											
<i>Fulica ardesiaca</i>	Tagua andina	S/EC	S	-	N	S	A	24,15		X	
<i>Fulica cornuta</i>	Tagua cornuda	NT ⁴	S	-	N	S	A	32,65	X		
<i>Fulica gigantea</i>	Tagua gigante	VU ¹	S	-	N	S	A	48,65	X		
PASSERIFORMES											
FURNARIIDAE											
<i>Geositta maritima</i>	Minero chico	S/EC	B	-	N	N	A	1,65			X
<i>Geositta punensis</i>	Minero de la Puna	S/EC	B	-	N	N	A	1,65			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	X	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

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR			
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo	
TYRANNIDAE												
<i>Agriornis montanus</i>	Mero gaucho	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35			X	
<i>Lessonia oreas</i>	Colegial del norte	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35	X			
<i>Muscisaxicola cinereus</i>	Dormilona cenicienta	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35			X	
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35			X	
<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	Dormilona de nuca rojiza	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35			X	
PELECANIFORMES												
ARDEIDAE												
<i>Egretta caerulea</i>	Garza azul	S/EC	BS	-	N	S	A	18,35			X	
PHOENICOPTERIFORMES												
PHOENICOPTERIDAE												
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Flamenco andino o Parina grande	VU ⁴	SE	-	N	S	A	65,35	X	X		
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU ¹	SE	-	N	S	A	65,35	X	X		
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Flamenco chileno	VU ¹	SE	-	N	S	A	65,35	X	X		
PODICIPEDIFORMES												
PODICIPEDIDAE												
<i>Podiceps occipitalis</i>	Blanquillo	S/EC	E	-	N	S	A	24,15	X			
TOTAL RIQUEZA AVES									15	11	18	
MAMMALIA												
CARNIVORA												
CANIDAE												
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC ²	E	-	N	N	A	3,65	X	X	X	
DIDELPHIMORPHIA												
DIDELPHIDAE												
<i>Thylamys pallidior</i>	Yaca del norte	S/EC	BSE	-	N	N	M	27,5		X		

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
PERISSODACTYLA											
EQUIDAE											
<i>Equus asinus</i>	Burro	S/EC	-	-	I	N	A	-		X	X
RODENTIA											
CRICETIDAE											
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP ⁵	E	-	N	N	M	11,15		X	X
<i>Phyllotis xanthopygus</i>	Ratón orejudo amarillo	NP ⁵	S	-	N	N	M	11,15	X	X	X
CTENOMYIDAE											
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	VU ¹	S	-	E	N	B	73,65		X	X
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA									2	6	5
TOTAL RIQUEZA SECTOR									18	19	24

ESTADOS DE CONSERVACIÓN: EN: En Peligro; 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°52/2014 MMA; (4) D.S. N°38/2015 MMA; (5) 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.

12.2.2 Análisis por clase (campañas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019)

12.2.2.1 Anfibios

Del total de 39 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las cuatro campañas de invierno (2016, 2017, 2018 y 2019), no se han registrado anfibios. El único registro se tuvo en el sector de Tilopozo, y sólo para la campaña de verano 2018.

12.2.2.2 Reptiles

Del total de 39 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las cuatro campañas invernales, dos de ellas corresponden a reptiles (5,1%), ambas pertenecientes al Orden Squamata y a la familia Tropicuridae (**Tabla N° 12-4**).

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° 12-4**).

12.2.2.3 Aves

Del total de 39 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las cuatro campañas invernales del monitoreo, 31 de ellas corresponden a aves (79,5%), las que se distribuyen en 10 órdenes y 17 familias (**Tabla N° 12-4**).

Del total de aves registradas en el área de estudio, 6 especies (19,3%) se encuentran en categoría de conservación. Las especies consideradas “*bajo amenaza*” corresponden a la gaviota andina, la tagua gigante, y las 3 especies de flamencos, clasificadas en categoría Vulnerable, además de la tagua cornuda, catalogada como Casi amenazada (**Tabla N° 12-4**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de Tilopozo presenta la mayor riqueza de aves, con 18 especies registradas (mayormente especies asociadas a ambientes terrestres). Le siguen en riqueza el sector de La Punta y La Brava, con 15 especies registradas, y Peine, con 11 especies, la mayoría correspondientes a especies asociadas a ambientes acuáticos (**Tabla N° 12-4**).

12.2.2.4 Mamíferos

Del total de 39 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, seis de ellas corresponden a mamíferos (15,4%), las que se distribuyen en 4 órdenes y 5 familias (**Tabla N° 12-4**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, 4 (66,7%) se encuentran en categoría de conservación. La única especie considerada “*bajo amenaza*” corresponde al tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*). Las 3 especies catalogadas “*sin amenaza*” en su estado de conservación, en tanto, corresponden al zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), clasificado 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° 12-4**).

Por otra parte, comparando los sectores, Peine presenta la mayor riqueza, con 6 especies, seguido de Tilopozo, con 5 especies. La menor riqueza, en tanto, se presenta en el sector de La Punta y La Brava, con sólo 2 especies registradas (**Tabla N° 12-4**).

12.2.3 Composición por ambiente (campañas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019)

Para los reptiles, de las dos especies detectadas en las cuatro campañas invernales, 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 algunos 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° 12-5**).

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra mayoritariamente en los ambientes de humedal: el mayor número de especies registrado corresponde al humedal salar de La Punta y La Brava, con 15 especies detectadas (en su mayoría especies asociadas a ambientes acuáticos), seguido por el humedal pajonal de Tilopozo, con 13 especies (sólo tres especies asociadas a ambientes acuáticos), y por 11 especies en el humedal salar de Peine (casi todas especies asociadas a ambientes acuáticos). A estos registros de riqueza, le siguen el ambiente de matorral de Tilopozo con 8 especies detectadas (todas terrestres), y las quebradas de Tilopozo, con 3 especies registradas (todas terrestres). Por otra parte, se registró sólo una especie de ave en el ambiente de herbazal de Tilopozo, y ninguna en área desprovista de vegetación costra salar y matorral de Peine (**Tabla N° 12-5**).

Para los mamíferos, y a diferencia de las aves, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes terrestres, ya que se registran 6 especies en el matorral de Peine y 5 especies en el humedal pajonal de Tilopozo, el matorral de Tilopozo y herbazal, y 3 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 el humedal salar de Peine, con una especie, y

finalmente el área desprovista de vegetación costra salar de Tilopozo, sin especies (**Tabla N° 12-5**).

Agrupando las cuatro clases de vertebrados registradas en el total de las cuatro campañas invernales, el ambiente con la mayor riqueza es el humedal pajonal del sector Tilopozo, con 19 especies registradas en total (un reptil, 13 aves y 5 mamíferos), lo que representa un 48,7% de toda la fauna registrada en las cuatro campañas de monitoreo de inviernos, seguido por el humedal salar de La Punta y La Brava, con 18 especies (un reptil, 15 aves y 2 mamíferos) y el matorral de Tilopozo, con 14 especies. A continuación, se encuentran los ambientes de humedal salar de Peine (13 especies), la quebrada de Tilopozo, el matorral de Peine y el herbazal (todas con 7 especies), y finalmente el ambiente área desprovista de vegetación costra salar de Tilopozo, sin especies (**Tabla N° 12-5**).

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° 12-5. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en las cuatro campañas de monitoreo invernales (2016, 2017, 2018 y 2019). 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	X	X
Lagartija de Fabián	X	X						
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	1	1	1	0	1	1	1	1
AVES								
Vari ceniciento						X	X	
Aguilucho común						X		
Pato jergón chico						X		
Pato juarjual	X	X				X		
Chorlo de la puna	X	X						
Gaviota Andina	X	X						
Caití	X	X						
Playero de Baird	X	X						

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
Pollito de mar tricolor	X	X						
Tortolita de la puna						X	X	
Tórtola					X	X	X	
Cernícalo						X		
Tagua andina		X						
Tagua cornuda	X							
Tagua gigante	X							
Minero chico							X	
Minero de la Puna						X	X	
Tijeral común								X
Golondrina de dorso negro	X	X				X		
Bailarín chico común	X					X	X	
Chirihue verdoso							X	
Mero gaucho							X	X
Colegial del norte	X							
Dormilona cenicienta						X		
Dormilona chica						X		
Dormilona de nuca rojiza								X
Garza azul						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	15	11	0	0	1	13	8	3
MAMMALIA								
Zorro culpeo	X	X	X		X	X	X	X
Yaca del norte			X					
Burro			X		X	X	X	
Ratón andino			X		X	X	X	X
Ratón orejudo amarillo	X		X		X	X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X		X	X	X	

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
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	2	1	6	0	5	5	5	3
TOTAL POR AMBIENTE	18	13	7	0	7	19	14	7

Nota: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1-6.

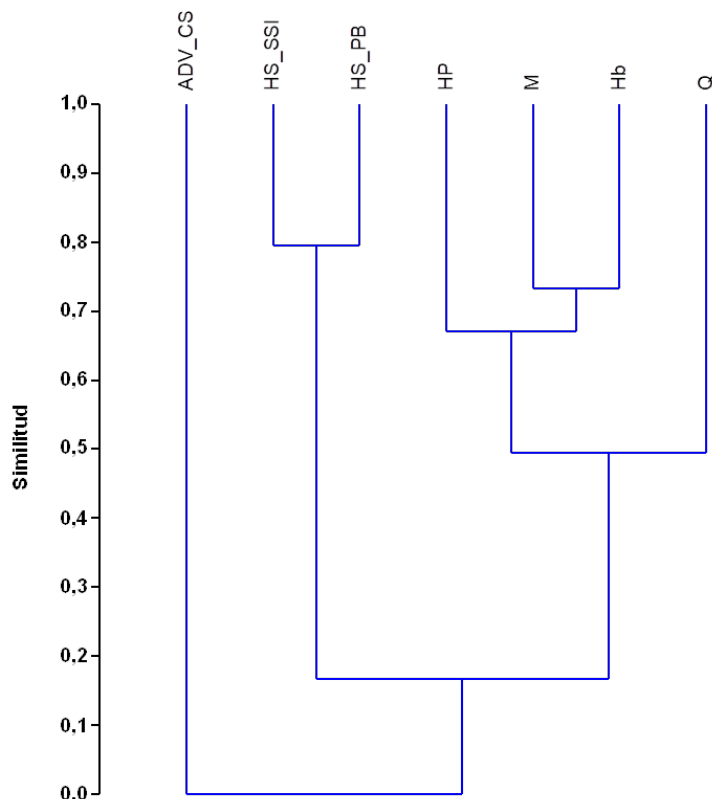
Fuente: Elaboración Propia.

12.2.4 Similitud (campañas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019)

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 12-5** (el que agrupa las cuatro campañas de monitoreo invernales), se obtiene el fenograma de similitud de fauna (**Figura N° 12-3**).

Según los resultados de similitud, se forman dos grandes agrupaciones: por una parte, los dos sistemas acuáticos de humedal salar, y por otra, 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 79%. Por su parte, en el otro gran grupo, el ambiente de quebrada se asocia al resto de los ambientes con una similitud cercana al 50%, y el área desprovista de vegetación costra salar no se asocia ningún ambiente, por carecer de especies (**Figura N° 12-3**).

Figura N° 12-3. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas invernales de 2016, 2017, 2018 y 2019).



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, a una similitud cercana al 79%), lo que se explica porque gran parte de su fauna de aves acuáticas es muy similar. La otra agrupación de mayor similitud es entre el humedal pajonal, matorral y el herbazal, a los que se agrupan luego las quebradas. Estos cuatro 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 y rocosa 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.

12.2.5 Abundancia y frecuencia (campañas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019)

En el caso de las dos especies de reptiles, la abundancia absoluta total fue significativamente mayor en invierno 2019 (con 35 ejemplares) y menor en invierno 2016, con 16 individuos (muy similar a los otros inviernos; **Tabla N° 12-6**). En todas las campañas, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, la que varió entre 9 a 23 ejemplares avistados (con un rango de 56,3% a 78,9% de abundancia relativa), mientras que la lagartija de Constanza representó entre un 21,1% a un 43,8%, con un rango de 4 a 12 individuos (**Tabla N° 12-6**). En el caso de la frecuencia, el patrón se mantiene, ya que la lagartija de Fabián fue la más frecuente, registrada entre 4 a 7 de los 25 puntos de muestreo (lo que representa entre un 16% a un 28% de frecuencia relativa), mientras que la lagartija de Constanza tuvo entre un 4% a un 20% de frecuencia (variando en su registro entre uno a cinco puntos de muestreo; **Tabla N° 12-7**).

En relación a las aves censadas, la abundancia absoluta total fue mayor en invierno 2019 (con 577 ejemplares), y menor en invierno 2017 (con 376 individuos). De las especies más abundantes, 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 156 individuos (41,5% en invierno 2017, aunque el mínimo de abundancia relativa fue de 33,5%, en invierno 2018), seguida por el flamenco chileno (máximo de 125 individuos, con un 33,2% en invierno 2017, y mínimo de 53 ejemplares, con un 10,3% en invierno 2018; **Tabla N° 12-6**). Otras especies abundantes en el total de campañas invernales son: la parina chica (6 a 51 individuos), el chorlo de la Puna (15 a 45 individuos), el playero de Baird (5 a 42 ejemplares), el caití (14 a 19 individuos) y el pollito de mar tricolor (0 a 11 ejemplares); en cambio otras son abundantes sólo en una a dos campañas, como el chirihue verdoso (con 125 ejemplares en invierno 2018), el minero de la puna (11 individuos en invierno 2018) y la tortolita de la puna (33 ejemplares, invierno 2019), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia baja en las campañas invernales, variando entre 1 a 9 ejemplares (**Tabla N° 12-6**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el chorlo de la Puna (entre 7 a 8 puntos, variando entre un 28% a un 32% de frecuencia), el playero de Baird (8% a 36%), el flamenco chileno (20% a 32%), la parina grande (12% a 28%), el caití (20% a 28%) y el pato juarjual (12%), mientras que el resto de las especies son poco frecuentes, variando entre 1 a 5 puntos (4% a 20% de frecuencia; **Tabla N° 12-7**). El patrón de dominancia general, con la parina grande y flamenco chileno como las especies más abundantes, se mantiene en todas las campañas de invierno (2016, 2017, 2018 y 2019).

En el caso de los macromamíferos, la especie más abundante fue el zorro culpeo, de la cual se observó un máximo de 6 individuos en 6 puntos de muestreo en invierno 2018, además de registros indirectos en otros siete puntos, y un mínimo de 3 ejemplares en tres puntos en invierno 2017 (junto con 4 registros indirectos), por lo que su frecuencia varió desde 28% a 44%. Le siguen el burro, con un máximo de 8 ejemplares registrados en un punto, además de 5 puntos con registros indirectos (en invierno 2016), lo que representa un 24% de frecuencia, y un mínimo de 16% de frecuencia en invierno 2017. El tuco-tuco de Atacama presenta un máximo de abundancia de 7 individuos registrados en 2 puntos en invierno 2018, además del registro mayoritario por evidencia indirecta (cuevas activas) en 4 puntos, por lo que tiene una frecuencia de 24%, mientras que el máximo es de 32% en invierno 2019. El patrón de dominancia general de todo el monitoreo, con el zorro culpeo, el burro y el Tuco tuco de Atacama como las especies más abundantes, se mantiene en las campañas de invierno 2016, 2017, 2018 y 2019.

Tabla N° 12-6. Abundancia absoluta (AA) y relativa (AR) (por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de inviernos 2016, 2017, 2018 y 2019.

CLASE Nombre común	AA				AR (%)			
	I 16	I 17	I 18	I 19	I 16	I 17	I 18	I 19
REPTILIA								
Lagartija de Constanza	7	4	5	12	43,8	21,1	29,4	34,3
Lagartija de Fabián	9	15	12	23	56,3	78,9	70,6	65,7
TOTAL REPTILIA	16	19	17	35	100	100	100	100
AVES								
Vari ceniciento	2	-	-	-	0,5	-	-	-
Aguilucho común	-	1	1	2	-	0,3	0,2	0,4
Pato jergón chico	-	-	-	2	-	-	-	0,4
Pato juarjual	7	6	6	6	1,6	1,6	1,2	1,0
Chorlo de la puna	20	15	28	45	4,6	4,0	5,4	7,8
Gaviota andina	6	11	12	32	1,4	2,9	2,3	5,6
Caití	15	19	14	14	3,4	5,1	2,7	2,4
Playero de Baird	5	18	13	42	1,1	4,8	2,5	7,3
Pollito de mar tricolor	4	2	-	11	0,9	0,5	-	1,9
Tortolita de la puna	-	-	-	33	-	-	-	5,7
Tórtola	6	-	1	9	1,4	-	0,2	1,6
Cernícalo	-	-	1	-	-	-	0,2	-
Tagua andina	-	1	-	-	-	0,3	-	-
Tagua cornuda	-	-	1	-	-	-	0,2	-

CLASE Nombre común	AA				AR (%)			
	I 16	I 17	I 18	I 19	I 16	I 17	I 18	I 19
Tagua gigante	-	1	-	-	-	0,3	-	-
Minero chico	-	-	5	-	-	-	1	-
Minero de la Puna	-	2	11	2	-	0,5	2,1	0,4
Tijeral común	1	-	-	-	0,2	-	-	-
Golondrina de dorso negro	3	4	3	8	0,7	1,1	0,6	1,4
Bailarín chico común	4	6	9	13	0,9	1,6	1,8	2,3
Chirihue verdoso	-	-	126	28	-	-	24,5	4,9
Mero gaucho	-	-	2	-	-	-	0,4	-
Colegial del norte	-	2	1	-	-	0,5	0,2	-
Dormilona cenicienta	-	1	-	-	-	0,3	-	-
Dormilona chica	-	-	3	-	-	-	0,6	-
Dormilona de nuca rojiza	1	-	-	-	0,2	-	-	-
Garza azul	-	-	-	1				0,2
Flamenco andino o Parina grande	262	156	172	212	59,8	41,5	33,5	36,7
Flamenco de James o Parina chica	39	6	51	50	8,9	1,6	9,9	8,7
Flamenco chileno	63	125	53	67	14,4	33,2	10,3	11,6
Blanquillo	-	-	1	-	-	-	0,2	-
TOTAL AVES	438	376	514	577	100	100	100	100
MAMMALIA								
Zorro culpeo	6 + 3x	3 + 4x	6 + 7x	4+4x	-	-	-	-
Burro	8 + 5x	4x	5 + 5x	5+4x	-	-	-	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7x	6 + 6x	7 + 4x	5+7x	-	-	-	-

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

Nota 2: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1-6.

Abundancia = AA: Abundancia absoluta total; **AR:** Abundancia relativa.

Campaña = I 16: Invierno 2016; **I 17:** Invierno 2017; **I 18:** Invierno 2018; **I 19:** Invierno 2019.

La X indica presencia indirecta.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 12-7. Frecuencia absoluta (FA) y relativa (FR) (por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016, 2017, 2018 y 2019.

CLASE Nombre Común	FA				FR (%)			
	I 16	I 17	I 18	I 19	I 16	I 17	I 18	I 19
REPTILIA								
Lagartija de Constanza	5/25	1/25	2/25	5/25	20,0	4,0	8,0	20,0
Lagartija de Fabián	4/25	5/25	4/25	7/25	16,0	20,0	16,0	28,0
AVES								
Vari ceniciento	2/25	-	-	-	8,0	-	-	-
Aguilucho común	-	1/25	1/25	1/25	-	4,0	4,0	4,0
Pato jergón chico	-	-	-	1/25	-	-	-	4,0
Pato juarjual	3/25	3/25	3/25	3/25	12,0	12,0	12,0	12,0
Chorlo de la puna	8/25	7/25	8/25	8/25	32,0	28,0	32,0	32,0
Gaviota andina	3/25	6/25	2/25	6/25	12,0	24,0	8,0	24,0
Caití	6/25	6/25	5/25	7/25	24,0	24,0	20,0	28,0
Playero de Baird	2/25	3/25	6/25	9/25	8,0	12,0	24,0	36,0
Pollito de mar tricolor	2/25	1/25	-	2/25	8,0	4,0	-	8,0
Tortolita de la puna	-	-	-	5/25	-	-	-	20,0
Tórtola	2/25	-	1/25	3/25	8,0	-	4,0	12,0
Cernícalo	-	-	1/25	-	-	-	4,0	-
Tagua andina	-	1/25	-	-	-	4,0	-	-
Tagua cornuda	-	-	1/25	-	-	-	4,0	-
Tagua gigante	-	1/25	-	-	-	4,0	-	-
Minero chico	-	-	1/25	-	-	-	4,0	-
Minero de la Puna	-	1/25	3/25	1/25	-	4,0	12,0	4,0
Tijeral común	1/25	-	-	-	4,0	-	-	-
Golondrina de dorso negro	2/25	4/25	1/25	3/25	8,0	16,0	4,0	12,0
Bailarín chico común	2/25	2/25	3/25	5/25	8,0	8,0	12,0	20,0
Chirihue verdoso	-	-	2/25	2/25	-	-	8,0	8,0
Mero gaucho	-	-	2/25	-	-	-	8,0	-
Colegial del norte	-	1/25	1/25	-	-	4,0	4,0	-
Dormilona cenicienta	-	1/25	-	-	-	4,0	-	-
Dormilona chica	-	-	1/25	-	-	-	4,0	-
Dormilona de nuca rojiza	1/25	-	-	-	4,0	-	-	-
Garza azul	-	-	-	1/25	-	-	-	4,0
Flamenco andino o Parina grande	5/25	6/25	3/25	7/25	20,0	24,0	12,0	28,0
Flamenco de James o Parina chica	3/25	1/25	3/25	4/25	12,0	4,0	12,0	16,0

CLASE Nombre Común	FA				FR (%)			
	I 16	I 17	I 18	I 19	I 16	I 17	I 18	I 19
Flamenco chileno	7/25	8/25	5/25	7/25	28,0	32,0	20,0	28,0
MAMMALIA								
Zorro culpeo	9/25	7/25	11/25	8/25	36,0	28,0	44,0	32,0
Burro	6/25	4/25	6/25	5/25	24,0	16,0	24,0	20,0
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7/25	7/25	6/25	8/25	28,0	28,0	24,0	32,0

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

Nota 2: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1-6.

Frecuencia = FA: Frecuencia absoluta; **FR:** Frecuencia relativa.

Campaña = I 16: Invierno 2016; **I 17:** Invierno 2017; **I 18:** Invierno 2018; **I 19:** Invierno 2019.

Fuente: Elaboración Propia.

12.2.6 Abundancia por ambiente (densidad, campañas invernales 2016, 2017, 2018 y 2019)

En un análisis global, comparando las cuatro campañas invernales 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 2,0 a 4,5 individuos/transecto (invierno 2016 y 2017, e invierno 2019, respectivamente), seguido por el humedal salar (con 0,8 a 2,1 individuos/transecto, en invierno 2016 e invierno 2019, respectivamente), y registros puntuales de otros ambientes, como la quebrada (1,0 ind/transecto en invierno 2016), herbazal (0,5 ind/transecto, en invierno 2016) y el matorral (con 0,4 ind/transecto, en invierno 2019, mientras que los otros ambientes y campañas no registraron ejemplares (**Tabla N° 12-8**). En general, los valores de abundancia por ambiente de la campaña de invierno 2019, se encuentran dentro de los máximos descritos.

En el caso de las aves, y para todas las campañas invernales, claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar, variando entre 32,9 individuos/transecto (en invierno 2018) a 44,2 ind/transecto (en invierno 2019); seguido por el humedal pajonal (entre 3,0 a 18,0 ind/transecto) y el matorral (máximo de 18,0 ind/transecto, en invierno 2018). Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal (hasta 1,5 ind/transecto), la quebrada (hasta 1,0 ind/transecto) y el área desprovista de vegetación costra salar, sin registro de ejemplares (**Tabla N° 12-8**). En general, los valores de abundancia de aves por ambiente de la campaña de invierno 2019, se encuentran dentro de los máximos descritos.

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° 12-8. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 4 campañas de monitoreo invernales (2016, 2017, 2018 y 2019).

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																							
	Humedal salar (11)				ADV costra salar (1)				Herbazal (2)				Humedal pajonal (2)				Matorral (8)				Quebrada (1)			
	I 16	I 17	I 18	I 19	I 16	I 17	I 18	I 19	I 16	I 17	I 18	I 19	I 16	I 17	I 18	I 19	I 16	I 17	I 18	I 19	I 16	I 17	I 18	I 19
REPTILIA	0,8	1,4	1,1	2,1	0	0	0	0	0,5	0	0	0	2,0	2,0	2,5	4,5	0,1	0	0	0,4	1,0	0	0	0
AVES	38,7	33,6	32,9	44,2	0	0	0	0	1,5	0	0	1,0	3,0	3,0	3,5	18,0	0,1	0	18,0	6,6	1,0	0	1,0	0

Nota: entre paréntesis, se indica el número de transectos realizados por cada ambiente.
 Campaña = I 16: Invierno 2016; I 17: Invierno 2017; I 18: Invierno 2018; I 19: Invierno 2019.
 Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de las cuatro campañas de invierno del monitoreo, de las 3 especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en 5 de los 6 ambientes, y con un IDR que varió (en las campañas en que se encontró, con uno a 7 ejemplares), entre 0,8% (en el ambiente de matorral, en invierno 2018) a 11,7% (en quebrada, en invierno 2016). En cambio, el ratón andino fue registrado en 4 ambientes, variando entre un IDR de 0,8% (en matorral, en tres campañas) a un 21,7% (en el ambiente de humedal pajonal en invierno 2019; **Tabla N° 12-9**). La yaca del norte solo se registró en la campaña de invierno 2019, en el ambiente de matorral, con un IDR de 0,8% (**Tabla N° 12-9**).

Tabla N° 12-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016, 2017, 2018 y 2019.

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 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
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
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
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

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

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

Fuente: Elaboración Propia.

12.2.7 Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres

12.2.7.1 Riqueza y composición

En general, para comparar con las campañas de invierno, se consideró la última campaña histórica de invierno realizada (abril y julio 2014, en PMB, 2014) antes del primer monitoreo PMB de invierno 2016.

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). De este modo, para la abundancia de aves, primero se hace una comparación

general de todas las lagunas, y luego se realiza una comparación más específica, separando los dos sectores: La Punta-La Brava y Peine, aunque con la 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 con el PMB, la comparación de abundancia se hará sólo entre las campañas de monitoreo.

En una primera escala gruesa de comparación, las 39 especies registradas en estas cuatro campañas de monitoreo invernal 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 (**Tabla N° 12-10**). En dicho informe, se registra un total acumulado de 1 anfibio, 2 reptiles, 49 aves y 10 mamíferos, y, como era de esperar, casi todas las especies registradas en las campañas de invierno 2016 a invierno 2019 se incluyen dentro de las 62 especies del total acumulado. Las excepciones a esta situación corresponden a la detección de cuatro especies nuevas, observadas en monitoreos invernales: tagua andina (*Fulica ardesiaca*) y tagua gigante (*Fulica gigantea*), ambas registradas en invierno 2017 y tagua cornuda (*Fulica cornuta*) junto con el blanquillo (*Podiceps occipitalis*), ambas registradas en la campaña de invierno 2018. 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 históricas 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° 12-10**), la composición de especies de estas cuatro campañas de agosto 2016 a septiembre 2019 es levemente menor (45 a 39, respectivamente), variando la proporción básicamente para la clase mamíferos (10 versus 6).

Tabla N° 12-10. Comparación de la riqueza de especies (por clase) entre las campañas de estudio de Línea Base, con las campañas de inviernos de 2016, 2017, 2018 y 2019.

CLASE	CAMPAÑAS												
	LÍNEA BASE (PMB)						TOTAL ACUMULADO		MONITOREO ACTUAL (INVIERNOS)				
	Jun/Sep 2008	Mar 2010	Sept 2013	Abr 2014	Jul 2014	Feb 2015	Jun 08-Feb 15 ACUMULADO	+ Otros estudios (2006-2015)*	Ago 2016	Ago 2017	Ago 2018	Sep 2019	Ago 2016-Sep 2019 ACUMULADO
Anfibios	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Reptiles	1	2	0	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
Aves	12	6	21	14	10	10	32	49	15	17	21	18	31
Mamíferos	5	4	4	5	5	6	10	10	5	4	5	6	6
TOTAL	18	12	26	21	17	17	45	62	22	23	28	26	39

Fuente: Elaboración Propia en base a PMB (2015).

* = Incluye además dos estudios adicionales (i.e. SQM 2006-2012 y MEL 2009), cuya información está contenida en 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), 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, 1 mamífero y 1 reptil, mientras que en las cuatro campañas de invierno 2016, 2017, 2018 y 2019, en el Sistema La Punta y La Brava (humedal salar) se han observado 18 especies (15 aves, 1 reptil y 2 mamíferos; **Tabla N° 12-5**).

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 (1 reptil y 16 aves), mientras que en las cuatro campañas de invierno 2016 a invierno 2019 se registraron 13 especies (1 reptil, 11 aves y 1 mamífero en humedal salar; detalle en **Tabla N° 12-5**, pero eliminando las especies terrestres del matorral, porque corresponde a otro ambiente de este sector). Como es esperable, la riqueza de ambos sistemas de las campañas invernales de 2016 a hasta el invierno 2019 es un subconjunto (Peine) o muy similar (La Punta y La Brava) al total acumulado en varias campañas anteriores.

En cuanto a riqueza total, comparando el registro de las campañas de invierno 2016 a invierno 2019, con la última campaña de invierno de líneas de base anterior (invierno, julio 2014, PMB

2015), se observa que la riqueza total de invierno de 2016 (con 22 especies, de las cuales 2 son reptiles, 15 son aves y 5 son mamíferos), invierno 2017 (con 23 especies, de las cuales 2 son reptiles, 17 son aves y 4 son mamíferos), invierno 2018 (con 28 especies: 2 reptiles, 21 aves y 5 mamíferos) e invierno 2019 (con 26 especies: 2 reptiles, 18 aves y 6 mamíferos), son superiores a la registrada en julio de 2014, con 17 especies (2 reptiles, 10 aves y 5 mamíferos), y la identidad de las especies es básicamente la misma, por lo que la composición de fauna es similar, siendo en este caso la fauna de invierno de Línea de Base (2014) un subconjunto de la fauna registrada en los inviernos recientes de monitoreo (**Tabla N° 12-10**).

Específicamente, para las aves, en los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine (con un total de 16 especies acumuladas), la riqueza de especies observada en las estaciones invernales del monitoreo: 2016 (con 11 especies), 2017 (con 14 especies), 2018 (con 13 especies) y 2019 (con 11 especies) es mucho mayor a la observada en invierno de 2014 (PMB, con 7 especies; **Tabla N° 12-11**). 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 2019 (ya que las 7 especies observadas en 2014 se registran también en los monitoreos posteriores), con 9 especies registradas en los monitoreos invernales que no se observaron en la línea Base de invierno 2014 (**Tabla N° 12-11**).

Tabla N° 12-11. Comparación de la riqueza y composición de aves en los sistemas lagunares del área de estudio (La Punta y La Brava, junto con Peine) para la campaña histórica del PMB (invierno 2014), y del monitoreo (inviernos 2016, 2017, 2018 y 2019).

Nombre Común	Humedal Salar				
	La Punta - La Brava y Peine				
	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
Pato juarjual	X	X	X	X	X
Chorlo de la puna	X	X	X	X	X
Gaviota andina		X	X	X	X
Caití	X	X	X	X	X
Playero de Baird	X	X	X	X	X
Pollito de mar tricolor		X	X		X
Tagua andina			X		
Tagua cornuda				X	
Tagua gigante			X		
Golondrina de dorso negro		X	X	X	X
Bailarín chico común		X	X	X	X
Colegial del norte			X	X	
Parina grande	X	X	X	X	X
Parina chica	X	X	X	X	X
Flamenco chileno	X	X	X	X	X
Blanquillo				X	
TOTAL	7	11	14	13	11

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de la composición de especies de reptiles, se registran dos especies en todas las campañas de monitoreo invernales (2016 a 2019), la lagartija de Constanza y lagartija de Fabián, lo mismo que en la campaña de Línea de Base de invierno de 2014. Algo similar ocurre para las especies de mamíferos, con similar riqueza de especies en las campañas de invierno de monitoreo (4 a 6 especies) que en la campaña de Línea de Base de invierno de 2014 (5 especies), con casi todas especies compartidas en ambos estudios, como el

zorro culpeo, el tuco-tuco de Atacama y los roedores ratón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*) y ratoncito andino (*Abrothrix andinus*). Existen algunas leves diferencias con invierno de 2014 (Línea Base), como la presencia de la yaca del norte (*Thylamys pallidior*) en invierno 2014 y en invierno 2019, junto con la ausencia del burro en invierno 2014, y la ausencia del ratoncito andino en invierno de 2017 (**Tabla N° 12-12**). En resumen, la riqueza y composición de reptiles y mamíferos es similar en la Línea Base como en los monitoreos invernales (con 7 a 8 especies).

Tabla N° 12-12. Comparación de la riqueza y composición de reptiles y mamíferos en el área de estudio, para la campaña histórica del PMB (invierno 2014), y del monitoreo (inviernos 2016, 2017, 2018 y 2019).

CLASE Nombre Común	CAMPAÑA				
	Invierno 2014 (PMB)*	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
REPTILES					
Lagartija de Constanza	X	X	X	X	X
Lagartija de Fabián	X	X	X	X	X
Subtotal reptiles	2	2	2	2	2
MAMÍFEROS					
Zorro culpeo	X	X	X	X	X
Yaca del norte	X				X
Burro		X	X	X	X
Lauchita de pie sedoso					
Ratón andino	X	X		X	X
Ratón orejudo amarillo	X	X	X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	X	X	X	X	X
Subtotal mamíferos	5	5	4	5	6
RIQUEZA TOTAL	7	7	6	7	8

El asterisco (*) indica que se incluyen dos campañas (abril y julio 2014).

Fuente: Elaboración Propia.

12.2.7.2 Abundancia**12.2.7.2.1 Aves**

Para las aves, en la primera escala de comparación, agrupando todos los sistemas lagunares (La Punta-La Brava-Peine) y considerando tanto las cuatro campañas de monitoreo invernales como la campaña de invierno 2014 de Línea de Base, se han registrado 16 especies en total (**Tabla N° 12-13**). Del total, 9 especies se han observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con dos especies numéricamente abundantes, como el pollito de mar tricolor (con rango entre 0 a 11 ejemplares) y la gaviota andina (6 a 32 individuos), seguidos por otra dos especies comunes, como la golondrina de dorso negro (3 a 5 ejemplares) y el bailarín chico (2 a 7 individuos), mientras que el resto son muy escasas (uno a 2 individuos; **Tabla N° 12-13**). Finalmente, 7 especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan numéricamente los flamencos (**Tabla N° 12-13**). La dominancia numérica de los flamencos a nivel general para todo el monitoreo se mantiene en las campañas de invierno 2016, 2017, 2018 y 2019. En particular, esta última campaña de invierno 2019 presentó una abundancia total máxima (486 ejemplares) en relación a los otros inviernos de monitoreo (con rango entre 362 en invierno 2018 y 428 en invierno 2016).

Tabla N° 12-13. Comparación de la abundancia de aves en los sistemas lagunares (La Punta-La Brava y Peine), para los periodos invernales de Línea de Base y monitoreo.

SISTEMAS LAGUNARES (LA PUNTA - LA BRAVA Y PEINE)					
Nombre Común	Línea Base	Monitoreos			
	Invierno 2014	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
Pato juarjual	8	7	6	6	4
Chorlo de la puna	5	20	15	28	45
Gaviota andina	0	6	11	12	32
Caití	16	15	19	14	14
Playero de Baird	1	5	18	13	42
Pollito de mar tricolor	0	4	2	0	11
Tagua andina	0	0	1	0	0
Tagua cornuda	0	0	0	1	0
Tagua gigante	0	0	1	0	0
Golondrina de dorso negro	0	3	4	3	5
Bailarín chico común	0	2	4	7	4
Colegial del norte	0	0	2	1	0
Parina grande	135	262	156	172	212
Parina chica	79	39	6	51	50
Flamenco chileno	32	65	125	53	67

SISTEMAS LAGUNARES (LA PUNTA - LA BRAVA Y PEINE)					
Nombre Común	Línea Base	Monitoreos			
	Invierno 2014	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
Blanquillo	0	0	0	1	0
TOTAL	276	428	370	362	486

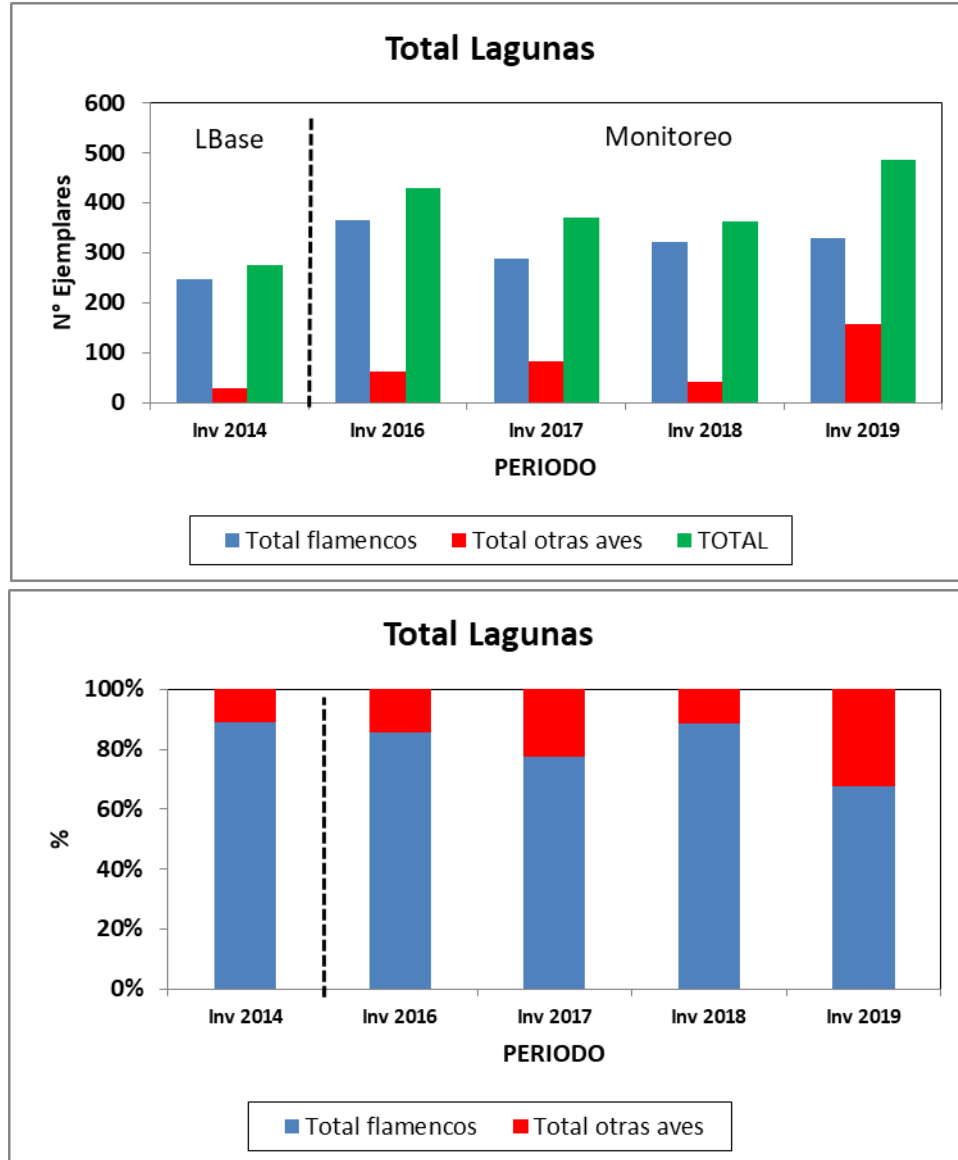
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se agrupan las abundancias de los flamencos en relación al resto de las aves. Esto, debido a que estas tres especies son acuáticas, son las más importantes numéricamente, y todas se consideran amenazadas, catalogadas como vulnerables.

Los flamencos son numéricamente dominantes en todas las campañas, tanto en la línea de Base como en el monitoreo (**Figura N° 12-4**). Las abundancias totales de las aves son mayores en todos los periodos invernales de monitoreo que en la campaña de Línea de Base. Así, en el monitoreo las abundancias totales de invierno varían entre 362 a 486 ejemplares, mientras que en la Línea de Base el valor es de 276 ejemplares. En particular, para los flamencos, también las abundancias totales son mayores en el monitoreo de inviernos (287 a 366) que en la Línea de Base (246). En abundancia relativa (y considerando todas las campañas de invierno), los flamencos varían en un rango entre 66,7% (invierno 2019) a 89,1% (en invierno 2014; **Figura N° 12-4**).

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. Lo anterior se verifica tanto para el total de aves como para el caso particular de los flamencos, comparando las cuatro campañas de invierno del monitoreo en relación al invierno de línea de base (2014). Como se señaló anteriormente, se utiliza solamente la Línea de base de invierno 2014, y no otros inviernos anteriores, ya que es la única posible de comparar con el monitoreo en términos de riqueza y abundancia en los sistemas lagunares. Las otras campañas anteriores a invierno 2014 no comparan los mismos sectores ni analizan la fauna a la misma escala espacial.

Figura N° 12-4. 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 (campañas de invierno). La línea punteada vertical separa los periodos en Línea de Base y Monitoreo.



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), y considerando las cuatro campañas de monitoreo invernales y la de línea de base, se han registrado 11 especies en total (**Tabla N° 12-14**). De ellas, 5 especies se han

observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con una especie abundante, como es el playero de Baird (hasta 29 individuos), 2 especies más comunes, la gaviota andina (con rango entre 1 a 5 ejemplares) y la golondrina de dorso negro (3 ejemplares en todos los monitoreos), mientras que el resto son muy escasas (1 a 4 individuos; **Tabla N° 12-14**). Finalmente, otras seis especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan los flamencos, numéricamente dominantes (**Tabla N° 12-14**). No hay registro de especies observadas en el línea de base que no se observen en el monitoreo invernal. En particular, esta última campaña de invierno 2019 presentó una abundancia total alta (324 ejemplares) en relación a los otros inviernos de monitoreo (con rango entre 255 en invierno 2018 y 301 en invierno 2016), lo que está determinado fundamentalmente por el flamenco andino, con 163 individuos contabilizados en 2019 (**Tabla N° 12-14**).

Por lo tanto, analizando al **sistema hidrológico de Peine**, la riqueza y abundancia de aves acuáticas muestran resultados relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo y la Línea de Base.

Tabla N° 12-14. Comparación de la abundancia de aves en el sistema hidrológico Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), para los periodos de Línea de Base (invierno 2014) y monitoreos invernales.

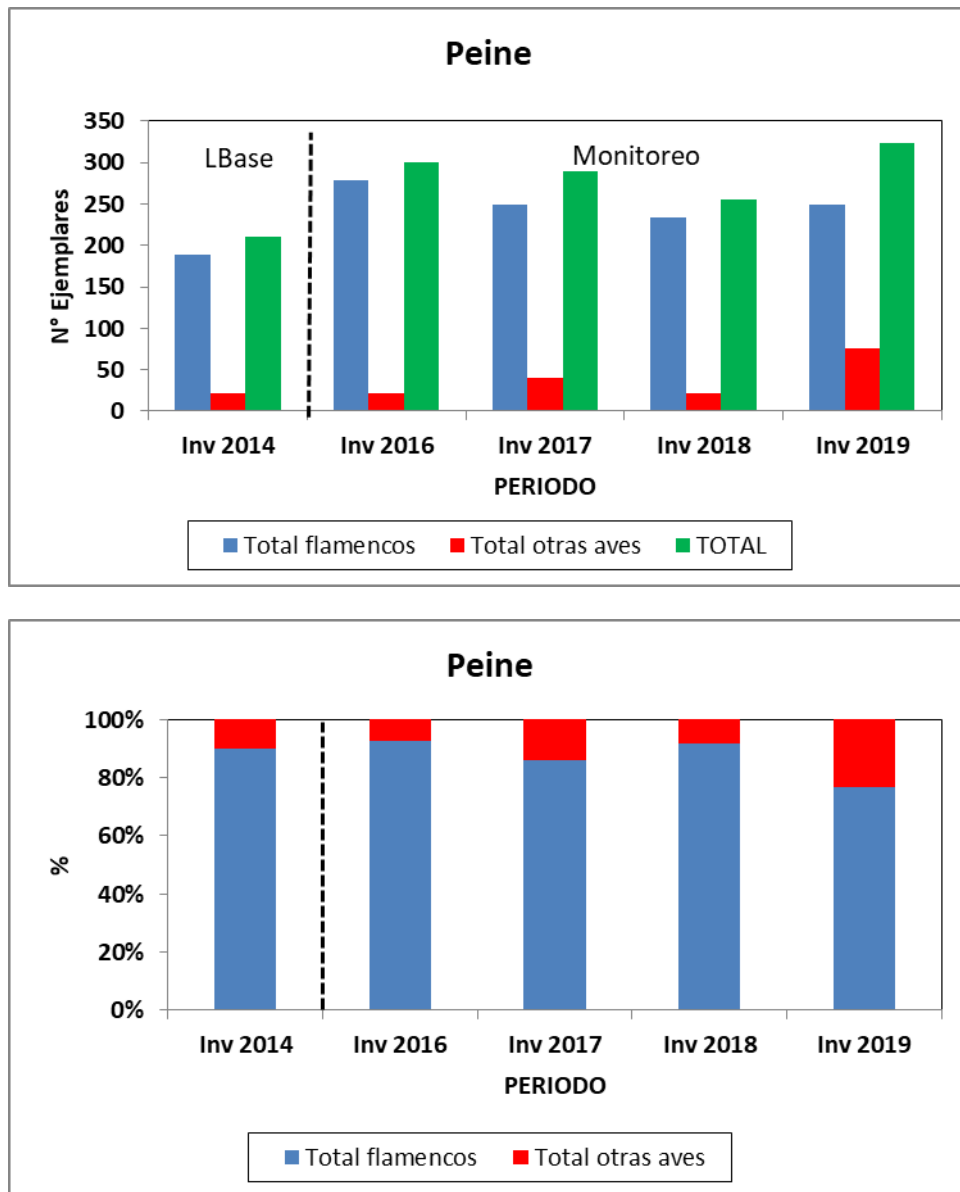
SISTEMA HIDROLÓGICO PEINE (LAGUNAS SALADA - SALADITA - INTERNA)					
Nombre Común	Línea Base	Monitoreos			
	Invierno 2014	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
Pato juarjual	4	1	3	2	2
Chorlo de la puna	3	6	7	5	27
Gaviota andina	0	2	3	1	5
Caití	14	6	6	7	9
Playero de Baird	0	0	17	3	29
Pollito de mar tricolor	0	4	0	0	0
Tagua andina	0	0	1	0	0
Golondrina de dorso negro	0	3	3	3	3
Parina grande	135	219	145	160	163
Parina chica	40	11	0	35	48
Flamenco chileno	14	49	104	39	38
TOTAL	210	301	289	255	324

Fuente: Elaboración propia.

Considerando sólo los monitoreos de invierno, y al comparar las abundancias de los flamencos y el resto de las aves, los flamencos son numéricamente dominantes en todas las campañas, siendo mayor en los monitoreos (entre 234 a 279 ejemplares) que en la Línea de Base (con 189 individuos; **Figura N° 12-5**). Las abundancias totales de las aves son mayores también en los monitoreos (con un rango entre 255 a 324 ejemplares) que en

la Línea de Base (con 210 individuos). Sin embargo, para el resto de las aves (no flamencos), las abundancias fueron similares entre el monitoreo y la Línea de Base, excepto para esta campaña de invierno de 2019, con el valor más alto (75 ejemplares). En abundancia relativa, los flamencos varían entre un rango de cerca de 77% (en invierno 2019), a un máximo de más de un 92% (en invierno 2016; **Figura N° 12-5**). El patrón general de dominancia de flamencos se mantiene en las campañas de invierno 2016 a 2019.

Figura N° 12-5. 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 (campañas de monitoreo invernales). La línea punteada vertical separa los periodos en Línea de Base y Monitoreo.



Fuente: Elaboración propia.

Para el **sistema hidrológico de La Punta y La Brava** (y considerando los monitoreos de invierno y el de Línea de Base de invierno 2014), se han registrado 15 especies en total (**Tabla N° 12-15**). De ellas, 9 especies se han observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con 2 especies más abundantes: la parina grande (con rango entre 11 a 49 ejemplares) y la gaviota andina (entre 4 a 27 individuos), mientras que el resto son escasas (uno a 11 individuos; **Tabla N° 12-15**). 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), y otras especies más abundantes, como el chorlo de la puna (8 a 23 ejemplares) y el playero de Baird (1 a 13 individuos; **Tabla N° 12-15**). No hay registro de especies observadas en la línea de base que no se observen en los monitoreos invernales. Comparando los cuatro inviernos del monitoreo, las abundancias del total de aves varían entre 81 ejemplares (2017) hasta 162 (invierno 2019).

Por lo tanto, analizando al sistema hidrológico de La Punta y La Brava, si bien la riqueza de aves es mayor en los monitoreos 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 la parina chica, con menores valores en el monitoreo que en la Línea de Base. En particular, el invierno de 2019 muestra menores abundancias de la parina chica en relación a los otros inviernos 2016 a 2018.

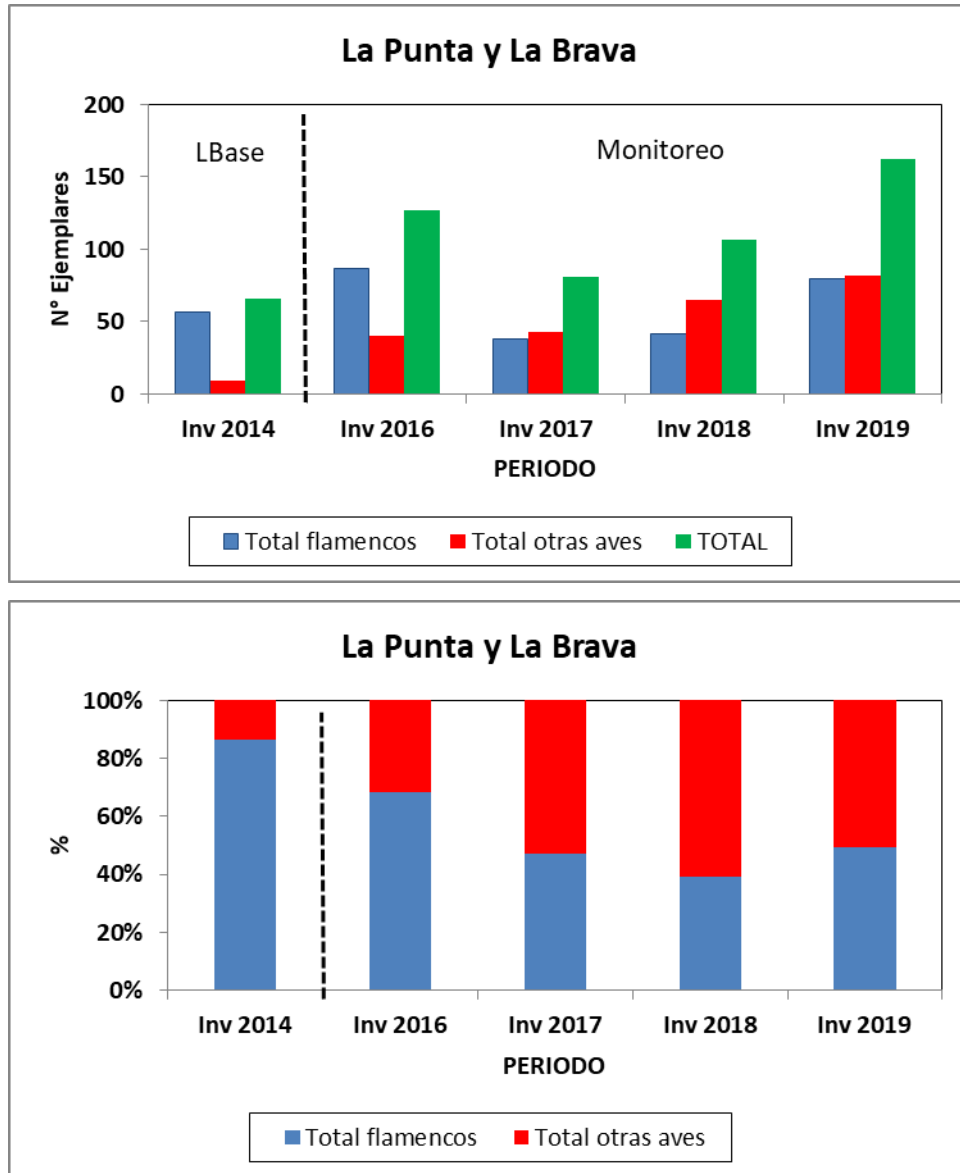
Tabla N° 12-15. Comparación de la abundancia de aves en el sistema hidrológico La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base (invierno 2014) y monitoreos invernales.

SISTEMA HIDROLÓGICO LA PUNTA - LA BRAVA					
Nombre Común	Línea Base	Monitoreos			
	Invierno 2014	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019
Pato juarjual	4	6	3	4	2
Chorlo de la puna	2	14	8	23	18
Gaviota andina	0	4	8	11	27
Caití	2	9	13	7	5
Playero de Baird	1	5	1	10	13
Pollito de mar tricolor	0	0	2	0	11
Tagua cornuda	0	0	0	1	0
Tagua gigante	0	0	1	0	0
Golondrina de dorso negro	0	0	1	0	2
Bailarín chico común	0	2	4	7	4
Colegial del norte	0	0	2	1	0
Parina grande	0	43	11	12	49
Parina chica	39	28	6	16	2
Flamenco chileno	18	16	21	14	29
Blanquillo	0	0	0	1	0
TOTAL	66	127	81	107	162

Fuente: Elaboración propia.

Considerando sólo los monitoreos invernales, al comparar las abundancias de los flamencos y el resto de las aves (y a diferencia de Peine), los flamencos varían su dominancia a lo largo del monitoreo, siendo mayores, similares o menores a las otras aves, con valores entre 38 individuos (en 2017) a 87 ejemplares (en 2016), mientras que en la Línea de Base los flamencos son dominantes (con 57 ejemplares; **Figura N° 12-6**). Las abundancias totales de las aves son mayores en el monitoreo de 2019 (con 162 ejemplares), seguido por 2016 (127 individuos), 2018 (107) y 2017 (81 ejemplares), todos valores mayores a la Línea de Base (con 66 individuos; **Figura N° 12-6**). 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 39% (en invierno 2018), a un máximo cercano al 86% (en la Línea de Base de invierno 2014; **Figura N° 12-6**).

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 el sistema hidrológico La Punta y La Brava (campañas de monitoreo invernales y campaña de Línea de Base). La línea punteada vertical separa los periodos en Línea de Base y Monitoreo.



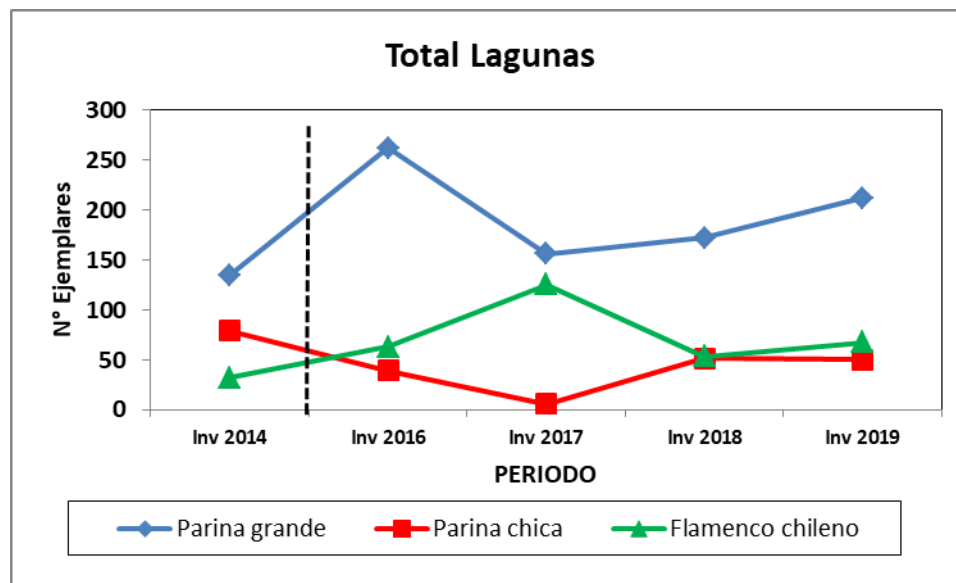
Fuente: Elaboración propia.

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 su menor valor en la línea de base de invierno 2014 (135 ejemplares), aumentando en los monitoreos invernales, desde 156 (en 2017) hasta 262 ejemplares, en 2016; **Figura N° 12-7**). El flamenco chileno, la segunda especie dominante, también muestra mayores valores en el monitoreo (53 a 125 ejemplares) que

en la Línea de base (32 ejemplares; **Figura N° 12-7**). Finalmente, para la parina chica (la especie menos abundante), se da el caso opuesto: los valores del monitoreo (6 a 51 ejemplares) son menores al valor de la Línea de Base (79 individuos; **Figura N° 12-7**). En el caso específico de la última campaña, las abundancias de flamencos de 2019 están dentro del rango de los inviernos de 2016 a 2018.

En resumen, para ambos sistemas acuáticos analizados en conjunto y en los dos periodos analizados (Línea de Base y monitoreo), las abundancias de flamencos son mayores en los monitoreos invernales que en la línea de base de invierno 2014, para las tres especies en total, como para dos de las tres especies analizadas. La parina chica muestra una respuesta opuesta, con mayor valor en la Línea de Base.

Figura N° 12-7. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine (campañas de invierno). La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.

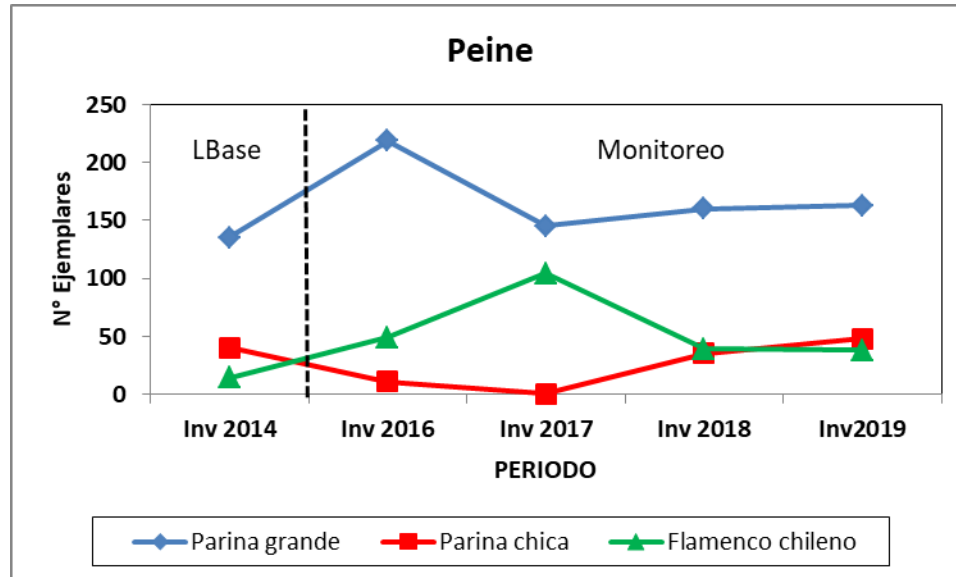


Fuente: Elaboración propia.

Para el sistema hidrológico Peine, y considerando sólo los monitoreos invernales, comparando las tres especies de flamencos, la especie dominante es la parina grande, y muestra valores ascendentes en el monitoreo, desde 145 ejemplares (2017) hasta 219 individuos (2016), todos valores mayores a la Línea de Base (135 individuos; **Figura N° 12-8**). El flamenco chileno, la segunda especie dominante, también muestra valores crecientes en el monitoreo invernal (38 a 104 ejemplares) en comparación la Línea de Base (14 individuos; **Figura N° 12-8**). Finalmente, la parina chica (la especie menos abundante), nuevamente presenta un patrón distinto: los valores iniciales del monitoreo (2016 a 2018, con 0 a 35 ejemplares) son menores a la Línea Base ($n = 40$), pero en 2019 aumentan a un máximo de 48 ejemplares (**Figura N° 12-8**). La campaña de invierno 2019 muestra

abundancias de flamencos dentro del rango del monitoreo, excepto en el caso de la parina chica, con el máximo valor.

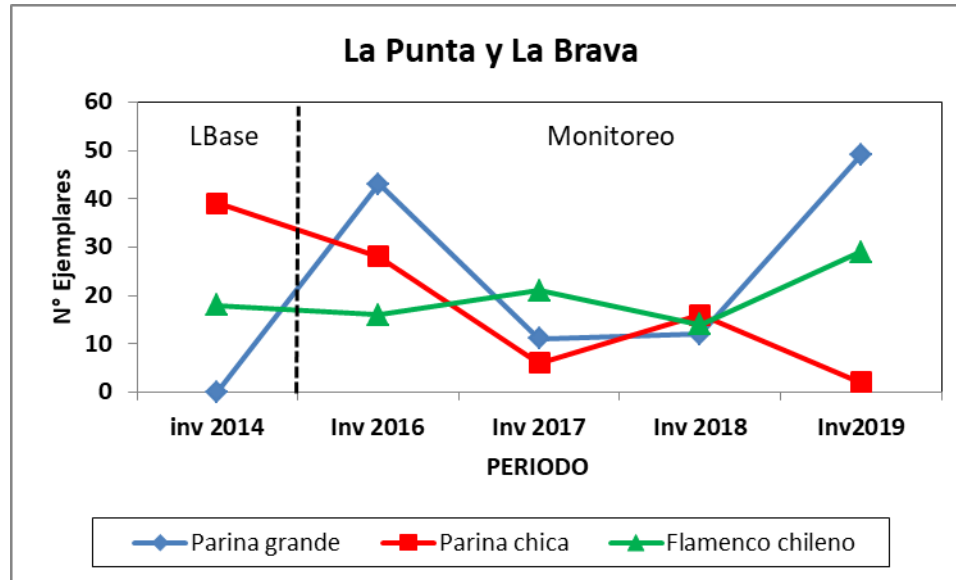
Figura N° 12-8. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema hidrológico Peine (campañas de monitoreo invernales). La línea punteada vertical separa los periodos en Línea de Base y Monitoreo.



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 invernal (con un rango entre 11 a 49 ejemplares) en comparación a la Línea de Base (sin ejemplares; **Figura N° 12-9**). El flamenco chileno muestra un comportamiento irregular, siendo mayor que la Línea de Base (en las campañas de 2017 y 2019, con 21 y 29 ejemplares, respectivamente), y menor en otras dos campañas; **Figura N° 12-9**). Por último, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo (2 a 28) son menores a la Línea de Base (n = 39) y con una tendencia al decrecimiento (**Figura N° 12-9**). En relación a 2019, la abundancia total de flamencos es mayor que en los inviernos de 2016 a 2018, salvo para la parina chica, con un valor muy bajo.

Figura N° 12-9. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema hidrológico de La Punta y La Brava (campañas de monitoreo invernales). La línea punteada vertical separa los periodos en Línea de Base y Monitoreo.



Fuente: Elaboración propia.

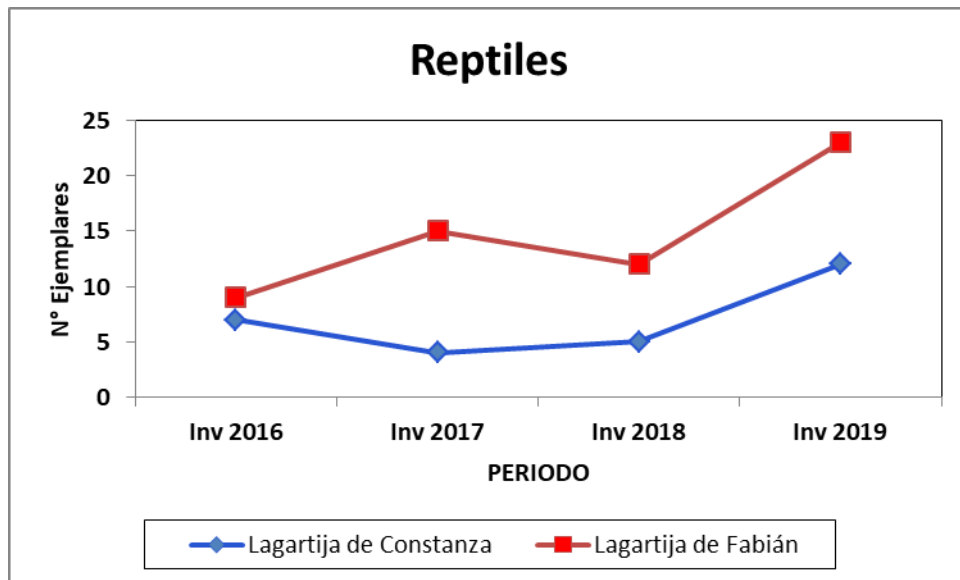
Por lo tanto, las variaciones de abundancia de las tres especies de flamencos muestran que la parina chica es la especie que podría estar disminuyendo sus abundancias (entre las campañas de invierno), pero sólo en el sistema La Punta y La Brava, y con valores absolutos de pocos ejemplares, mientras que en Peine, las abundancias son mayores en el monitoreo que en la Línea de Base (aunque sólo en esta última campaña). El flamenco chileno aumenta en Peine en el monitoreo, mientras que en La Punta y La Brava muestra un comportamiento irregular. Finalmente, la parina grande (dominante en todas las campañas) muestra un patrón más consistente de mayores valores en el monitoreo que en la Línea de Base (en los dos sistemas lagunares).

En resumen, para ambos sistemas acuáticos y en los dos periodos analizados (Línea de Base y monitoreo), las abundancias se comportan de forma variable: muchas 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.

12.2.7.2.2 Reptiles

En el caso de los reptiles, los valores de abundancia son poco comparables, ya que en LB 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 los monitoreos invernales (y para toda el área de estudio), se observa que para la lagartija de Constanza (siempre la especie menos dominante numéricamente), se han contabilizado entre 4 a 12 ejemplares (con el mayor valor en 2019), mientras que en el caso de la lagartija de Fabián, su número ha oscilado entre 9 a 23 ejemplares, con el máximo también en 2019 (**Figura N° 12-10**). Comparando los inviernos, la lagartija de Fabián muestra abundancias similares en invierno 2017 e invierno 2018, las que son mayores a las de invierno 2016, destacando el aumento en el invierno 2019, mientras que la lagartija de Constanza presenta abundancias similares entre los inviernos de 2016 a 2018, con un aumento notorio en 2019.

Figura N° 12-10. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de reptiles registradas en el área de estudio (campañas de monitoreo invernales). Los valores son ejemplares contabilizados en 25 transectos para cada especie.

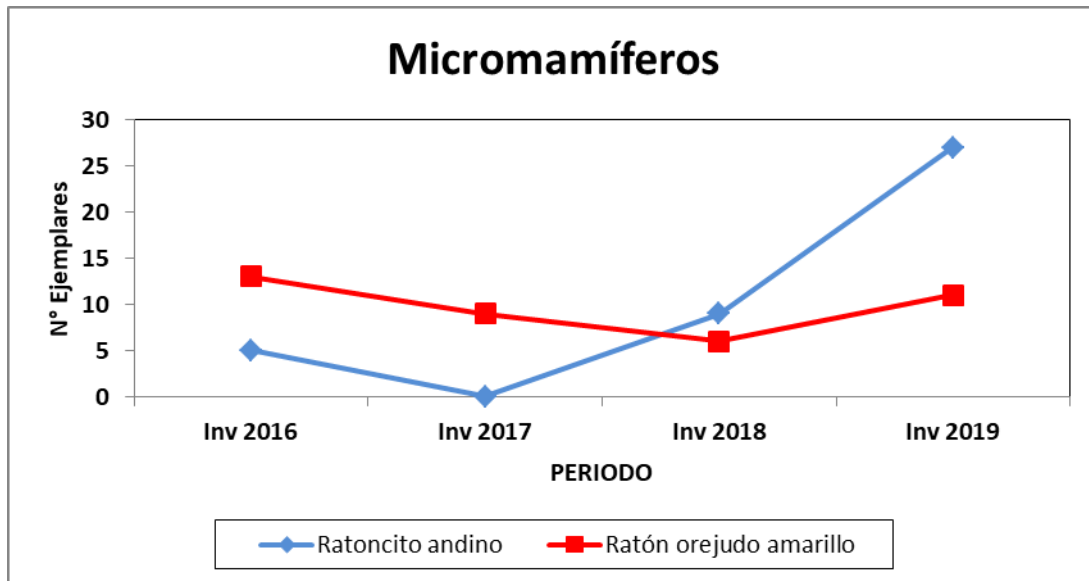


Fuente: Elaboración propia.

12.2.7.2.3 Mamíferos

Finalmente, para los mamíferos la comparación de abundancia tampoco 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 dos micromamíferos más abundantes, comparando su abundancia a lo largo del monitoreo invernal, se observa que el ratoncito andino ha variado significativamente su abundancia, entre 0 a 27 individuos, con un aumento en las últimas campañas, mientras que el ratón orejado amarillo ha variado entre 6 a 13 ejemplares, sin una tendencia temporal notoria (**Figura N° 12-11**). Además, a diferencia de los reptiles, se observa un cambio de dominancia temporal, siendo el ratoncito andino más abundante que el ratón orejado amarillo en las últimas dos campañas invernales, lo opuesto a las dos primera campañas invernales, con dominancia del ratón orejado.

Figura N° 12-11. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de micromamíferos registradas en el área de estudio (campañas de monitoreo invernales). Los valores son ejemplares capturados en 9 puntos de muestreo (con un total de 180 trampas por 3 noches).



Fuente: Elaboración propia.

Si bien en las campañas de monitoreo PMB se agregaron más estaciones de muestreo (9 a las 16 propuestas por la RCA), las comparaciones son igualmente válidas y representativas, sobre todo para las aves en los sectores de las lagunas de La Punta y La Brava, y Peine (Salada, Saladita e Interna), ya que en ellas (por ser lugares abiertos, planos y con baja cobertura vegetal), se realizó más bien un censo que un muestreo, lo que lo hace relativamente independiente del número de puntos (y por lo tanto, las comparaciones son válidas). Por otra parte, en los ambientes terrestres, efectivamente el aumentar el tamaño

muestreal podría implicar un aumento de la probabilidad de registros nuevos, haciéndolo más representativo del área de estudio.

12.3 En relación con Tapetes Microbianos

12.3.1 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 y 2019 el registro llegó al 68% 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 2019, se observaron tres principales tipologías de tapetes, las que corresponden a:

A.-TIPOLOGÍA 1, tapetes que presentan 3 macro-zonas de pigmentación:

- 1 Capas Subsuperficiales de tonalidad verde y/o naranja
- 2 Capas Intermedias de tonalidad rosada y/o púrpura
- 3 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:

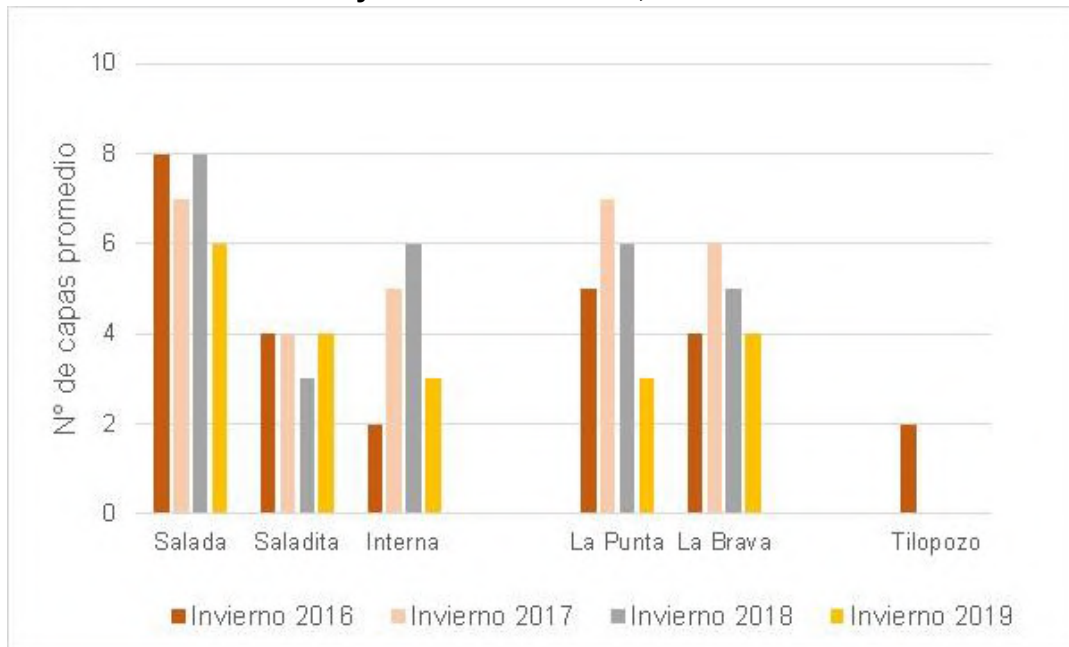
- Capa Subsuperficial de tonalidad verde, rosado y/o naranja

En relación a la estructura de pigmentación en las 4 campañas de monitoreo de invierno (2016, 2017, 2018 y 2019), en tapetes microbianos se observó la presencia de las tres tipologías. Cabe destacar, que la campaña invierno 2019 registró la menor 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 2018, destacan S-6A y S-9 (Laguna Salada), LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1 y LB-3 (Laguna La Brava), donde la detección de tapetes fue principalmente de tapetes Tipología 2 (**Tabla N° 7-13**), a diferencia de campañas anteriores

(invierno 2016 a 2018) en las cuales se registraron principalmente tapetes Tipología 1 (**Tabla N° 12-16**).

El número de capas promedio de los tapetes observados por sistema lagunar, disminuyó en invierno 2019, específicamente en Laguna Salada, Interna y La Punta, respecto de las campañas de invierno anteriores (**Figura N° 12-12**). En específico en Peine, Laguna Salada mostró una disminución en el número de capas promedio (6) en invierno de 2019, respecto a invierno 2018 (8). En Laguna Interna, el número promedio de capas iba en constante aumento (6 capas promedio en invierno 2018), sin embargo, disminuyó a 3 capas promedio en invierno 2019. La Laguna Saladita no ha registrado mayores cambios, mostrando casi invariablemente 4 capas promedio. En el Sector La Punta-La Brava, se observa una caída constante en el número de capas promedio, tanto en La Punta (3) como en La Brava (4), respecto de los años anteriores, especialmente invierno 2018 donde se registraron 6 y 5 capas promedio, respectivamente (**Figura N° 12-12**).

Figura N° 12-12. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine y La Punta-La Brava, invierno 2016 a 2019.



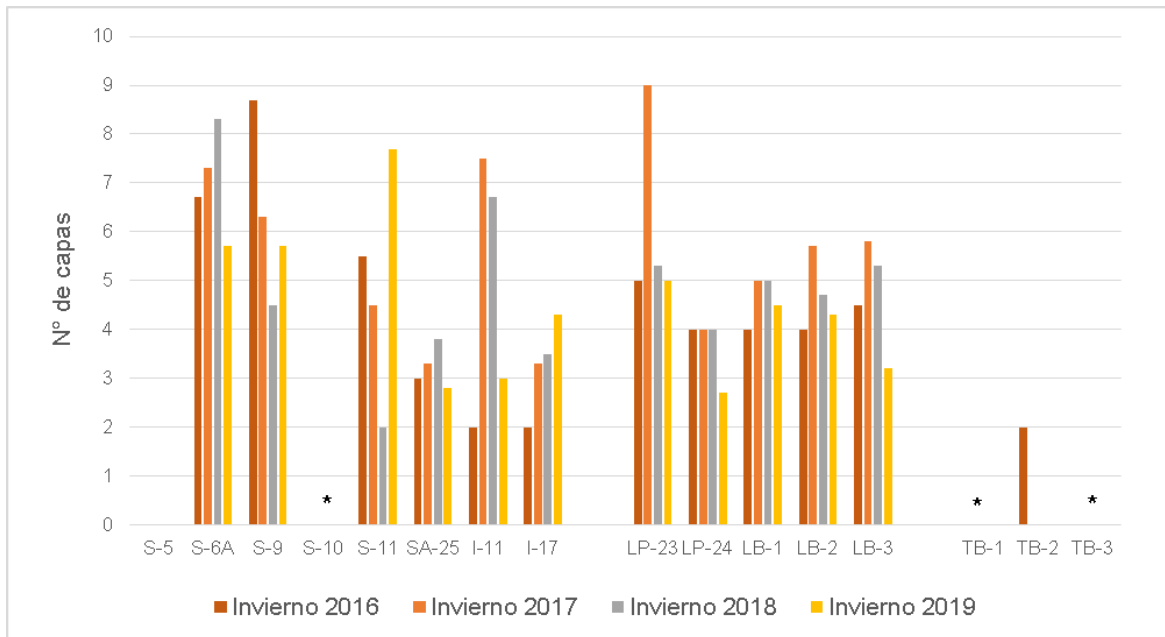
Fuente: Elaboración propia

Al comparar el número de capas promedio por estación de monitoreo (invierno 2019), se puede ver que, en Laguna Salada, la estación S-6A tuvo una caída respecto a los años anteriores que mostraban un sostenido aumento en el número de capas (de 8,3 en invierno 2018 a 5,7 capas promedio en invierno 2019), mientras que en la estación S-9, se notó un leve aumento de este parámetro, que en invierno 2018 fue de 4,5, y que ascendió a 5,7 capas promedio en invierno 2019. De este modo, en Laguna Saladita, se pudo apreciar un aumento en el número de capas promedio en el punto de monitoreo S-11, ya que se venía dando una disminución sistemática de este parámetro en este punto, pasando de 2 capas

(invierno de 2018) a 7,7 capas (invierno 2019). No obstante, en el punto SA-25 se advirtió una leve disminución del número de capas, cuyo valor fue de 3,8 capas en invierno de 2018 y 2,8 capas en invierno de 2019. Finalmente, en Laguna Interna, se puede observar que hubo una drástica caída del número de capas en I-11 pasando de 6,7 (invierno 2018) a 3 capas (invierno 2019), por otro lado, en I-17 se ha observado un aumento sostenido del número de capas, aumentando levemente desde 3,5 (invierno 2018) a 4,3 capas promedio (invierno 2019) (**Figura N° 12-13**).

En los tapetes microbianos de las lagunas La Punta y La Brava, se observó una disminución leve pero sostenida del número de capas promedio. En el punto de monitoreo LP-23 y LP-24, disminuyó a 5 y 2,7 capas, respectivamente (invierno 2019), siendo que, en invierno de 2018, se observaron 5,3 y 4 capas, respectivamente. En LB-1 y LB-2 el número de capas promedio disminuyó 0,5 respecto a invierno 2018, por lo que, en el mismo período de 2019, el número de capas fue de 4,5 y 4,3, respectivamente. Una disminución más drástica tuvo la estación LB-3, cuyos tapetes pasaron de poseer 5,3 capas (invierno 2018) a 3,2 capas (invierno 2019) (**Figura N° 12-13**).

Figura N° 12-13. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo, invierno 2016 a 2019.



(*) 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 cuatro 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-2), observados en invierno de 2017, 2018 y 2019.

12.3.2 Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos

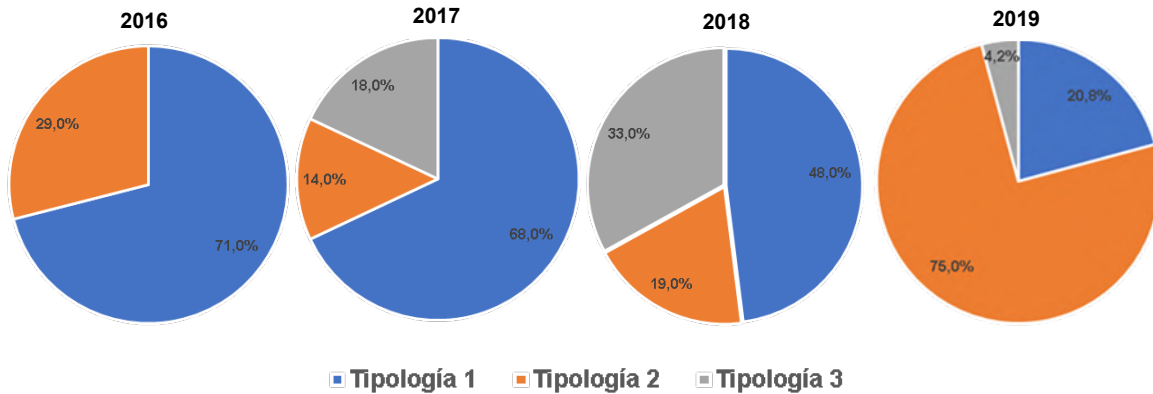
A continuación, se discuten los aspectos más relevantes referidos a la estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos según cada sector en los monitoreos semestrales de invierno realizados en 2016, 2017, 2018 y 2019.

12.3.2.1 Sector Peine

La Laguna Salada, presentó durante las cuatro campañas de invierno (2016, 2017, 2018, 2019) tapetes de Tipología 1 (**Tabla N° 12-16**), sin embargo la detección de este tipo de tapete disminuye al comparar, de manera sucesiva, las campañas de invierno a diferencia de los tapetes de Tipología 2, que habiendo disminuido en 2017, respecto a 2016, aumentan sucesivamente entre 2017 y 2019. Lo anterior, se explica por lo observado en las estaciones de monitoreo S-6A, S-9 y parcialmente en SA-25 e I-11 donde se detectaron, principalmente, tapetes de Tipología 2 (**Tabla N° 7-13**), a diferencia de campañas anteriores (invierno 2016, 2017 y/o 2018) (**Tabla N° 12-16**) donde en estas estaciones se detectaron principalmente tapetes Tipología 1.

En el sector Peine, se observó una estabilidad en la presencia de tapetes de Tipología 1 entre los inviernos 2016 y 2018, sin embargo, se ve una disminución de 29,2% en invierno de 2019, respecto a invierno de 2016. En cuanto a Tipología 2, en invierno 2019 se observó un aumento de 69% respecto al mismo período de 2016, mostrando un aumento sostenido tanto en invierno 2017 y 2018 (8 y 13%, respectivamente). Cabe destacar que la Tipología 3 presentó una disminución paulatina entre invierno 2016 y 2018, con una disminución de 11%, mientras que en invierno 2019, este valor disminuyó a 39,8% (**Figura N° 12-14**).

Figura N° 12-14. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine, invierno 2016, 2017, 2018, 2019.



Fuente: Elaboración propia

En Laguna Salada, los registros históricos de tapetes microbianos (invierno 2016 a 2018) mostraron la Tipología 1 (**Tabla N° 12-16**), sin embargo, en invierno de 2019, no se evidenció esta tipología, siendo ahora predominante la Tipología 2, desapareciendo principalmente, las capas verde y naranja de la macro-zona subsuperficial. Esta disminución en las primeras capas de los tapetes microbianos, la cual se mantuvo estable en los inviernos anteriores, podría sugerir un cambio en las condiciones ambientales de la laguna, debido a que los tapetes de Tipología 1 son estables en el tiempo (Madigan et al., 2009).

Tabla N° 12-16. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, inviernos 2016 a 2019.

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		
Macro-zona	Subsuperficial	Rosado																				
		Blanco																				
		Gris																				
		Verde opaco																				
		Naranja																				
		Amarillo																				
		Verde																				
		Verde claro																				
		Verde oscuro																				
		Verde opaco claro																				
		Naranja claro																				
		Amarillo claro																				
		Intermedia	Blanco																			
			Rosado																			
	Rosado claro																					
	Purpura																					
	Profunda	Naranja claro																				
		Naranja																				
		Verde opaco																				
		Verde opaco claro																				
		Verde oscuro																				
		Verde opaco oscuro																				
		Blanco																				
		Marrón																				
		Marrón claro																				
		Marrón oscuro																				
		Marrón opaco																				
Marrón morado																						

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
	Marrón oscuro																		
	Púrpura																		
	Rosado gris																		
	Gris																		
	Gris claro																		
	Verde amarillo																		
	Marrón naranja																		
	Rosado																		
	Negro																		

Fuente: Elaboración propia

En Laguna Saladita, los tapetes de Tipología 1 fueron observados en SA-25 y S-11. Durante invierno 2018, no se habían registrado tapetes de Tipología 1, en SA-25 (tapetes coriáceos), inclusive, esta estación mostró tapetes de Tipología 3, los cuales habían perdido las macrozonas Intermedia y Profunda; a diferencia de los inviernos 2016 y 2017, donde si se evidenciaba la Tipología 1, similar a invierno 2019. Las capas principales que mostró esta estación fueron verde y naranja, mientras que recuperó las capas rosada y marrón (macrozona Intermedia y Profunda, respectivamente) (**Tabla N° 12-17**).

El evidente cambio en la proporción de tipologías, sugiere algún cambio ambiental en la estación, antes o durante la campaña invierno 2018, que haya influido en la pérdida de estas capas, la que en la presente campaña 2019 se han vuelto a restituir. Por otro lado, similar caso se observó en S-11, donde en invierno de 2018, se observó la pérdida de las capas Intermedias (rosada y púrpura), mostrando la Tipología 3. En invierno de 2019, se puede observar que recupera parte de las capas perdidas, principalmente rosada y púrpura (zona intermedia) y la capa marrón (zona profunda), volviendo a las Tipologías 1 y 2, estructura que mostró en invierno 2016 (**Tabla N° 12-17**). Estos antecedentes, muestran que hubo una estabilidad en la conformación de los tapetes microbianos durante los inviernos 2016 y 2017, mientras que algún efecto ocurrió en 2018, donde esta estructura estable cambió radicalmente. Posteriormente, en invierno 2019, se observó que la estructura de estos tapetes microbianos se ha ido restituyendo gradualmente. Estos antecedentes, muestran que hubo una estabilidad en la conformación de los tapetes microbianos durante los inviernos 2016 y 2017, mostrándose sin cambios en cuanto a tipología, mientras que algún efecto ocurrió en 2018, donde esta estructura estable registró cambios. Posteriormente, en invierno 2019, se observó que la estructura de estos tapetes microbianos se ha ido restituyendo gradualmente a morfologías y tipologías similares a invierno 2017. Cabe destacar, que esta restitución se ha detectado sólo en esta campaña (invierno 2019), por lo que debería mantenerse en seguimiento en los siguientes monitoreos.

Respecto a Laguna Interna, disminuyó parcialmente la Tipología 1, particularmente en el sitio I-11, donde tanto en los inviernos 2017 como 2018, sobre el 66% de las muestras conformaban la Tipología 1, mientras que en invierno 2019, sólo 1 muestra (33%) poseía esta tipología, perdiendo las capas de la macro-zona Profunda. 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° 12-17**). Cabe destacar que, en invierno de 2016 no se detectó la Tipología 1 en estas estaciones de monitoreo.

Tabla N° 12-17. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2019.

Año/Muestra		Laguna Saladita												Laguna Interna									
		2016			2017				2018	2019				2017			2018			2019			
		S-11			SA-25		S-11		SA-25	SA-25 C		S-11		I-11	I-17	I-11			I-17				
		1	2	3	4	5	1	3	4	3	2	3	1	2	1	2	2	1	2	3	3	2	
Macro-zona	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																							

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes de Tipología 2, presentaron un aumento respecto a los inviernos anteriores. En Laguna Salada, la presencia de esta tipología fue de 100% en ambos sitios (S-6A y S-9), en los que antes predominaba la Tipología 1, desapareciendo principalmente las capas verdes y naranja de la macro-zona subsuperficial (**Tabla N° 12-18**).

Similar efecto se aprecia en Laguna Saladita, donde aumenta la Tipología 2 respecto a los inviernos anteriores. En los tapetes superficiales planos de SA-25, desaparece la macro-zona subsuperficial, mostrando todos ellos esta tipología. Sólo un tapete coriáceo en esta estación, mostró la Tipología 2, en la cual predominó la tonalidad verde (macro-zona subsuperficial) y púrpura (macro-zona intermedia). Respecto a S-11, sólo se halló un tapete de Tipología 2, predominando la Tipología 1, lo cual se corresponde con los inviernos de años anteriores (**Tabla N° 12-18**).

En Laguna Interna, se evidencia un amplio aumento de tapetes de Tipología 2 en la estación de monitoreo I-11, respecto a inviernos anteriores, los cuales han perdido la macro-zona Profunda. La estación de monitoreo I-17 no varió mayormente, el cual a lo largo de los inviernos anteriores ha mostrado la Tipología 2 (**Tabla N° 12-18**).

Tabla N° 12-18. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2019. (S/C: sin capas pigmentadas).

Año/Muestra		Salada									Saladita						Interna											
		2018		2019						2016	2017	2018		2019			2017		2018		2019							
		S-9		S-6A			S-9			SA-25	S-11	S-11	S-11	SA-25 C	SA-25 P			I-17	I-17	I-11 C		I-11 P		I-17 P				
		2	4	1	2	3	1	2	3	3	2	3	3	1	1	2	3	1	3	2	1	3	1	3	1	2	3	
Macro-zona	Subsuperficial	Naranja	█									█							█	█	█							
		Verde	█								█	█	█	█					█	█	█			█	█			
		Verde claro										█																
		Verde amarillo									█																	
		Verde oscuro		S/C								█		█							█	█						
		Naranja claro																		█								
		Amarillo claro	█									█									█							
		Blanco			█							█									█							
	Rosado		S/C	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Verde																								█	█	█	█
	Naranja														█	█								█	█	█	█	█
	Amarillo																					█				█	█	█
	Púrpura			█	█	█	█				█	█	█	█						█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Profunda	Verde oscuro		█		█																						
		Marrón	█		█	█		█	█	█																		
		Amarillo									S/C	S/C	S/C							S/C	S/C					█	█	█
		Púrpura																									█	█
		Verde claro														█												
		Verde															█	█								█		

Fuente: Elaboración propia
 (s/c: sin capas)

Respecto a Tipología 3, sólo un tapete mostró esta tipología en invierno 2019 y fue en laguna Interna (I-11), el cual exhibió sólo la zona intermedia, con una tonalidad blanca y amarilla (**Tabla N° 12-19**).

Tabla N° 12-19. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas Saladita e Interna, inviernos 2016 a 2019.

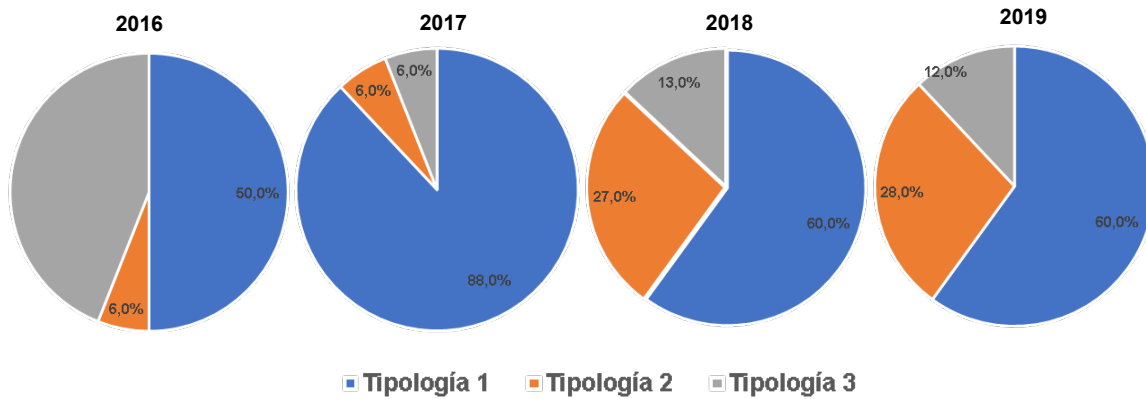
Año/Muestra		Saladita										Interna										
		2016		2017				2018				2016				2018		2019				
		SA-25		SA-25				SA-25		S-11		I-11		I-17				I-17		I-11 C		
		1	2	1	2	3	6	1	2	4	1	2	1	2	1	2	3	4	1	2		
Macro-zona	Subsuperficial	Rosado																				
		Blanco																				
		Rosado claro																				
		Naranja																				
		Amarillo																				
		Verde																				
		Verde claro																				
		Naranja claro																				
		Marrón claro																				
		Amarillo claro																				
		Inter	Blanco																			
			Amarillo																			

Fuente: Elaboración propia

12.3.2.2 Sector La Punta-La Brava

El Sector La Punta-La Brava, presentó durante las campañas de invierno 2016, 2017 y 2018, tapetes de Tipología 1, sin embargo, estos disminuyeron en invierno de 2019, aumentando los tapetes de Tipología 2 y Tipología 3. La disminución de los tapetes de Tipología 1, posiblemente se debe a la disminución tanto en LP-24 (~66% de disminución), como en LB-1 y LB-3 (~66 y ~90% de disminución, respectivamente), lo cual llevó a un aumento de la Tipología 2 y un leve aumento en la Tipología 3. Concretamente, en invierno de 2019, los tapetes de Tipología 2 representaron un 60%, significando un aumento del 31% respecto de invierno 2016 y también se evidenció una notable disminución en la Tipología 1 (28%), es decir, una disminución de 43%, respecto de invierno 2016 y de 60% respecto a invierno 2017. Por otro lado, la Tipología 3 no varió respecto a invierno 2018, aunque si se refleja un aumento de 12% en invierno 2019, respecto a 2016 (**Figura N° 12-15**).

Figura N° 12-15. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava, campañas de invierno 2016, 2017, 2018, 2019.



Fuente: Elaboración propia

En Laguna La Punta, los tapetes de Tipología 1 disminuyeron, siendo detectados sólo en la estación de monitoreo LP-23 (66%) lo cual concuerda con lo observado en campañas de invierno anteriores (2016 a 2018) donde también se han hallado en, al menos, el 66% de los tapetes muestreados (**Tabla N° 12-20**).

No obstante, en la estación de monitoreo LP-24 no se detectaron tapetes de Tipología 1 (ni sumergidos, ni superficiales planos), a diferencia de las campañas de invierno anteriores, donde se detectaron entre el 33 y 66% de las muestras (**Tabla N° 12-20**).

Tabla N° 12-20. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, inviernos 2016 a 2019.

Año/Muestra		La Punta													
		2016			2017				2018			2019			
		LP-23		LP-24	LP-23		LP-24		LP-23		LP-24	LP-23			
		2	3	1	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	
Macro-zona	Subsuperficial	Naranja													
		Verde													
		Verde claro													
		Verde oscuro													
		Verde opaco claro													
		Amarillo claro													
	Intermedia	Blanco													
		Rosado													
		Rosado claro													
		Verde opaco claro													
		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 Laguna La Brava, también disminuyó la cantidad de tapetes de Tipología 1. En LB-1 no se detectaron tapetes con esta tipología, a diferencia de las campañas de invierno anteriores donde en, al menos, el 66% de las muestras presentaban Tipología 1. En LB-2 se observó un patrón más estable, mostrando, al igual que en años anteriores (invierno 2016 a 2018), la Tipología 1 en el 66% de las muestras. Por otro lado, no se hallaron tapetes de Tipología 1 en LB-3, mientras que, en las campañas de invierno anteriores (2016 a 2018), esta tipología predominó en casi un 100% (Tabla N° 12-21 y Tabla N° 12-22).

Tabla N° 12-21. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2019. (S/C: sin capas pigmentadas).

Año/Muestra		La Brava														
		2016		2017			2018		2016		2017		2018		2019	
		LB-1		LB-1			LB-1		LB-2		LB-2		LB-2		LB-2	
		2	3	1	2	3	1	2	1	3	1	3	1	3	1	1
Macro-zona	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														
		Verde														
Verde claro																

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12-22 (cont.). Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, inviernos 2016 a 2019. (S/C: sin capas pigmentadas).

Año/Muestra		La Brava												
		2016					2017					2018		
		LB-3					LB-3					LB-3		
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	3	
Macro-zona	Subsuperficial	Rosado												
		Verde opaco												
		Naranja												
		Verde												
		Verde claro												
		Verde oscuro												
		Marrón claro												
	Intermed	Blanco												
		Rosado												
		Purpura												
	Profund	Verde opaco claro												
		Verde opaco oscuro												
		Marrón												

Año/Muestra		La Brava											
		2016					2017					2018	
		LB-3					LB-3					LB-3	
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	3
	Marrón claro												
	Marrón morado												
	Marrón oscuro												
	Púrpura												
	Rosado gris												
	Verde												
	Café naranja												
	Amarillo claro												
	Negro												

Fuente: Elaboración propia

En Laguna La Punta, los tapetes de Tipología 2 fueron hallados, principalmente, en LP-24, tanto en los tapetes superficiales sumergidos coriáceos como tapetes superficiales planos, en ambos casos fueron detectados en el 66% de las muestras. Dado que estos tapetes, habían mostrado la Tipología 1 en campañas de invierno anteriores, se pudo observar que han perdido las capas de la macro-zona Subsuperficial (verde y/o naranja) y/o Profunda (marrón). Si bien, existe esta variación en las tipologías, en este sector se ha detectado, en otras campañas de invierno, al menos una muestra con Tipología 2, particularmente en la estación LP-23, mientras que en LP-24 no se había detectado antes la tipología 2 (**Tabla N° 12-23**).

En relación a Laguna La Brava, hubo un aumento de los tapetes de Tipología 2, particularmente en LB-1 y LB-3. En LB-1, la prevalencia de la Tipología 2, fue cercano al 83% (entre tapetes coriáceos y tapetes superficiales planos). A diferencia de los inviernos anteriores, donde mostraban Tipología 1, al menos en el 66% de las muestras tomadas. En este caso, se observa la pérdida de la macro-zona Profunda (tonalidad marrón) en los tapetes coriáceos, mientras que, en los tapetes superficiales planos, la pérdida fue de la macro-zona Intermedia (tonalidad rosada) (**Tabla N° 12-23**).

El sitio LB-2 también mostró un leve aumento de la Tipología 2, particularmente en los tapetes planos superficiales (66% de las muestras), si bien, en inviernos anteriores, el 66% de las muestras tomadas se correspondieron con la Tipología 1 (**Tabla N° 12-23**).

En LB-3, hubo una evidente baja en los tapetes de Tipología 1 y un aumento en la Tipología 2, donde cerca del 83% de las muestras tomadas correspondió a esta última. En inviernos anteriores, en esta estación de monitoreo prevalecía casi en un 100% la Tipología 1, por lo que este cambio, podría indicar un cambio en la conformación de los tapetes microbianos, luego de invierno de 2018. En este caso, se observa la pérdida de las capas de las macro-zonas Intermedia (rosado y/o púrpura) o Profunda (marrón) (**Tabla N° 12-23**).

Tabla N° 12-23. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta y La Brava, para los inviernos 2016 a 2019. (S/C: sin capas pigmentadas).

Año/Muestra		La Punta										La Brava																		
		2016		2018		2019						2016		2017		2018				2019										
		LP-23	LP-23	LP-23	LP-24 P	LP-24 C		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					
		1	3	1	1	2	1	2	1	4	2	2	2	2	2	4	1	3	1	2	3	2	3	2	1	2	3	2	3	
Macro-zona	Subsuperficial	Blanco		S/c																										
		Naranja																												
		Amarillo																												
		Verde																												
		Verde claro																												
		Verde oscuro																												
	Intermedia	Blanco																												
		Rosado																												
		Rosado claro																												
		Purpura																												
Profunda	Verde claro																													
	Amarillo claro	S/C																												
	Marrón																													

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a Tipología 3, Laguna La Punta exhibió sólo un tapete con esta tipología, que se corresponde con campañas de invierno anteriores. En cuanto a Laguna La Brava, las estaciones LB-1 y LB-3 mostraron esta tipología. Es este caso, es posible que estas estaciones no sólo estén perdiendo tapetes de Tipología 1, si no que, la Tipología 2 también esté cambiando y progresando a una Tipología 3, esto debido a que en invierno de 2018, comenzó a detectarse esta tipología en La Brava (Tabla N° 12-24).

Tabla N° 12-24. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava, inviernos 2016 a 2019. (S/C: sin capas pigmentadas).

Año/Muestra			La Punta			La Brava		
			2017	2018	2019	2018	2019	
			LP-24	LP-24	LP-24 P	LB-1	LB-1 P	LB-3 C
			2	2	3	3	2	1
Macro-zona	Subsuperficial	Rosado						
		Blanco						
		Rosado claro						
		Naranja						
		Amarillo						
		Verde						
		Verde claro						
		Naranja claro						
		Marrón claro						
		Amarillo claro						

Fuente: Elaboración propia

12.3.2.3 Sector Tilopozo

Este sector solo presentó tapetes microbianos en la campaña de invierno 2016 (Tabla N° 12-25). Se ha observado, que el sector presenta cambios temporales respecto a la disponibilidad de agua. Entre la campaña verano 2019 e invierno 2019, la estación TB-2, presentó ausencia de agua superficial respecto a campañas de monitoreo anteriores.

Tabla N° 12-25. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo, inviernos 2016 a 2019. (S/C: sin capas pigmentadas).

Año/Muestra			Tilopozo			
			2016	2017	2018	2019
			TB-2	-	-	-
			1	-	-	-
Macro-zona	Subsuperficial	Blanco				
		Naranja		S/C	S/C	S/C
		Amarillo				

Año/Muestra		Tilopozo			
		2016	2017	2018	2019
		TB-2	-	-	-
		1	-	-	-
Intermedia	Verde				
	Verde claro				
	Verde oscuro				
Profunda	Blanco				
	Rosado				
	Rosado claro				
	Purpura				
Profunda	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 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 2019), 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 aumentando las salinidades y disminuyendo el oxígeno disuelto en Peine (Laguna Interna), y por otro lado se ha observado la disminución de los niveles hídricos y la retrotracción del espejo de agua en otros sectores (La Brava), situaciones que en su conjunto podrían estar afectando las tasas de fotosíntesis y la diversidad de tipologías de los tapetes microbianos.

12.3.3 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para invierno 2016, 2017, 2018 y 2019 (**Tabla N° 12-26**) 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 2019, 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° 12-26. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, invierno 2016, 2017, 2018 y 2019.

Estación de Monitoreo	Registro visual							
	Microbialito				Evaporita			
	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019
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

12.4 En relación con Suelo o Sustrato

En el siguiente acápite se analizan los resultados de laboratorio del presente monitoreo (invierno 2019), como también el comportamiento de los parámetros entre los monitoreos invierno 2016 (en adelante M1), invierno 2017 (en adelante M3), invierno 2018 (en adelante M5) e invierno 2019 (en adelante M7), además del nivel freático observado en terreno. 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.

12.4.1 Análisis de resultados campaña invierno 2019

En el **Anexo 2 Suelo o Sustrato**, se presenta el detalle de resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros evaluados para suelo, presentando información de los 7 monitoreos (3 estivales y 4 invernales), no obstante en la discusión siguiente se analiza la evolución estacional de los valores enfocada en los monitoreos de invierno.

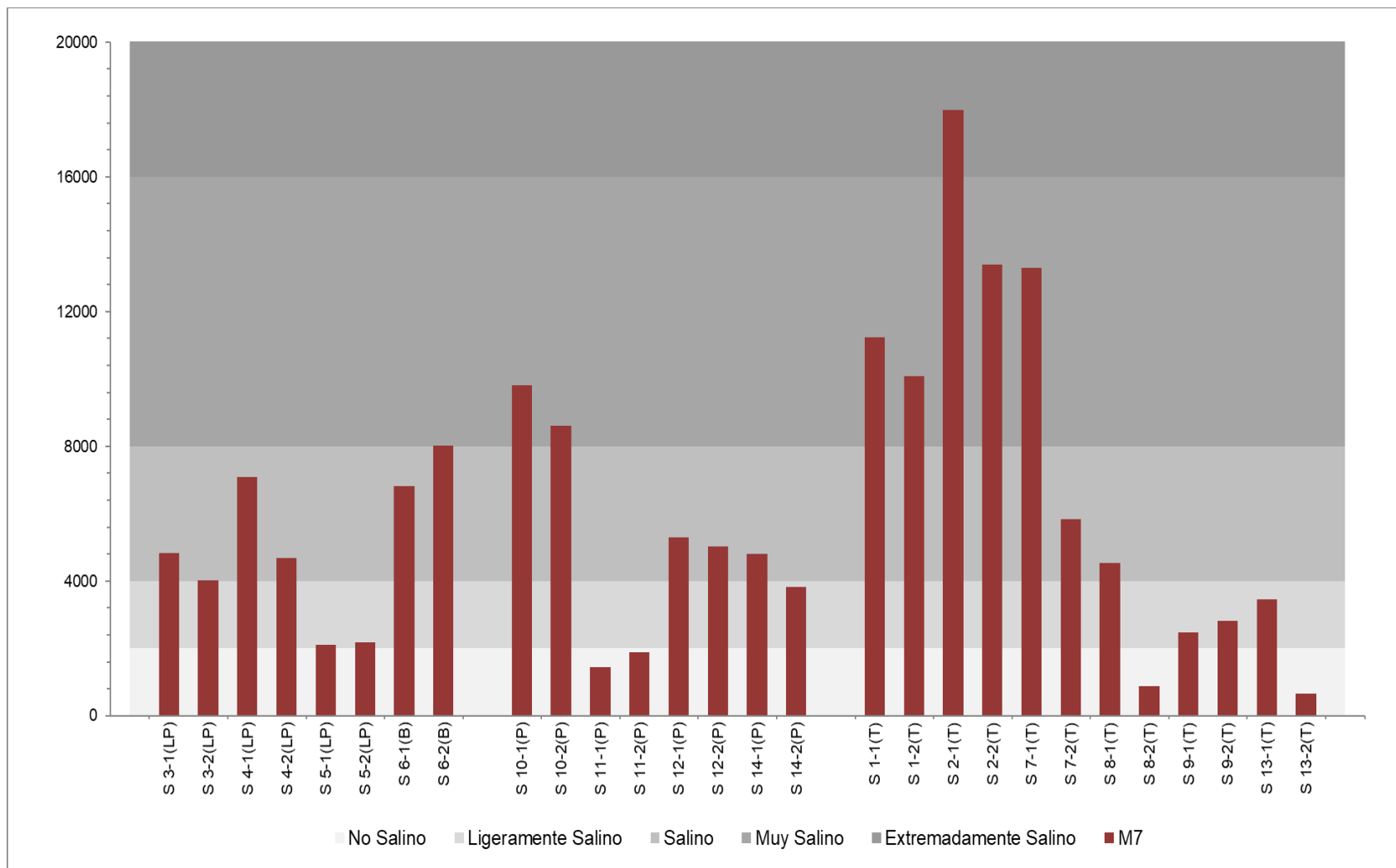
12.4.1.1 Conductividad Eléctrica

En el área de estudio, los suelos **salinos** son los de mayor frecuencia (35,7%), luego se presentan los suelos **muy salinos** (25,0%), en tercer lugar se encuentran los **ligeramente salinos** (21,4%), con un 14,3% participan los suelos **no salinos**, y los suelos con una menor participación corresponden a los **extremadamente salino** (3,6%), ver Figura N° 12-16.

Respecto a la conductividad eléctrica y su distribución en el área, no se observa una relación directa, por cuanto en un mismo sector la variación numérica es amplia, es así como el valor mínimo del área de estudio se presenta en el punto S 13-2 (Tilopozo) con 654,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$., como también el máximo en el punto S 2-1, donde la concentración asciende a 17.990 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Situación similar ocurre para S 11-1 y S 10-1 en **Peine**, como también S 5-1 y S 6-2 en **La Punta-La Brava**, pero con un rango menor, lo cual está relacionado directamente con el origen de los materiales que conforman los distintos tipos de suelos que conforman el área de estudio (Figura N° 12-16.).

Tal como se aprecia en la Figura N° 12-16. , en el sector **La Punta-La Brava**, sólo en el punto S 6 la categoría de salinidad aumenta en profundidad y se mantiene en los restantes puntos de muestreo, situación similar ocurre en **Peine**, donde en el punto S 14 la salinidad disminuye en profundidad. En cambio, en **Tilopozo** en 2 puntos se mantiene la categoría (S 1 y S 9), en igual número de muestreos la salinidad disminuye en profundidad (S 13 y S 2) y en las restantes (S 8 y S 7) aumenta en profundidad.

Figura N° 12-16. Resultados Determinación Conductividad Eléctrica (µS/cm).



12.4.1.2 Materia orgánica

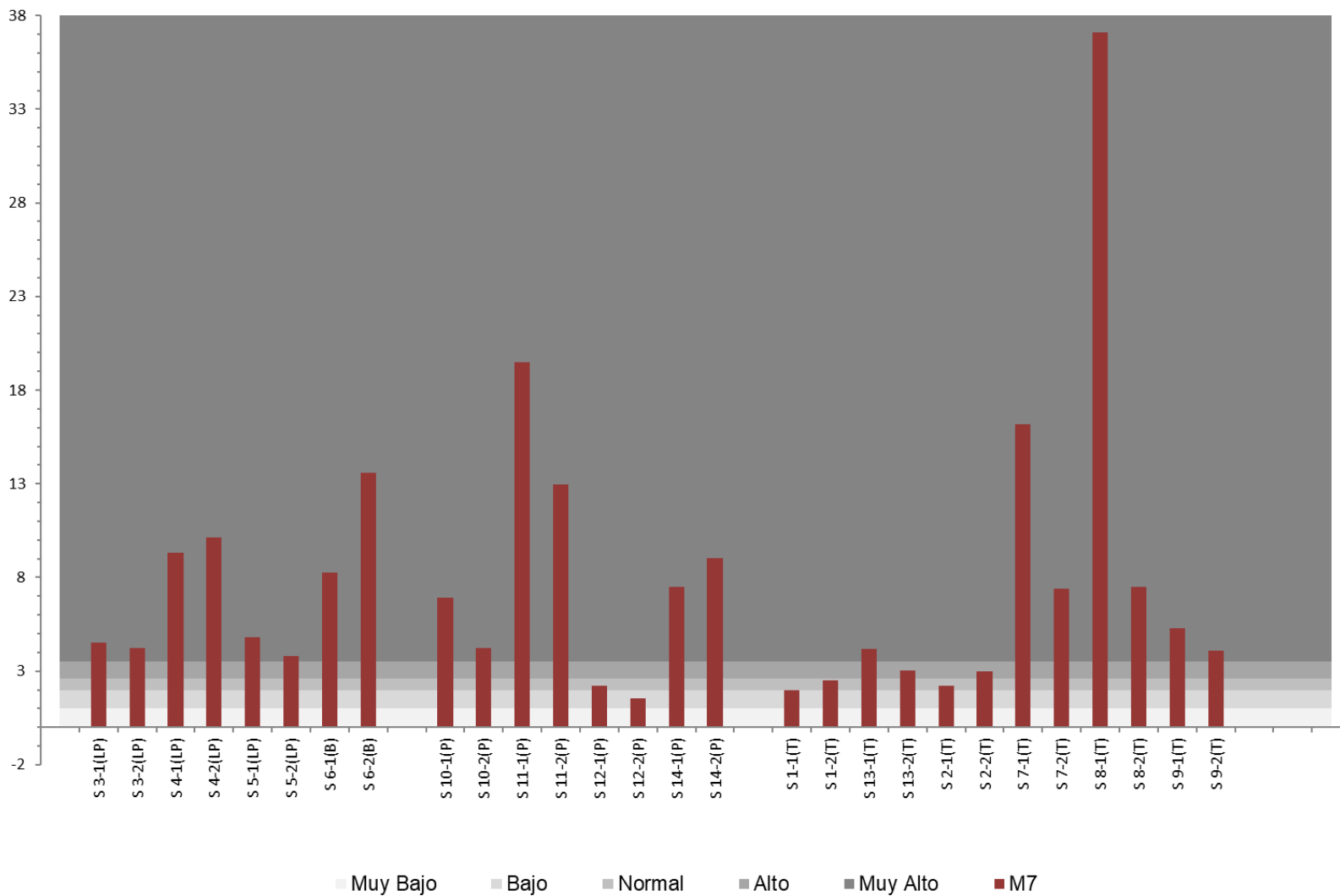
En el área de estudio, los suelos con una disponibilidad **muy alta** de materia orgánica son los de mayor frecuencia (75,1%), luego se encuentran los suelos con disponibilidad **normal** (10,7%) y finalmente, se presentan aquellos donde la materia orgánica es **baja y alta** (7,1%), destacando la ausencia de suelos donde la materia orgánica es **muy baja**, ver **Figura N° 12-17**.

En el sector de **La Punta-La Brava**, en la totalidad de los puntos de muestreo el porcentaje de materia orgánica es mayor en profundidad respecto al muestreo superficial, y en la mayoría de ellos la diferencia en los porcentajes para un mismo punto es mínima, excepto en el puntos S 6, donde el muestreo en profundidad es mayor en un 5,36% respecto al superficial (**Figura N° 12-17**).

Tal como se observa en la **Figura N° 12-17**, en el sector de **Peine**, se presenta una alta variación en los porcentajes de materia orgánica entre los diferentes puntos, y en general los muestreos realizados en profundidad presentan valores inferiores a los muestreos superficiales, excepto en puntos S 14. Destacan los puntos S 11 y S 12, donde se presentan los valores mayores y menores, respectivamente, el primero de estos puntos se asocia a una vega y el segundo a suelos aluviales recientes.

En el sector **Tilopozo** se observa una amplia variación en los porcentajes de materia orgánica entre los diferentes muestreos, no existiendo una relación entre el porcentaje y la profundidad de muestreo (**Figura N° 12-17**). Sin embargo, destacan los punto S 7 y S 8, con los valores más altos de materia orgánica, los cuales se asocian a suelos del tipo vega, es decir, con presencia de abundantes restos vegetales, y los menores valores se presentan en los puntos S 1 y S 2, ambos asociados a suelos aluviales recientes y muy escasa cobertura vegetal.

Figura N° 12-17. Resultados determinación Concentración de Materia orgánica (%).



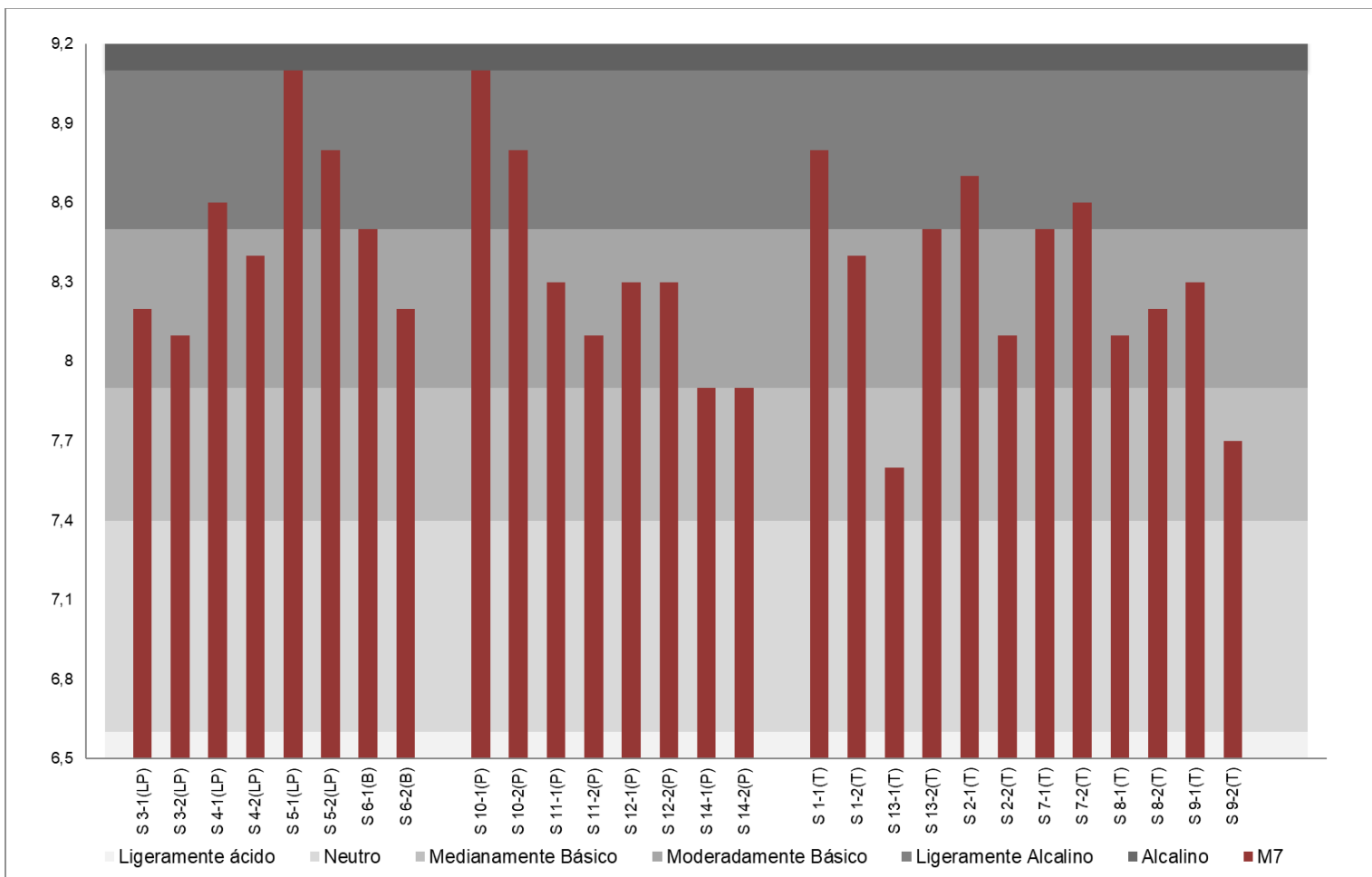
12.4.1.3 pH

En el área de estudio, dominan tanto los suelos con un pH **moderadamente básico** (53,7% del total) como **ligeramente alcalino** (32,1% de los muestreos), siendo escasos los suelos cuyo pH es **alcalino** y **medianamente básico**, ver **Figura N° 12-18**.

En **La Punta-La Brava**, sólo el punto S 3 mantiene la categoría de pH en el perfil de suelo y en los restantes puntos, se observa una disminución de éste en profundidad. En cambio, en **Peine** se determina un cambio de categoría en el punto S 10, disminuyendo de **alcalino** a **ligeramente alcalino** en profundidad, y en lo restante puntos se mantiene la categoría de pH en el perfil. Mientras que, en **Tilopozo** la categoría se mantiene en los puntos S 7 y S 8, y en la mayoría de los puntos restantes, se determina una disminución del pH en profundidad (S 1, S 2 y S 9), ver **Figura N° 12-18**.

En el área de estudio, el pH presenta una variabilidad entre sectores, dentro del sector e incluso en el perfil, por lo que este parámetro no está en función del sector o del punto de muestreo, esto dado que se encuentra en función principalmente del material parental, vegetación, hidrología y manejo cultural del área (riego, fertilizantes y otros), y que en el caso específico del área de estudio se debe principalmente a las condiciones hídricas y material parental.

Figura N° 12-18. Resultados determinación pH.



12.4.1.4 Salinidad

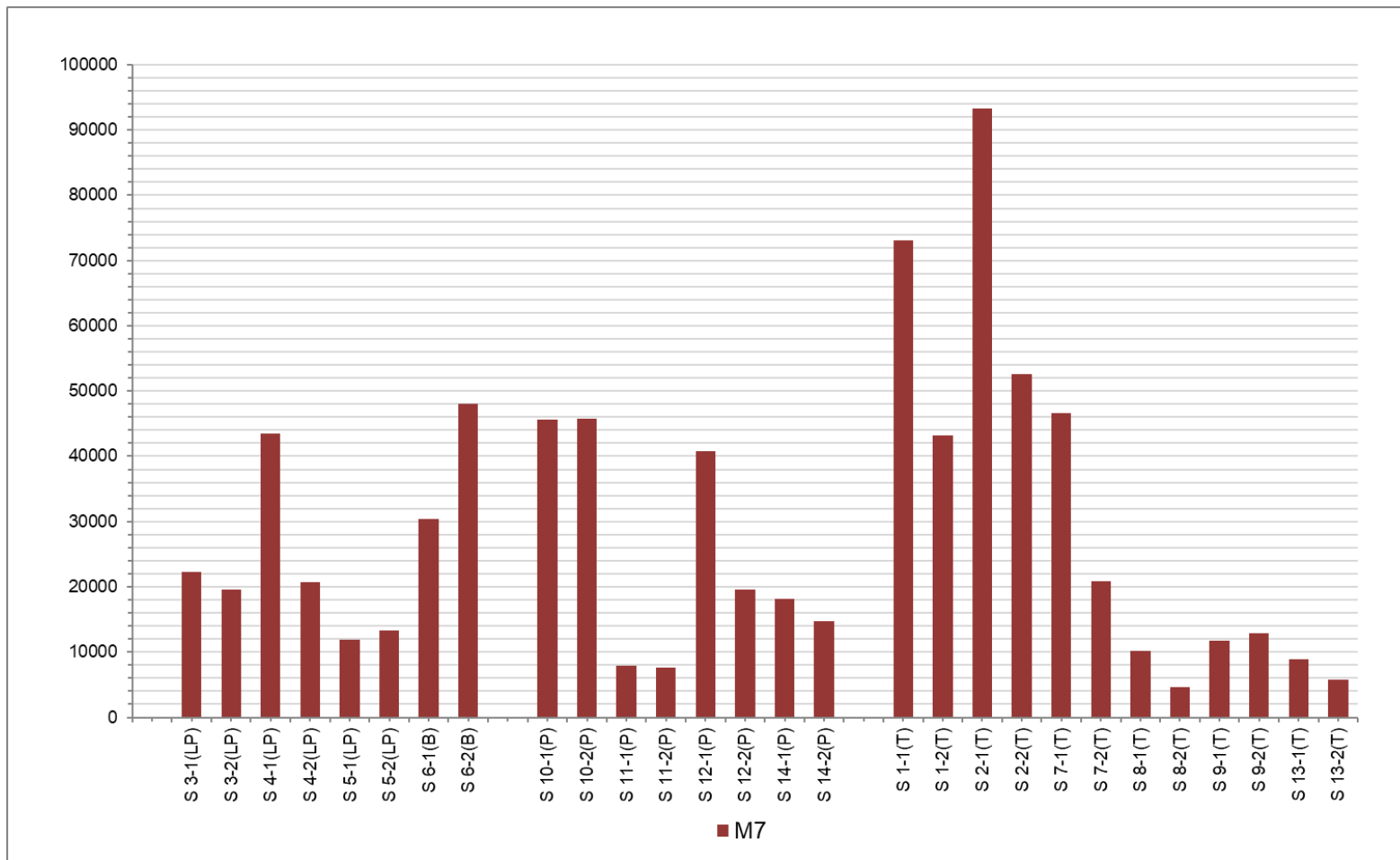
Tal como se observa en la **Figura N° 12-19**, para el área de estudio los contenidos de sales varían de 4.596 a 93.267 mg/kg.

En el sector de **La Punta-La Brava**, los puntos S 6 y S 4 se caracterizan por presentar una amplia variación en la concentración de sales en el perfil y en los restantes ésta es menor. En general, no se observa una relación entre la localización de los puntos y la concentración de sales, es así que el puntos S 5 localizado en el sector de las lagunas, presenta la menor concentración del sector, mientras que S 4 y S 6, los cuales se sitúan en el mismo sistema lagunas, presentan las más altas concentraciones.

En el sector **Peine** la mayoría de los puntos la concentración de sales es similar tanto en superficie como en profundidad, destacando el punto S 11 con la menor concentración el cual se asocia a un humedal, este alto contenido hídrico permite mantener en profundidad las sales, evitando su ascenso por capilaridad. Situación opuesta ocurre en el punto S 10, donde se determinó la mayor concentración de sales, y que está asociado a un suelo de textura muy gruesa (arenal) lo que facilita la ascensión de las sales por evaporación.

En el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos de muestreo se presenta una amplia variación de la concentración de sales, siendo siempre inferior en superficie, excepto el punto S 9 donde la diferencia es mínima. En este sector destacan los puntos S 1 y S 2, los cuales presentan la mayor concentración de sales y ambos corresponden a suelos aluviales y de texturas gruesas, lo que permite una mayor evaporación y por consiguiente un mayor ascenso de sales. En cambio en los puntos restantes se asocian a suelos de texturas medias y finas, con mayor contenido de humedad en el perfil, determinando una menor evaporación.

Figura N° 12-19. Resultados determinación Salinidad (mg/Kg.).



12.4.1.5 Conductividad hidráulica o Permeabilidad

Para el área de estudio la conductividad hidráulica (permeabilidad) varía entre 0,7 a 1.580 cm/h. En un 7,1% de los muestreos, ésta es **moderadamente alta**. Mientras que, la categoría **alta** participa con un 39,3% del total de puntos, y en los restantes muestreo, es decir, un 67,9%, la conductividad hidráulica del suelo es **muy alta**, ver Figura N° 12-20.

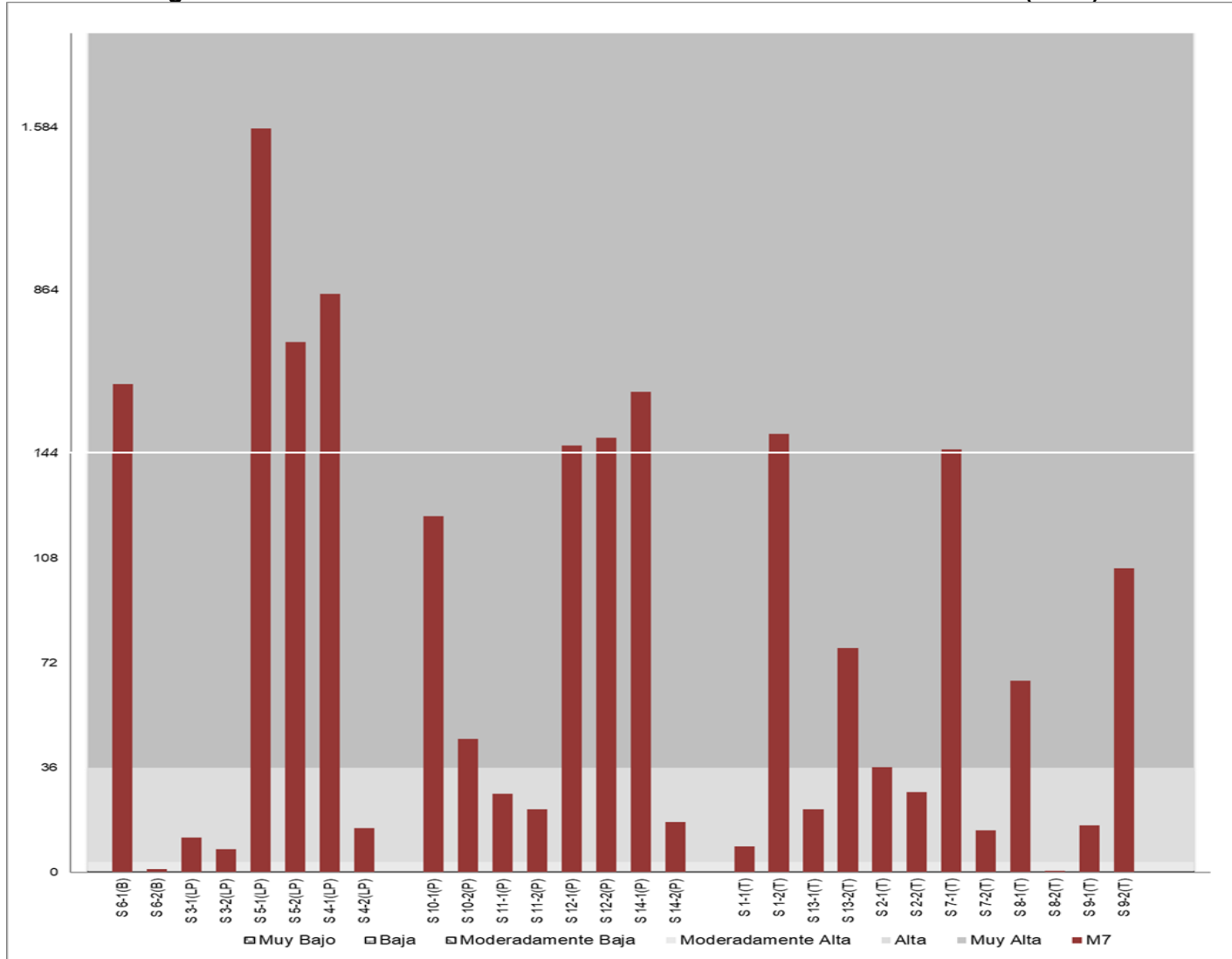
En el sector de **La Punta-La Brava**, la conductividad hidráulica es variable tanto entre puntos como en el perfil, es así como en la mayoría de ellos se observa una amplia variación numérica, incluso en algunos de ellos cambia la categoría de permeabilidad, excepto en el punto S 3 donde se observa un leve diferencia en ambos puntos. En general los puntos con menor diferencia numérica en la permeabilidad, se asocian a suelos de igual textura, destacando que los puntos asociados a las mayores diferencias se caracterizan por presentar un estrato extremadamente duro en superficie y asociado al sistema lagunar del sector (Figura N° 12-20).

En general para el sector de **Peine** (Figura N° 12-20), se determinó en la mayoría de los punto una amplia variación numérica en la permeabilidad, pero sólo en un punto (S 14) ésta cambia la categoría. La diferencia en la velocidad de infiltración está dada fundamentalmente por la textura del suelo, siendo menor en suelos finos (arcilla y franco limoso) aumentando a medida que el tamaño de las partículas del suelo son más gruesas.

Para **Tilopozo** y al igual que para el sector anterior, se determinó una variación numérica significativa en la permeabilidad, lo que determina que exista un cambio en la categoría en el perfil para todos los puntos, considerando que en la mitad de los puntos la textura es la misma, por lo que, serían otros los factores lo que determinan cambio en la velocidad de infiltración en el perfil (Figura N° 12-20).

En general, además de la textura existen otros factores que regulan la permeabilidad, destacando entre estos, tamaño y cantidad de poros, estado de fisuramiento del suelo, compactación y humedad, entre otros. Por lo tanto, para este sector y en general para el área de estudio y dado que estos factores no se encuentran en los alcances de este monitoreo, no es factible explicar en su totalidad la diferencia valóricas entre los diferentes puntos de muestreo.

Figura N° 12-20. Resultados determinación Conductividad hidráulica 5h (cm/h).



12.4.1.6 Nutrientes

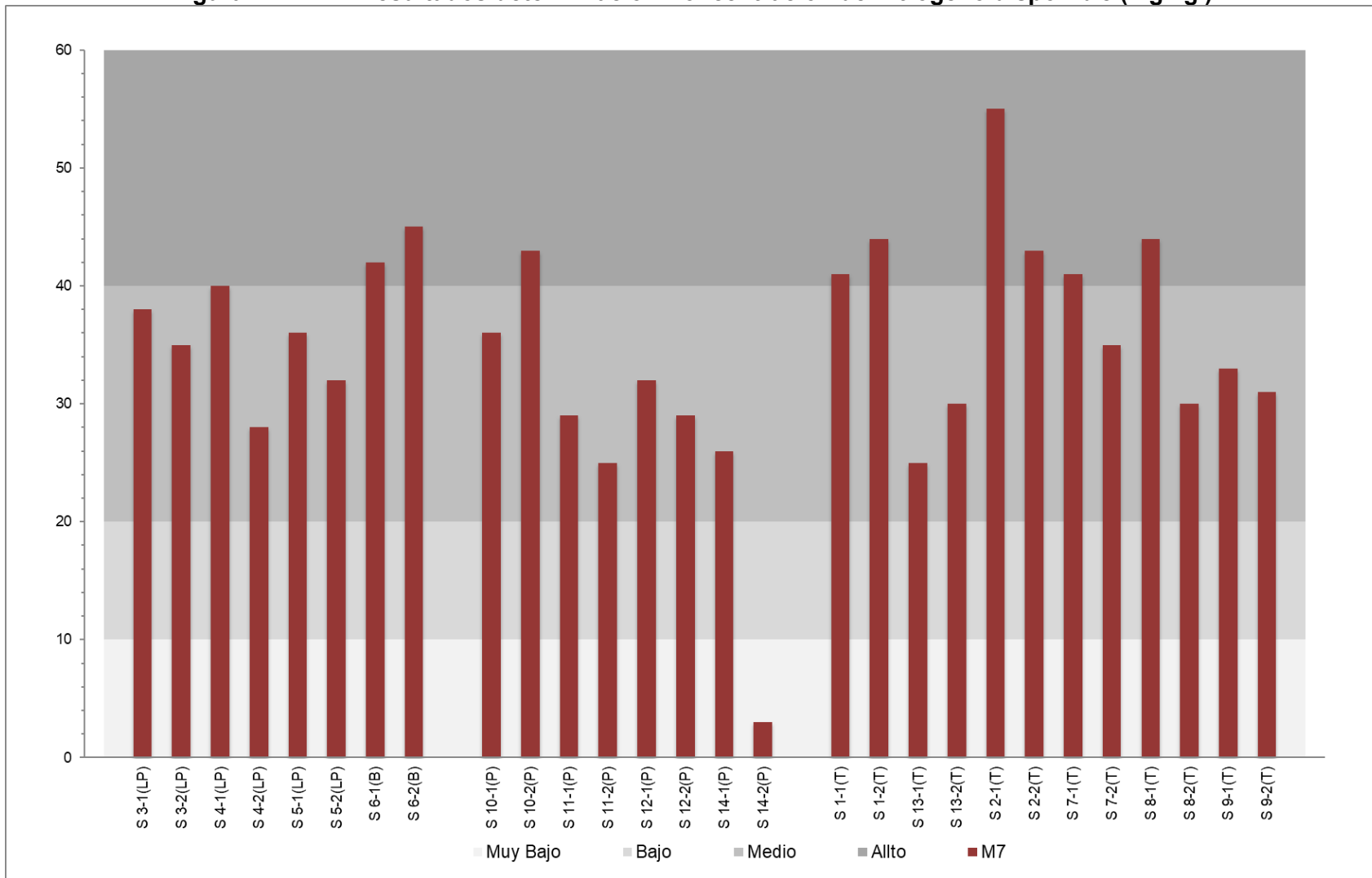
a) Nitrógeno

En relación al nitrógeno disponible, en los suelos del área de estudio la categoría de mayor disponibilidad es **media** con un 64,3% del total de puntos de muestreo, luego están los suelos de disponibilidad **alta**, participando con un 32,1% y los de menor frecuencia, corresponden a aquellos con una disponibilidad **muy baja** (3,6%), ver **Figura N° 12-21**.

En el sector de **La Punta-La Brava**, en la mayoría de los puntos se observa una variación numérica en la concentración de nitrógeno disponible. Sin embargo, en la totalidad de ellos no hay cambio en la categoría, siendo los suelos de mayor frecuencia en este sector aquellos de disponibilidad **media**, lo que indica una estabilidad en la concentración de nitrógeno. Mientras que, en **Peine** en la mayoría de los puntos la disponibilidad de este macroelemento es **media**, excepto en el muestreo realizado en S 10-2 (**alta**) y S 14-2 (**muy baja**), es necesario destacar la baja concentración en este punto comparada con el muestreo superficial (**Figura N° 12-21**).

En el sector de **Tilopozo**, no existe una relación entre la cobertura vegetal, textura y humedad y la concentración de nitrógeno, es así como los puntos con mayor concentración de este macroelemento (S 1y S 2) se localizan en un suelo de origen aluvial, de textura gruesa, sin vegetación y baja humedad, con niveles altos de nitrógeno, situación similar ocurre en el punto S 8-1, donde la cobertura vegetal es muy densa, con alta humedad y suelos de textura media. En los restantes puntos, la concentración es media y las características del suelo son diferentes entre ellos, ver **Figura N° 12-21**.

Figura N° 12-21. Resultados determinación Concentración de Nitrógeno disponible (mg/kg.).



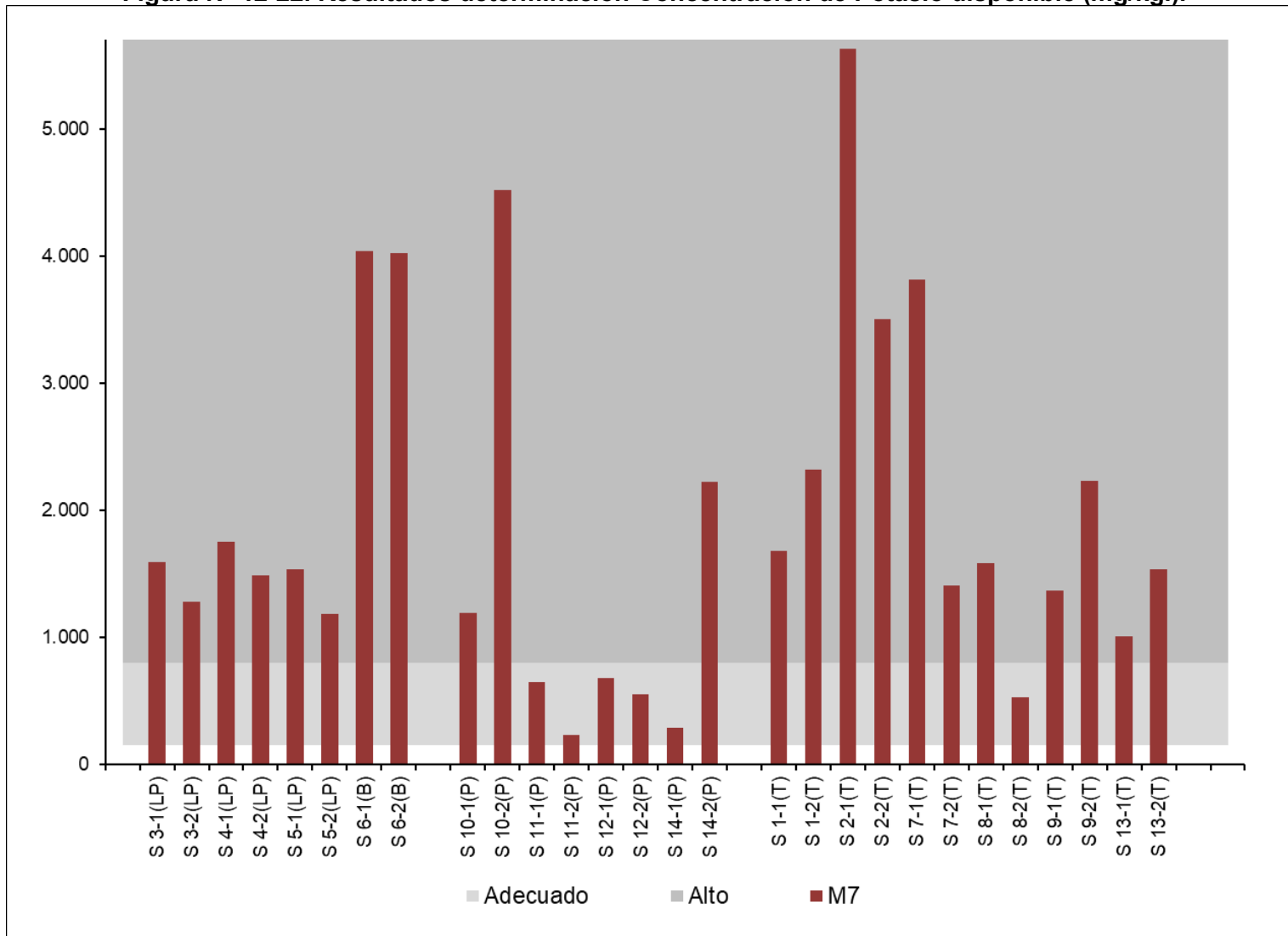
b) Potasio

Para el área de estudio el potasio disponible varía entre 237 a 5.627 mg/kg., siendo **adecuado** en un 21,4% de los puntos de muestreo (6) y **alta** en un 78,6% (22) del total (Figura N° 12-22).

En el sector de La Punta-La Brava la totalidad de los puntos presenta una **alta** disponibilidad de potasio, destacando el punto S 6 con un valor extremadamente altos respecto a los restantes puntos, no existiendo una relación en el tipo de suelo con la concentración de potasio, dado que aquellos puntos con una concentración similar se sitúan en suelos diferentes. En cambio, en Peine la mayoría de los puntos de muestreo presenta una categoría **adecuada** de potasio, en este sector destacan los puntos S 10-2 y S 14-2 con valores muy altos respecto a los restantes, no existiendo una relación entre ambos tipos de suelo, ver Figura N° 12-22

En el sector de Tilopozo sólo el punto S 8-2 el potasio disponible es **adecuado**, en los restantes es **alto**, determinándose una amplia variación en la concentración de la mayoría de los puntos, lo cual se atribuye principalmente a los diversos orígenes de los materiales que conforman los diferentes tipos de suelos (Figura N° 12-22).

Figura N° 12-22. Resultados determinación Concentración de Potasio disponible (mg/kg.).



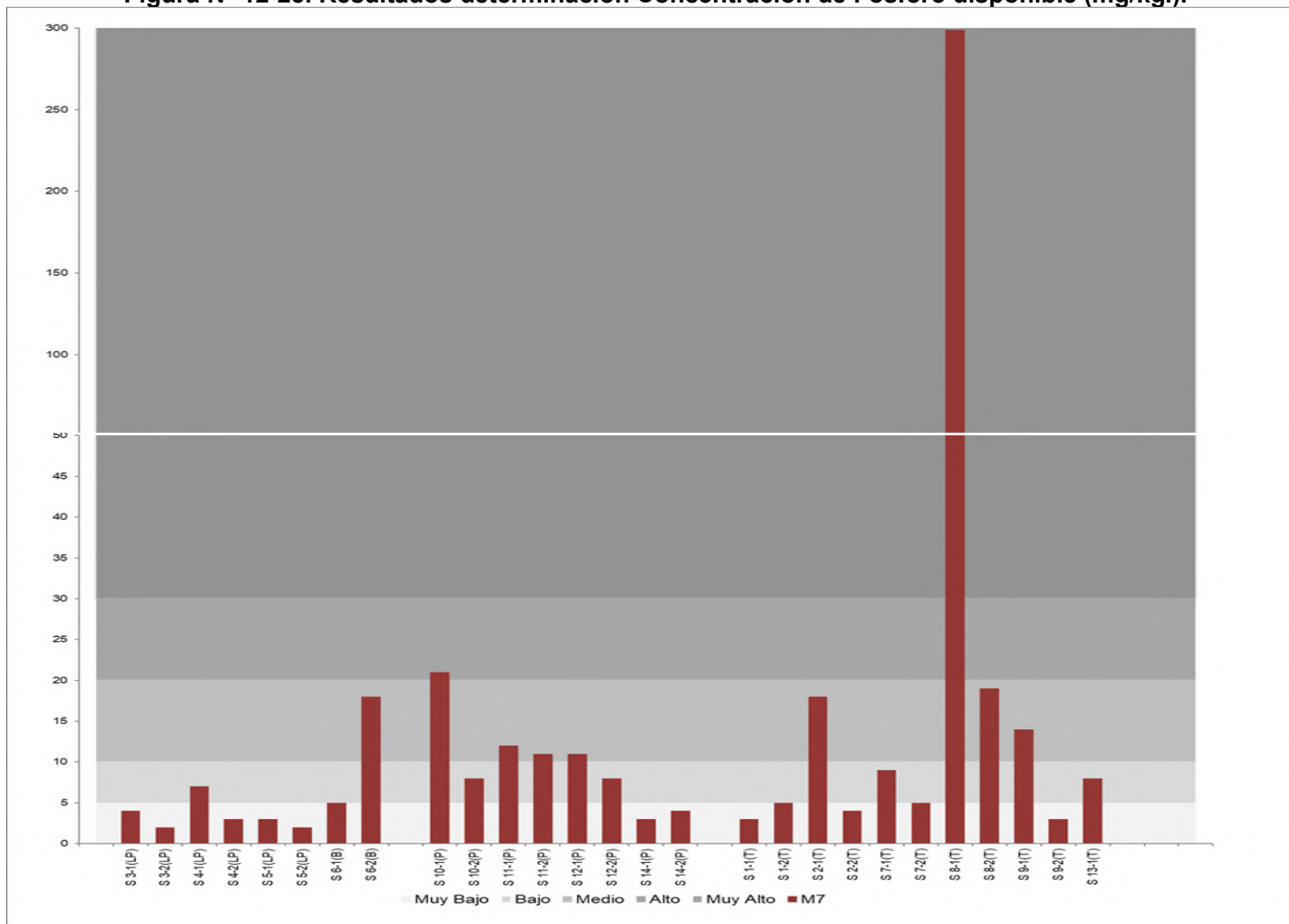
c) Fósforo

En el área de estudio, en un 50,0% de los puntos de muestreo la concentración de fósforo disponible es **muy baja**, con un 25,0% participan los suelos de disponibilidad **media** y con un 17,8% se encuentran los suelos de disponibilidad **baja**. Finalmente, los suelos con una **alta** y **muy alta** disponibilidad de fósforo participan con un 3,6% cada categoría, ver **Figura N° 12-23**.

En general en el sector de **La Punta-La Brava (Figura N° 12-23)**, no se observa una relación entre los tipos de suelos y la concentración de potasio, esto considerando las diferencias en las concentraciones para los puntos de muestreo situados en el sistema lagunar, como también la similitud de algunos de ellos con el puntos S 3, asociado a un tipo de suelo de diferente origen y composición.

En el sector de **Peine**, se observa una variabilidad en la concentración de fósforo disponible, siendo menor en los puntos S 11 y S 12, lo cual se puede atribuir a los diferentes tipos de suelo que conforman el sector, considerando los diferentes materiales que los originaron. Situación similar se presenta en **Tilopozo**, donde la variación en la concentración no sólo se presenta entre puntos, sino que también entre muestreos de un mismo punto, como es el caso del punto S 2 y S 9, ver **Figura N° 12-23**.

Figura N° 12-23. Resultados determinación Concentración de Fósforo disponible (mg/kg.).



12.4.1.7 Humedad

Para el área de estudio el porcentaje de humedad varía entre 5,3 y 78,85% (**Figura N° 12-24**).

En el sector de La Punta-La Brava (**Figura N° 12-24**) los menores porcentajes de humedad se determinaron en el punto S 5 y los más altos en S 6, ambos puntos situados en el sector de lagunas, por lo que no existe relación entre la localización del punto y la humedad en el perfil de suelo, como también en la profundidad del nivel freático, por cuanto, el menor porcentaje de humedad se presentó en S 5, donde el agua se encuentra a los 5 cm, lo opuesto se presenta en el punto S 6 con el mayor porcentaje de humedad y el nivel freático se presentó a los 44 cm, situación similar ocurre con S 3.

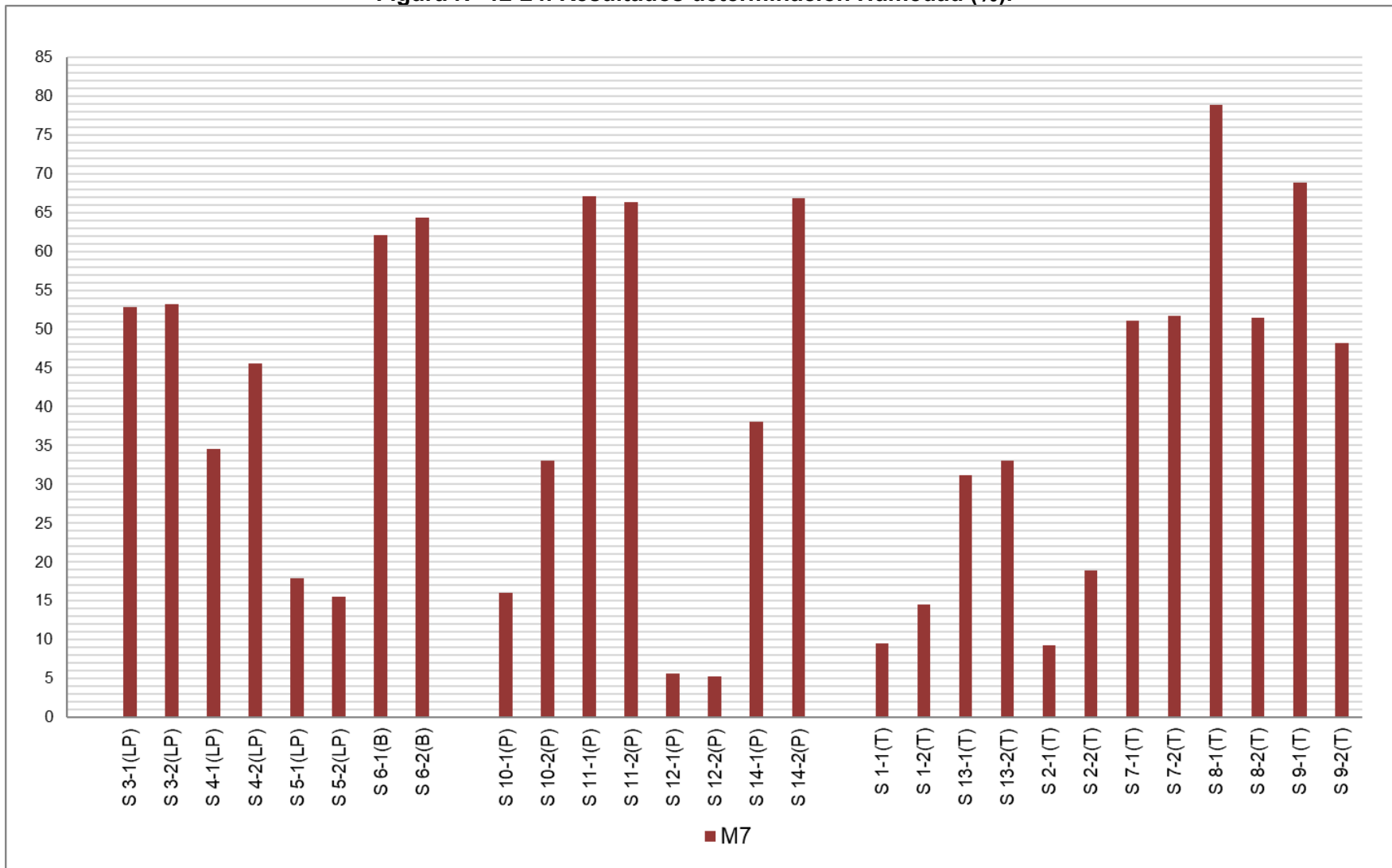
Mientras que, en Peine los mayores porcentajes de humedad se presentan en el puntos S 11 asociado a un suelo del tipo humedal y el menor porcentaje a suelos arenosos de origen aluvial (S 12). Los mayores porcentajes de humedad se asocian a suelos con presencia de nivel freático a profundidad de trabajo (S 11 y S 14), ver **Figura N° 12-24**.

En el sector de Tilopozo, no existe una relación entre la presencia de nivel freático a profundidad de trabajo y el porcentaje de humedad, considerando que de los puntos con mayor porcentaje, sólo en dos se detectó nivel freático (S 8 y S 9) y en un tercero (S 7) no se fue detectado a profundidad de trabajo. En relación a la textura y al igual que con el nivel freático, no existe una relación por cuanto en puntos de igual textura (S13 y S 9), la diferencia en porcentajes de humedad es muy amplia (**Figura N° 12-24**).

Para este sector los puntos con menor porcentaje de humedad (S 1 y S 2) presentan texturas moderadamente gruesas, en cambio en los puntos de mayor porcentaje de humedad la textura es media.

Por lo tanto, la textura y presencia de nivel freático tiene injerencia en el porcentaje de humedad de los suelos, pero no explican en su totalidad la variación existente, por lo que serían otros factores que influyen en el comportamiento de este parámetro.

Figura N° 12-24. Resultados determinación Humedad (%).



12.4.1.8 Textura

En el área de estudio, los suelos de mayor frecuencia corresponden a los **francos** los cuales participan con un 32,2% del total de muestreos, en segundo lugar se encuentran aquellos de textura **areno francosa** y **franco arenosa**, con un 21,4% cada uno, con un 17,9% participan los suelos **franco limoso**, y los de menor participación corresponden a los suelos de textura **arcillosa** con un 7,1% del total, ver **Tabla N° 8-13**.

En el 50% de los puntos de muestreo confeccionados en **La Punta-La Brava**, la textura es igual tanto en profundidad, como en superficie (S 3 y S 5), ver **Tabla N° 8-13**. Sin embargo, no se observa una relación entre la localización de los puntos y la textura de estos, es así como los muestreos realizados en el entornos de la lagunas presentan textura diferentes, esto debido al origen de los materiales que conforman los suelos del sector.

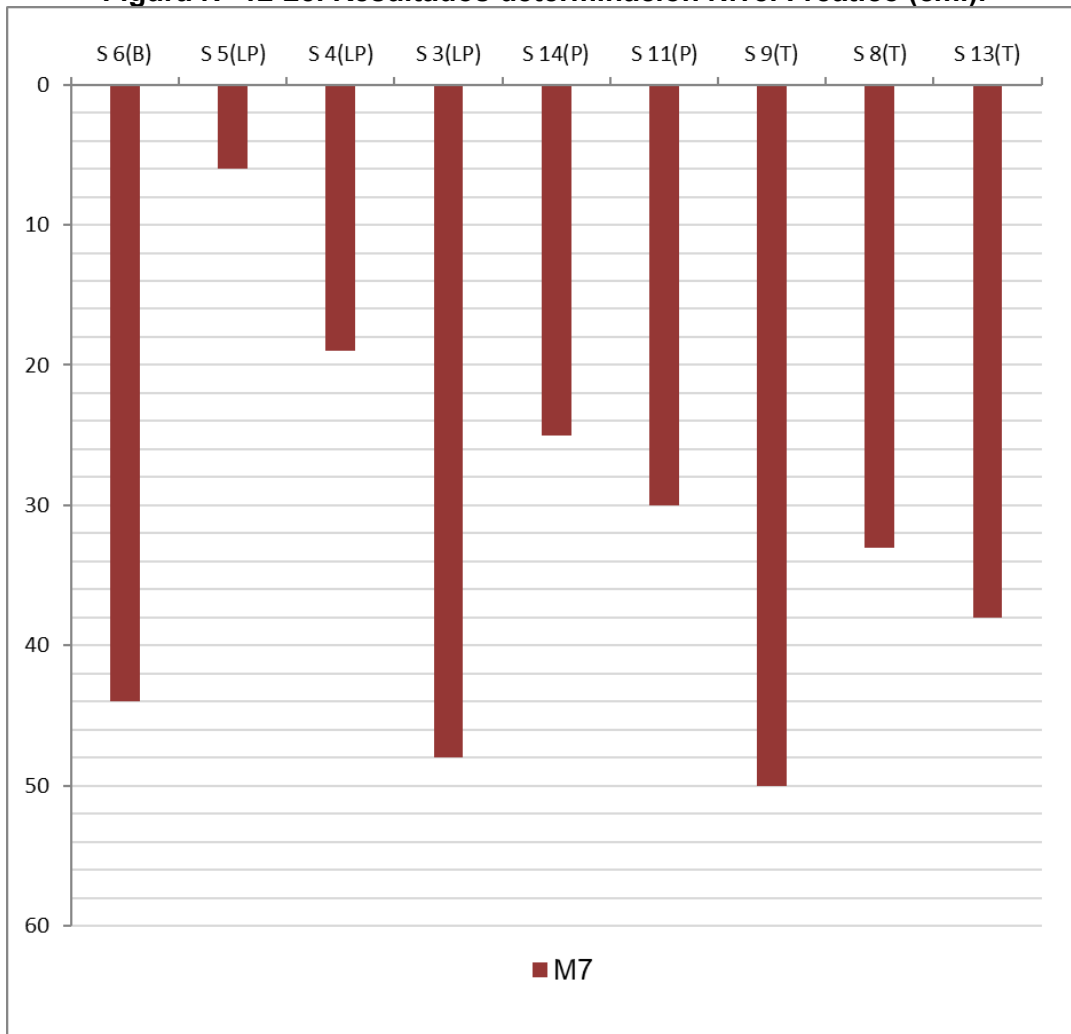
En el sector **Peine**, sólo el punto S 12 presenta una textura igual tanto en superficie como en profundidad, y en los restantes puntos la textura de un mismo perfil es diferente, esto debido a los materiales de origen distintos y que han generados los suelos del sector. En cambio, en el sector de **Tilopozo** el 50% de los puntos presenta igual textura en superficie y profundidad, de estos sólo 2 presentan textura similar (S 7 y S 8), aun cuando los suelos son distintos.

Estas variaciones están dadas principalmente por el tipo de material que conforma los suelos del área, y cuyo origen es depositacionales, esto hace que en su composición participen los diferentes materiales que se encuentran presentes en los suelos que conforman la cuenca, y que por arrastre son depositados en los sectores plano, lo cual explicaría las diferencias determinadas entre los puntos para los sectores e incluso entre punto.

12.4.1.9 Nivel freático

Del total de puntos de muestreo, en 9 se detectó la presencia de nivel freático a profundidad de trabajo, los cuales se localizan 4 en el sector de La Punta-La Brava, 2 en Peine y 3 en Tilopozo, en estos el nivel fluctúa entre los 6 y 48 cm. ver **Figura N° 12-25**.

Figura N° 12-25. Resultados determinación Nivel Freático (cm.).



12.4.2 Análisis de la evolución de los parámetros del suelo (invierno 2016 – 2017, 2018 y 2019)

La información detallada de cada variable por monitoreo (M1, M2, M3, M4, M5, M6 y M7) se presenta en el **Anexo 2 Suelo o Sustrato**.

En este acápite, sólo se analizan los resultados de las campañas invernales (M1, M3, M5 y M7), esto con el fin de evaluar las variaciones estacionales de invierno para esta componente.

12.4.2.1 Conductividad Eléctrica

En el sector **La Punta-La Brava**, al comparar los resultados entre los monitoreos invernales, se observa que los puntos que presentan una mayor conductividad eléctrica corresponde a los mismos (S 6 y S 3), con valores altos en M1 y M3, disminuyendo en M5 y M7, pero en general superiores a los puntos S 4 y S 5, en estos últimos puntos la conductividad eléctrica es similar en los monitoreos M1 a M5, excepto en M7, donde se observa un aumento en la mayoría de los puntos, ver **Figura N° 12-26**.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-27**, en el sector de **Peine**, tanto el punto S 10 como S 12, presentan los mayores valores de conductividad eléctrica en los 4 monitoreos invernales, aun cuando se observa una variabilidad numérica significativa entre éstos. Mientras que, el punto S 11 presenta un leve aumento en M3 y M5, respecto a M1, para disminuir nuevamente en M7 a valores similares al primer monitoreo. En cambio, en el punto S 14 se determina un aumento en los monitoreos M3, M5 y M7 respecto a M1.

En el sector de **Tilopozo**, se observa en general una amplia variación en la conductividad eléctrica para los puntos entre los monitoreos, o cual está determinado principalmente por los diferentes tipos de suelos y en éstos, los diferentes materiales que constituyen el perfil. Sin embargo, destacan los puntos S 2-1, S 7-1, S 1-1, los cuales presentan frecuentemente los mayores valores de conductividad eléctrica, como también los puntos 13-2 y S 8-2 donde se presentan los mínimos en todos los monitoreos. En los restantes puntos para los diferentes monitoreos se observa una variabilidad numérica significativa en la conductividad eléctrica (**Figura N° 12-28**).



Figura N° 12-26. Resultados Determinación Conductividad Eléctrica (µS/cm). La Punta – La Brava.

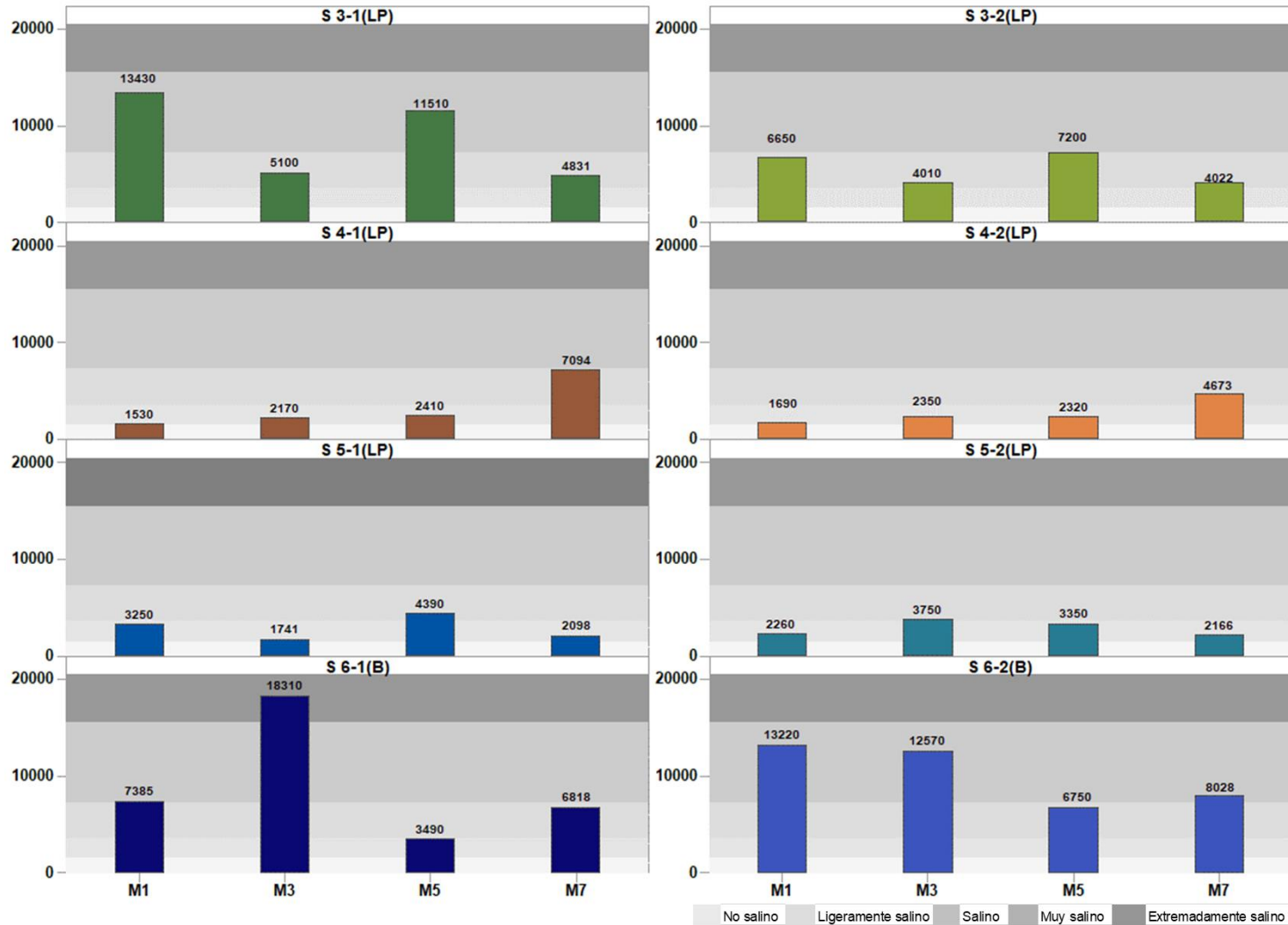
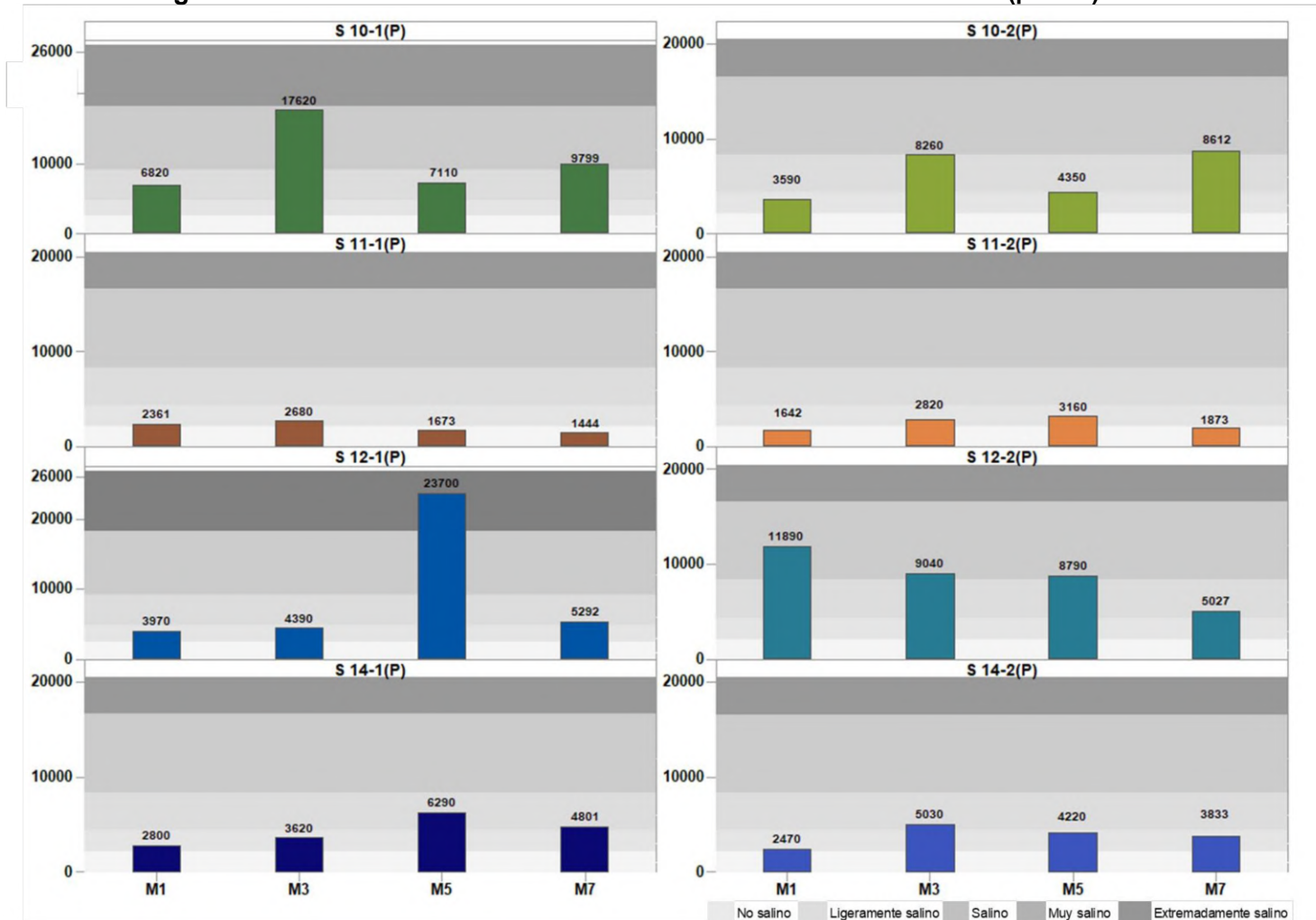
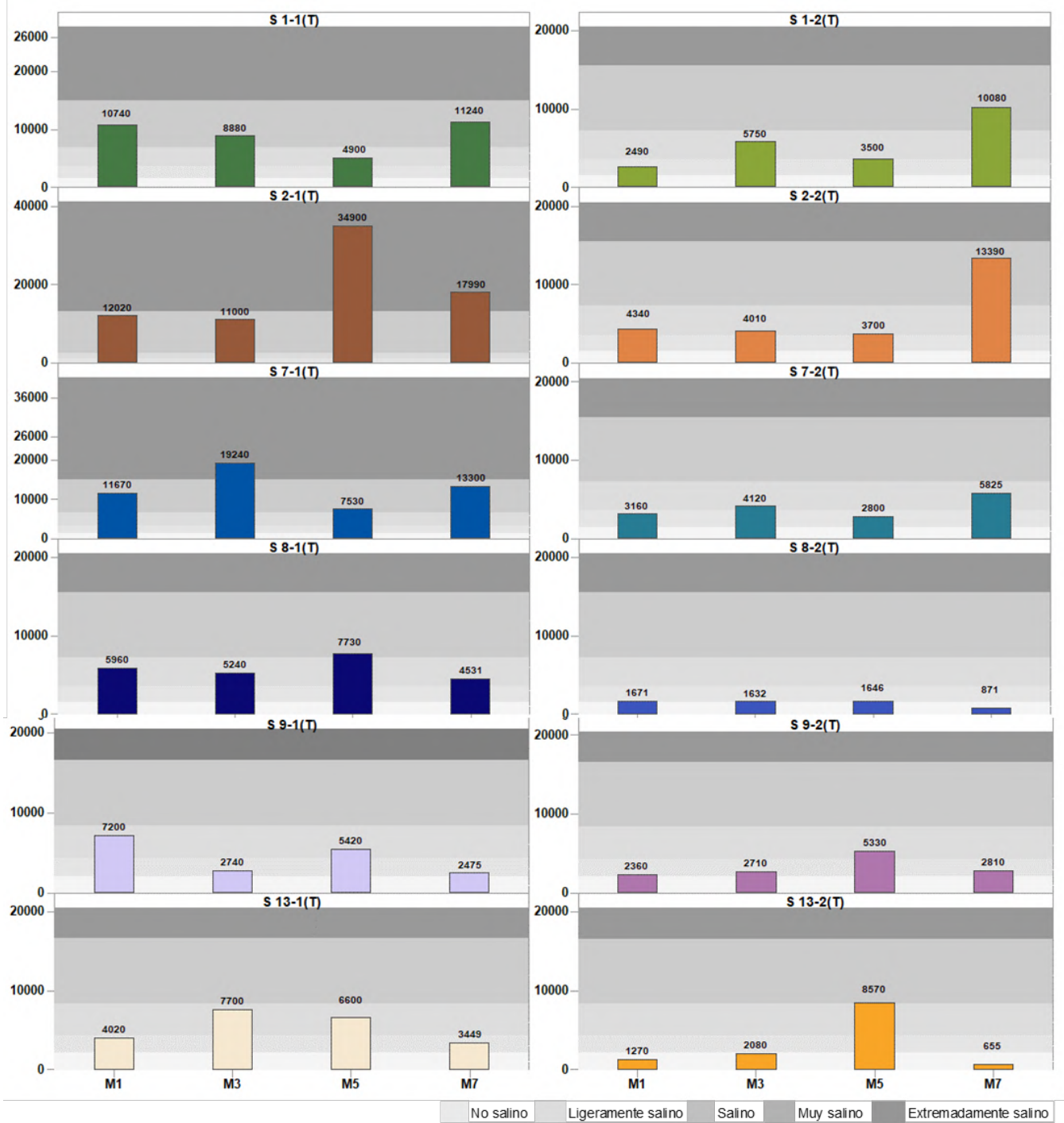




Figura N° 12-27. Resultados Determinación Conductividad Eléctrica (µS/cm). Peine.



**Figura N° 12-28. Resultados Determinación Conductividad Eléctrica (µS/cm).
 Tilopozo.**



12.4.2.2 *Materia Orgánica*

Para el sector **La Punta-La Brava (Figura N° 12-29)** en la totalidad de los monitoreos invernales el punto S 6-2, presenta siempre la mayor concentración de materia orgánica, destacando también el aumento en la totalidad de los puntos en M7 respecto a los restantes. Destaca también el comportamiento disímil de los muestreos en los monitoreos M3 y M5 respecto a M1, sobre todo en los puntos S 6-1, S 3-1 y S 3-2, y que en el caso del primero y tercero aumentan en M3 para luego disminuir en M5 y el segundo sólo disminuye en M3 y M5, y los restantes puntos aun cuando presentan variaciones, éstas no son amplia, y en general estos puntos presentan concentraciones superiores a aquellas determinadas en M1, pero todas inferiores a M7.

Tal como se observa la materia orgánica en este sector, presenta una variabilidad en los resultados, tanto para los puntos de muestreo como entre los monitoreos. Esto 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. La variación de la materia orgánica no está relacionada con las actividades antrópicas desarrolladas en el área.

Tal como se aprecia en la **Figura N° 12-30**, para el sector de **Peine** el punto S 11 es el que presenta la mayor concentración de materia orgánica para la totalidad de los monitoreos invernales. En general, se observa una disminución de la materia orgánica en la mayoría de los puntos en M3 respecto a M1, manteniéndose en M5, para luego presenta un fuerte aumento en M7.

Tanto la variabilidad como la estabilidad de la materia orgánica para **Peine**, está relacionada directamente con la cobertura y tipo de vegetación (zonal o azonal), como es el caso del punto S 11, donde la materia orgánica es siempre **muy alta (Figura N° 12-30)**, ya que éste se sitúa en un humedal (vegetación azonal), la variabilidad en los restantes puntos que se encuentran asociados a vegetación zonal, se puede atribuir principalmente a la diversidad de los suelos que conforman este sector y dentro de estos, la heterogeneidad de materiales que lo constituyen y no debido a algún tipo de actividad antrópica.

Para el sector de **Tilopozo**, en la totalidad de los monitoreos estivales los puntos S 7 y S 8 presentan los más altos porcentajes de materia orgánica, y en este sector la mayoría de los puntos, excepto los indicados anteriormente, presentan una disminución en M3 respecto a M1, concentraciones que se mantienen en M5, para mostrar un fuerte aumento en M7, ver **Figura N° 12-31**.

En el sector de **Tilopozo**, y en relación a la materia orgánica, la mayoría de los puntos de los monitoreos M1, M3 y M5 se encuentran en la misma categoría, aun cuando presentan una variación en la concentración, observándose un fuerte aumento en los porcentajes para M7, esto determina que la mayoría de los puntos cambian a las categorías superiores, se estima que las variaciones en la materia orgánica se debería a modificaciones en los aportes de restos vegetales al suelos. Como también a las características del suelo los cuales presentan una variabilidad en sus propiedades físico-químicas en áreas reducidas, dado los diferentes orígenes de los materiales parentales que lo conforman.

Para el área de estudio, los puntos con mayor porcentaje de materia orgánica, se presentan en áreas con abundante cobertura vegetal, principalmente del tipo herbácea y alto contenido hídrico (humedal), como es el caso de vegas de Tilopozo (S 7 y S 8), condición que no se cumple en un punto situado en La Brava (S 6-2), donde a pesar de no presentar vegetación superficial, el contenido de materia orgánica en profundidad es muy alto, lo que se podría atribuir a la presencia en profundidad, de abundantes restos vegetales, lo que se puede deber a antiguas vegas enterradas.

Para los 3 sectores, se observa que M7 es el que ha tenido mayor contenido de M.O. de todas las temporadas de invierno que se lleva seguimiento.

Figura N° 12-29. Resultados Determinación Materia Orgánica (mg/kg.). La Punta-la Brava.

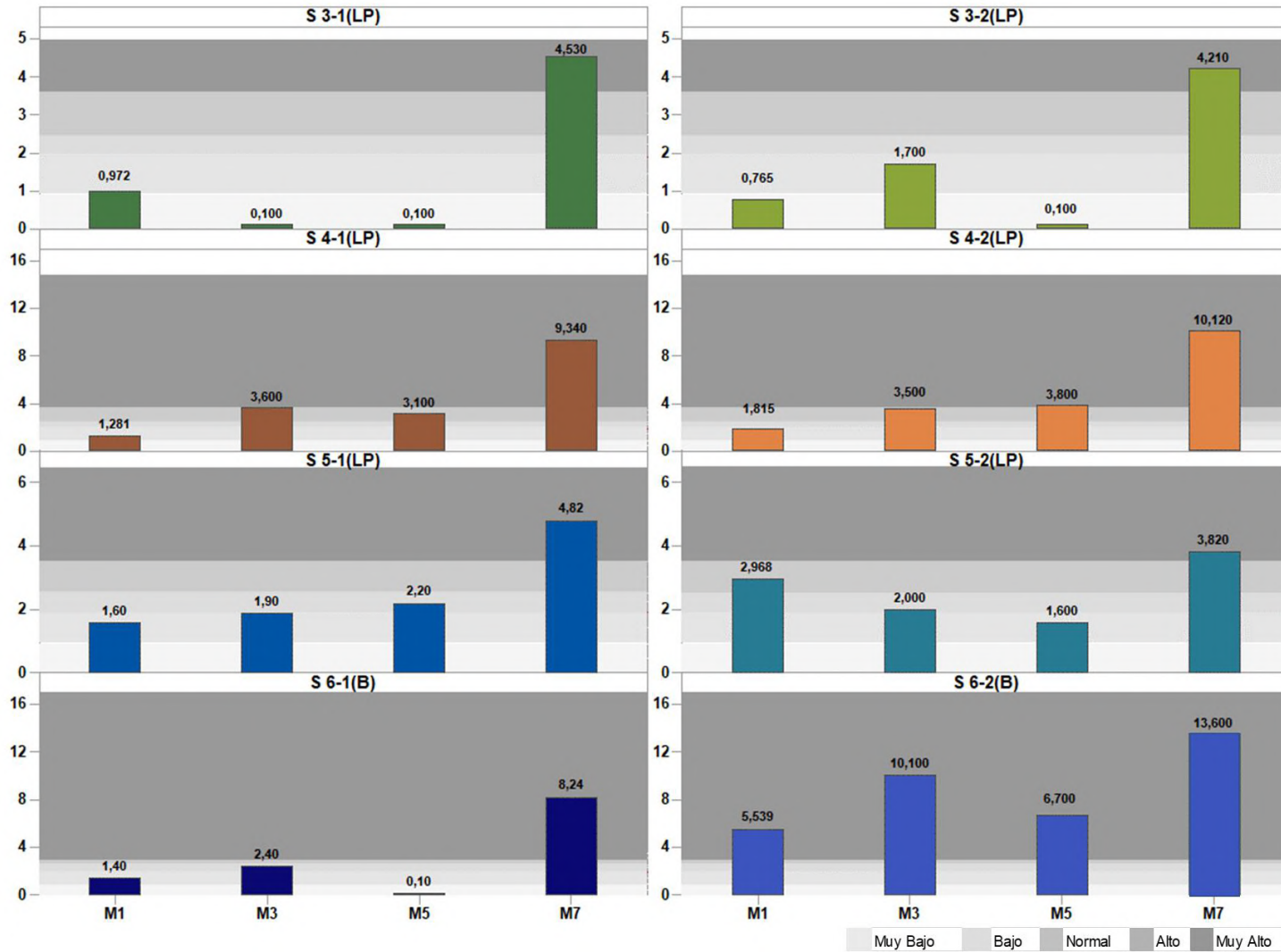


Figura N° 12-30. Resultados Determinación Materia Orgánica (mg/kg.). Peine.

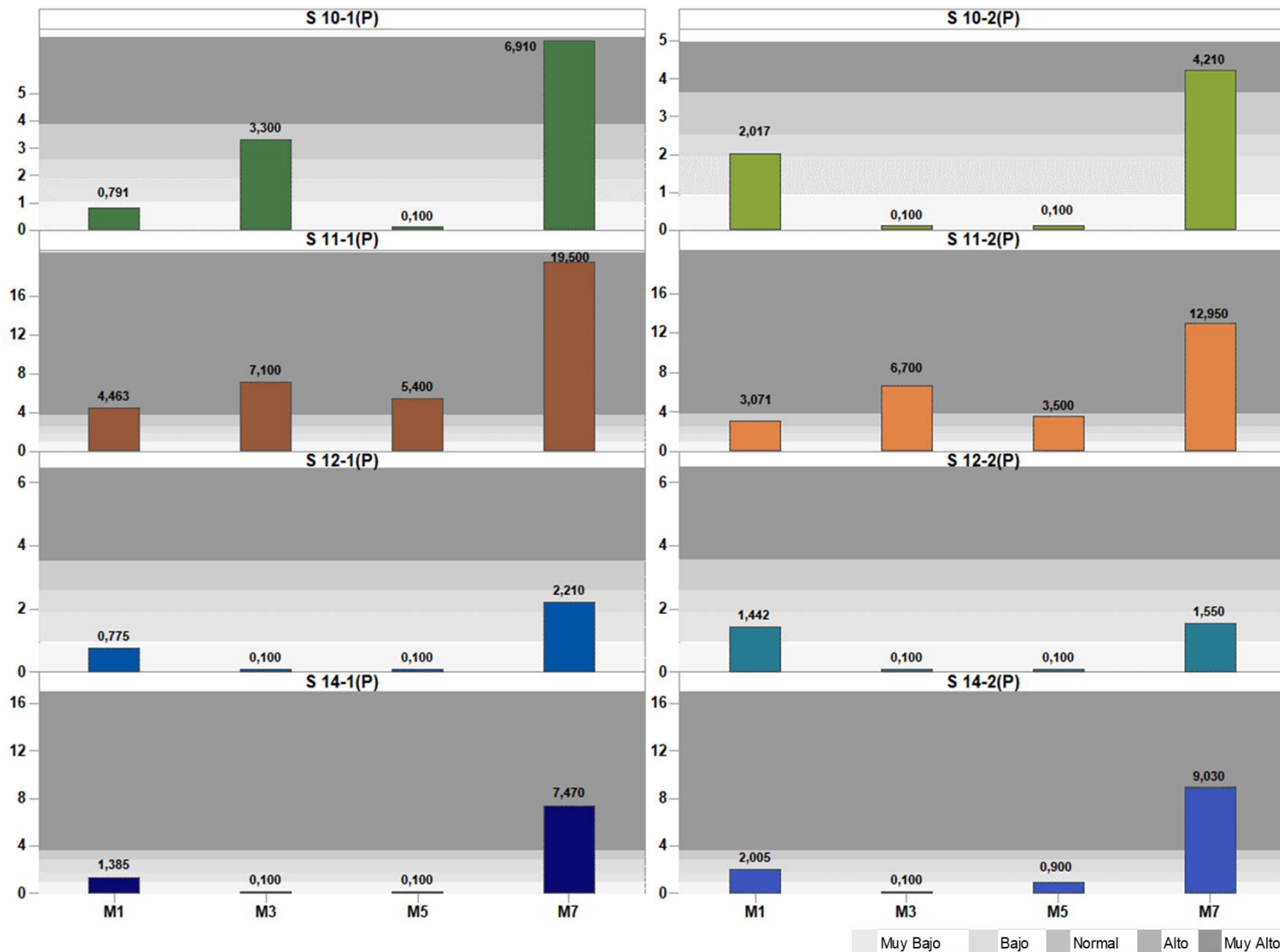
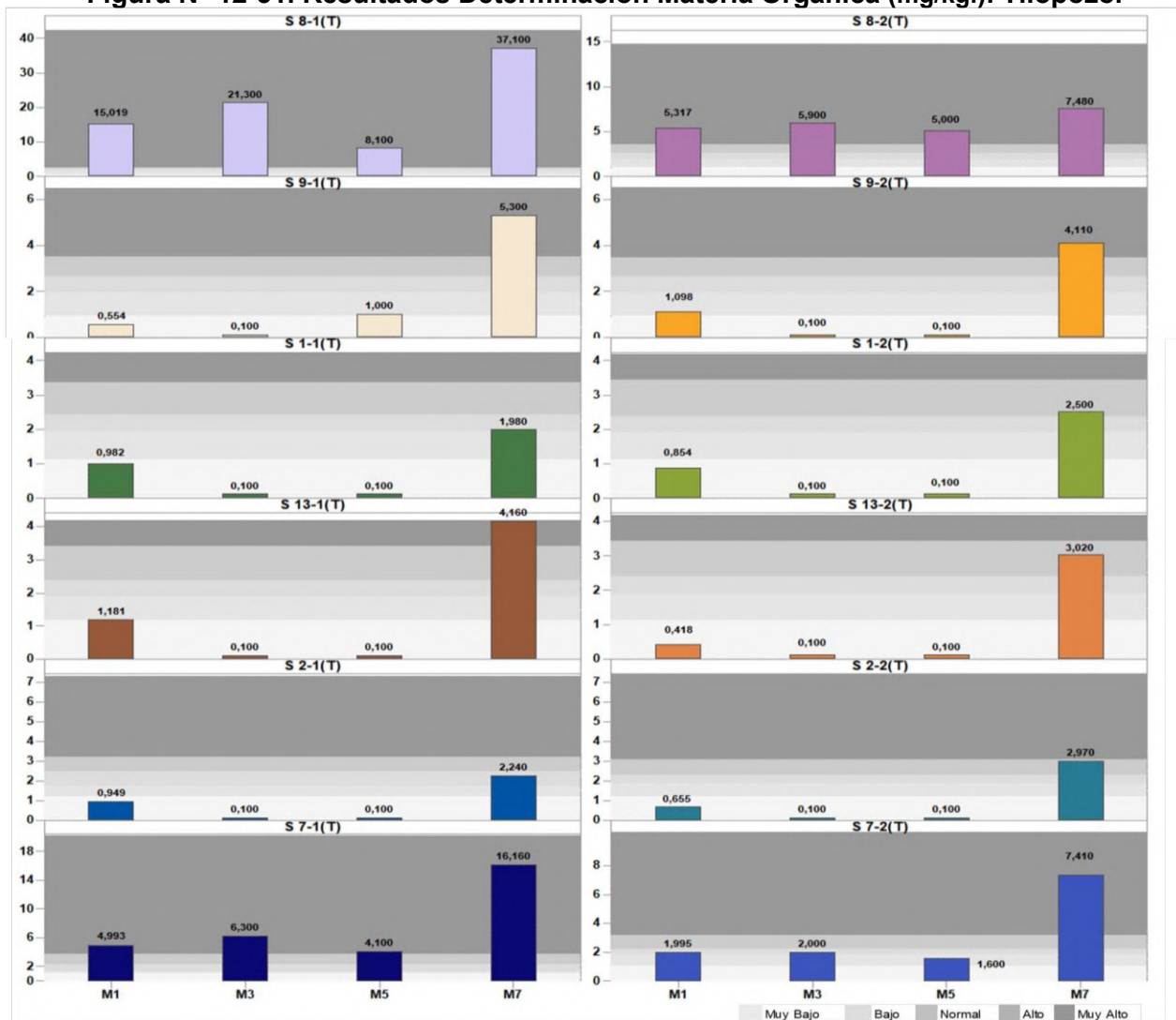


Figura N° 12-31. Resultados Determinación Materia Orgánica (mg/kg.). Tilopocho.



12.4.2.3 pH

En el sector **La Punta-La Brava**, para los 4 monitoreos invernales en los puntos S 4 y S 5 los suelos se caracterizan por presentar un pH más alcalino, siendo los valores similares en M1 y M7, y levemente inferior en M3 y M5. Mientras que, en los puntos S 3 y S 6, el pH es más ácido, siendo similar en M1, M3 y M7 y levemente inferior para M5, excepto en el punto S 6, ver **Figura N° 12-32**.

Para el sector de **Peine**, el pH de los suelos de los puntos S 10 y S 12, son los más alcalinos para todos los monitoreos, siendo similar en los monitoreos M1, M3 y M7 y con un leve descenso en M5. Mientras que, los puntos S 12 y S 14 presentan un comportamiento similar son más ácidos que los anteriores (**Figura N° 12-33**).

En general, para el sector de **Tilopozo** y tal como se aprecia en la **Figura N° 12-34**, el pH del suelo presenta un leve aumento en M3 respecto a M1, disminuyendo fuertemente en M5 y nuevamente aumentando en M7, pero sin alcanzar los valores obtenidos para el monitoreo M1 y M3. En la totalidad de los monitoreos, los puntos con pH más alcalino en general corresponden a los mismos.

El pH del suelo depende de factores como el material parental, clima (humedad y temperatura), del tipo de biota del suelo y productos que se derivan de su actividad metabólica. Los dos últimos factores, no se encuentran en los alcances de este monitoreo, mientras que, el clima es similar para el área de estudio, por lo tanto, sus efectos deberían ser similares para la totalidad de los puntos. Respecto al material parental, este es muy diverso, ya que provienen del entorno de la cuenca por efecto del arrastre debido a procesos principalmente aluvionales y en menor proporción eólicos, esto último explicaría las variaciones tanto entre los puntos como en el perfil, dado la localización espacial de las calicatas entre los diferentes monitoreos.



Figura N° 12-32. Resultados determinación pH. La Punta – La Brava.

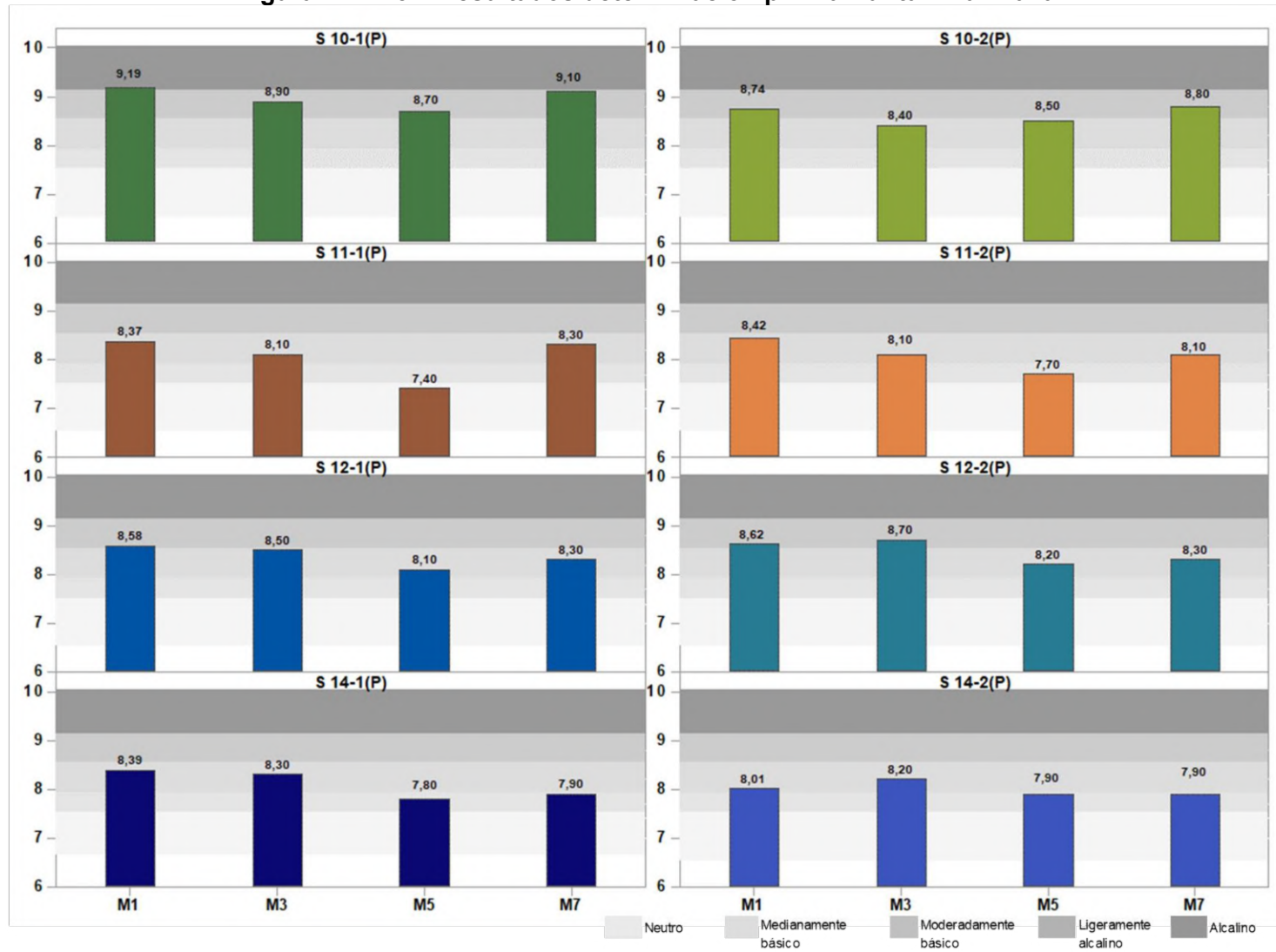




Figura N° 12-33. Resultados determinación pH. Peine.

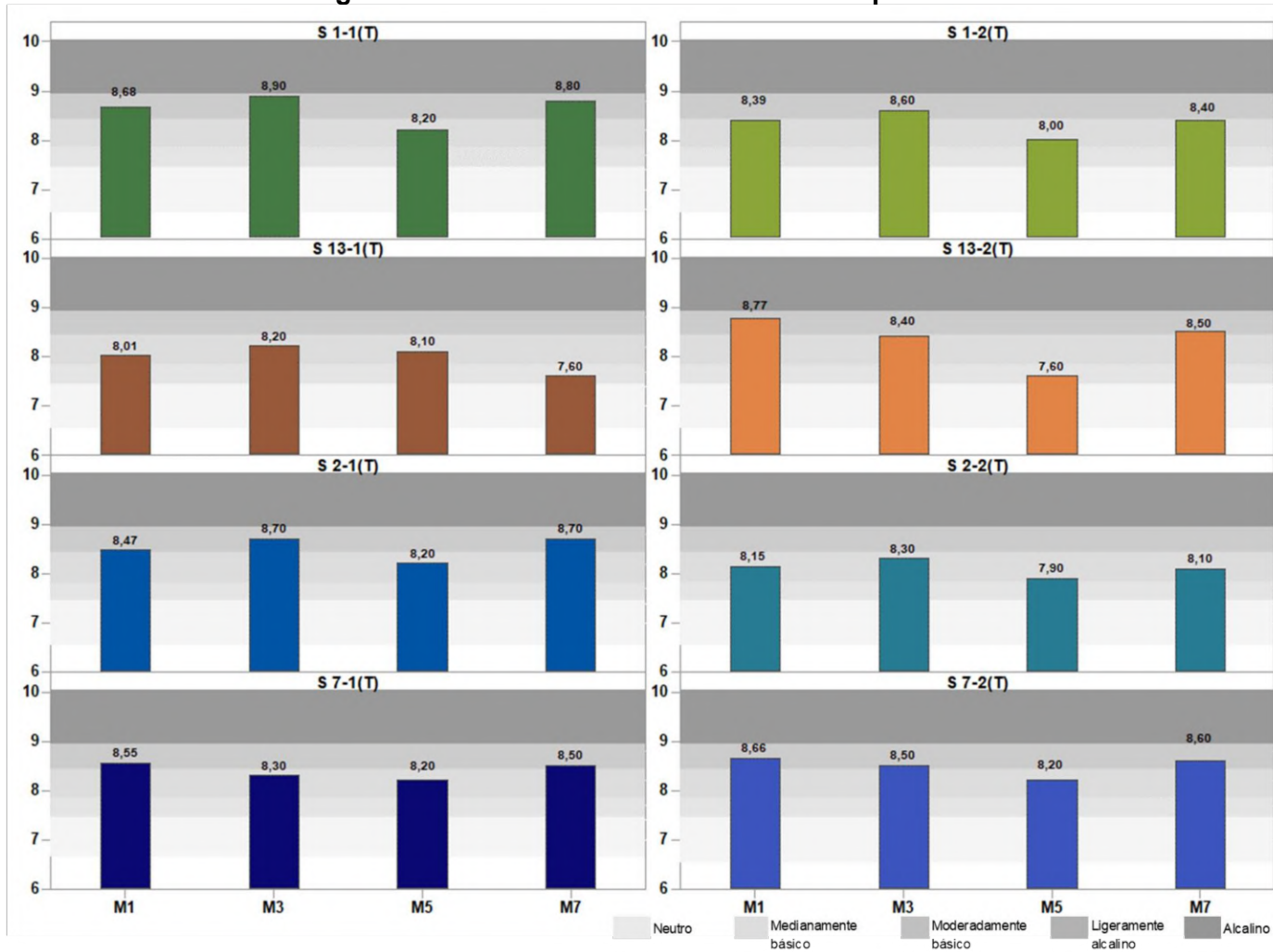
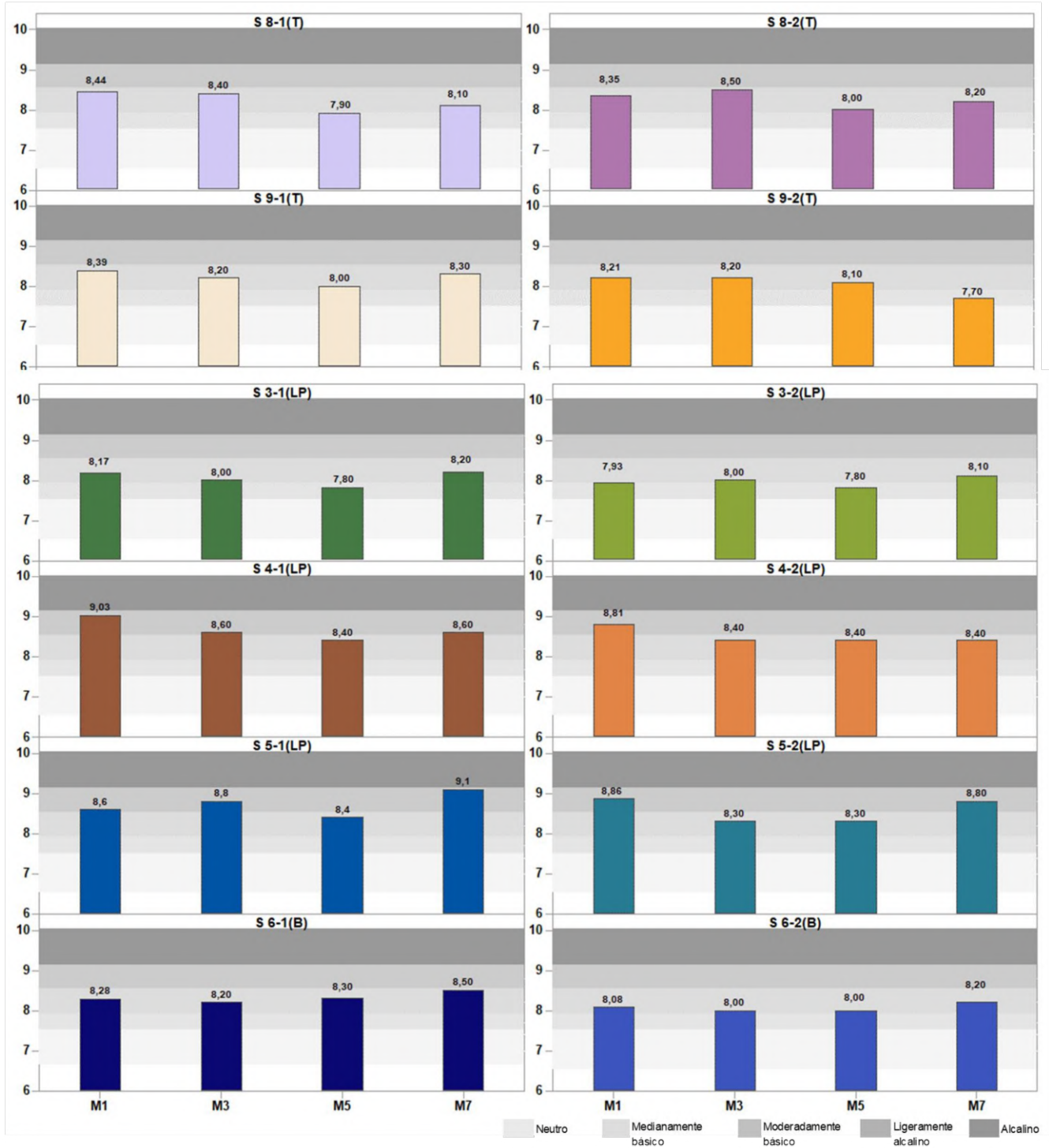


Figura N° 12-34. Resultados determinación pH. Tilopozo.



12.4.2.4 Conductividad Hidráulica

Para el sector **La Punta-La Brava**, la permeabilidad no es constante para los puntos de muestreo en los diferentes monitoreos invernales, por cuanto en la mayoría de ellos el rango de variación es muy amplio (0,2 a 3.524,1 cm/h) y no observa una tendencia, determinándose que la mayoría de los puntos de este sector presenta una velocidad de infiltración inferior a 100 cm/h., luego aquellos cuya velocidad fluctúa entre 100 y 500 cm/hr, y los de menor participación son aquellos entre 500 a 1.000 cm/hr, ver **Figura N° 12-35**.

Sin embargo, en este sector en general los valores más altos en cada monitoreos se determinaron en los puntos S 5 y S 4, aun cuando en algunos monitoreos estos mismos puntos presentan valores muy bajo. En cambio, los puntos S 6 y S 3, la mayoría de los puntos presentan una velocidad de infiltración inferior a 100 cm/hr, y donde valores superior a este último son muy escasos.

En el sector de **Peine** y al igual que en el sector anterior los suelos presentan una variación significativa en los resultados de velocidad de infiltración para los puntos de muestreo en los diferentes monitoreos (**Figura N° 12-36**). Sin embargo, el rango de variación es menor (0 a 1.153,3 cm/hr.) y no existe una relación entre los valores máximos, los puntos muestreados y el año de monitoreo, siendo diferente los puntos donde los máximos o mínimos se dan en cada monitoreo. En este sector la mayoría de los puntos presenta una permeabilidad inferior a 100 cm/h., luego aquellos cuya velocidad fluctúa entre 100 y 500 cm/hr, y aquellos entre 500 a 1.000 cm/hr, y superior a 1.000 cm/hr, son poco frecuentes.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-37**, la permeabilidad en el sector de **Tilopozo**, presenta un comportamiento similar a los sectores anteriores, en relación a la variabilidad (0,7 a 1.699,7 cm/hr.) y a que tanto los valores máximo como mínimos se presentan en diferentes puntos de muestreo para los monitoreos, no existiendo una relación entre la velocidad y el puntos muestreado. En este sector la frecuencia de puntos según velocidad de infiltración presenta el mismo comportamiento que los otros sectores respecto a las 2 mayorías, siendo la de menor participación aquellos puntos donde la velocidad es superior a 1.000 cm/hr.

Los factores que determinan la permeabilidad de los suelos son tamaño y número de poros, temperatura del agua, estructura y textura de los suelos, agujeros y fisuras y tipo de suelo, entre otros. Cualquier factor que altere estas propiedades del suelo, afecta la velocidad de infiltración, en general y dado que el área no se encuentra sometida a labores agrícolas que afecten la densidad y por lo tanto, la velocidad de infiltración, la variación de la permeabilidad se debería exclusivamente a las características propias de los suelos.



Figura N° 12-35. Resultados determinación Conductividad hidráulica 5h (cm/h). La Punta – La Brava.

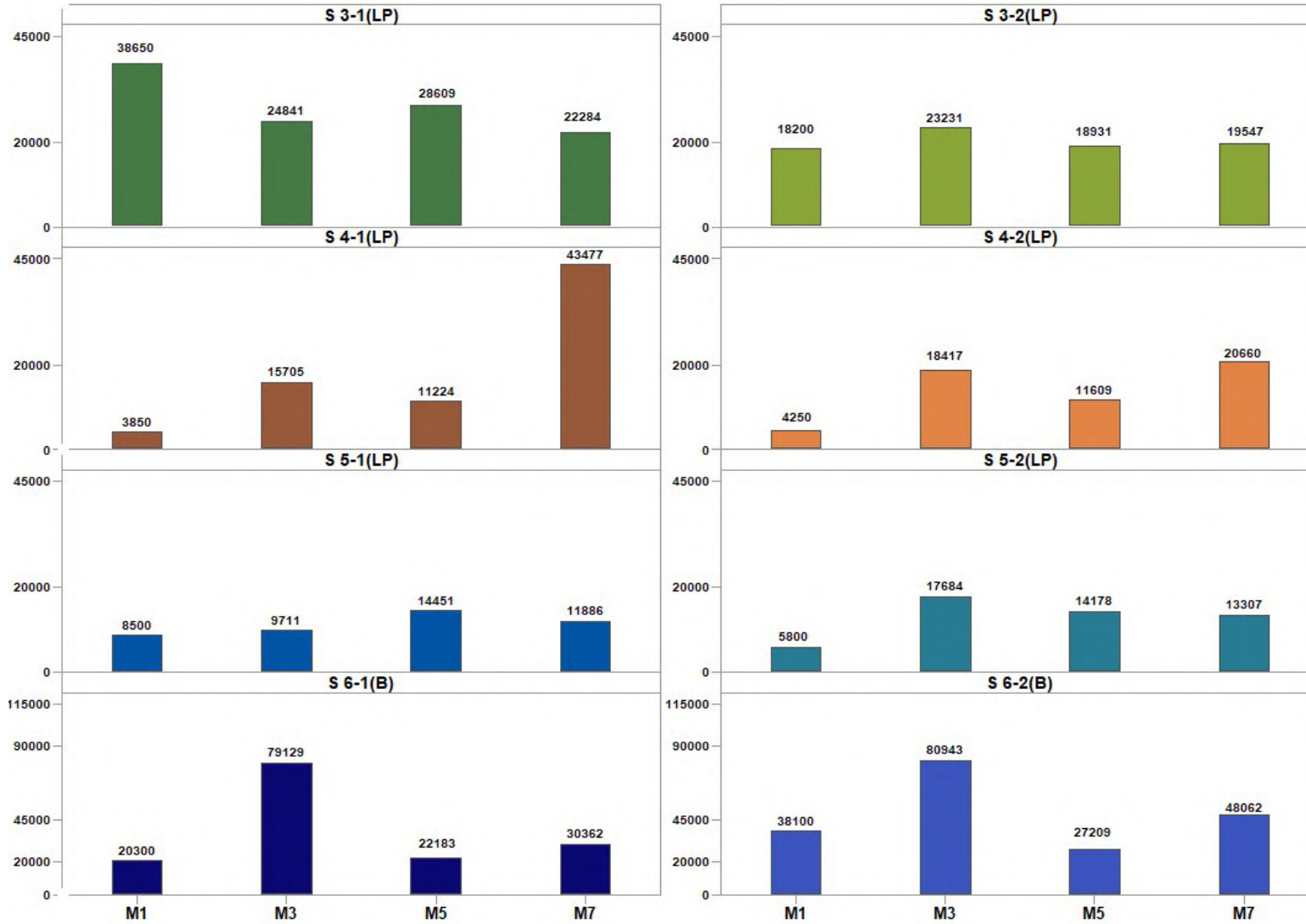
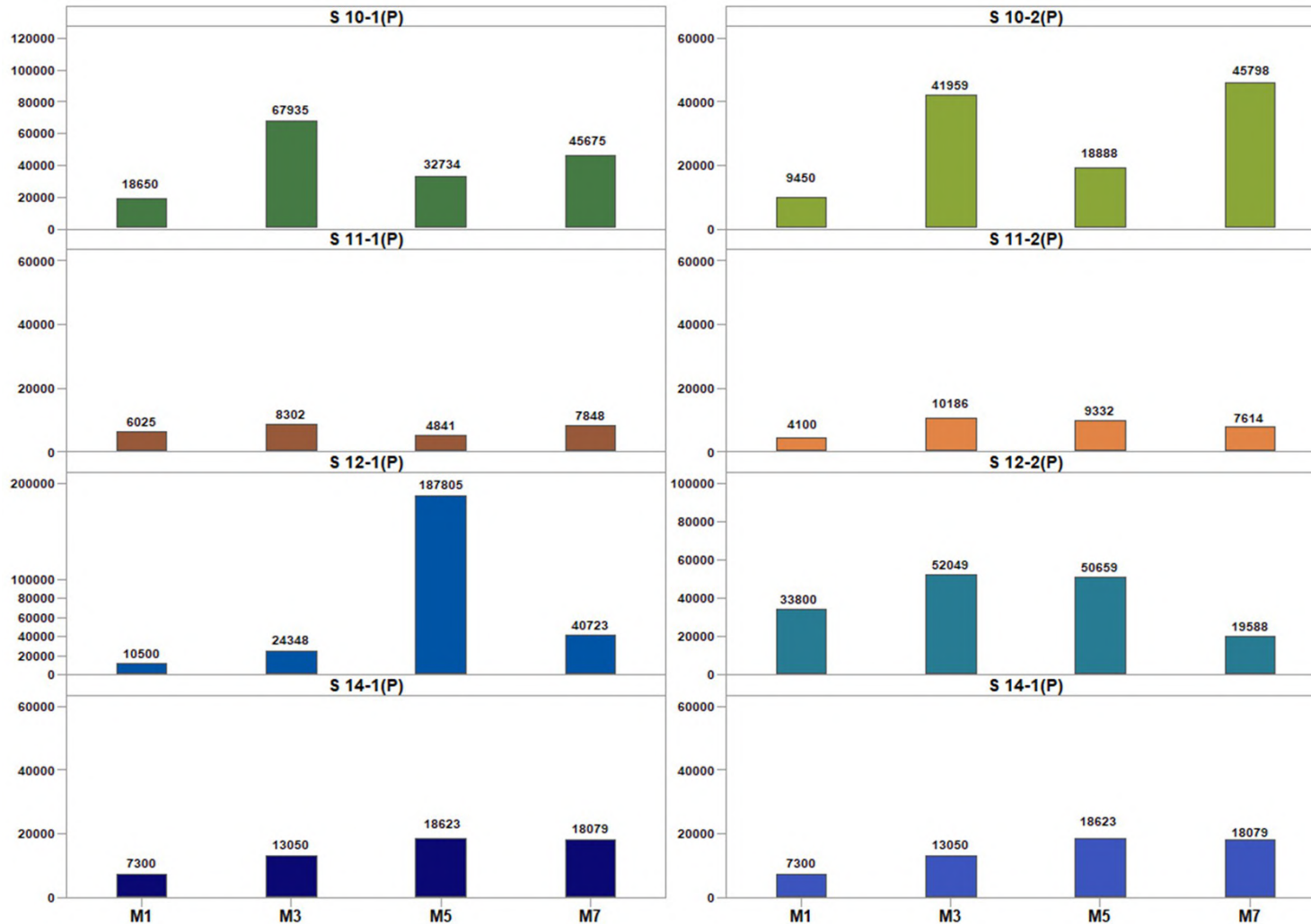


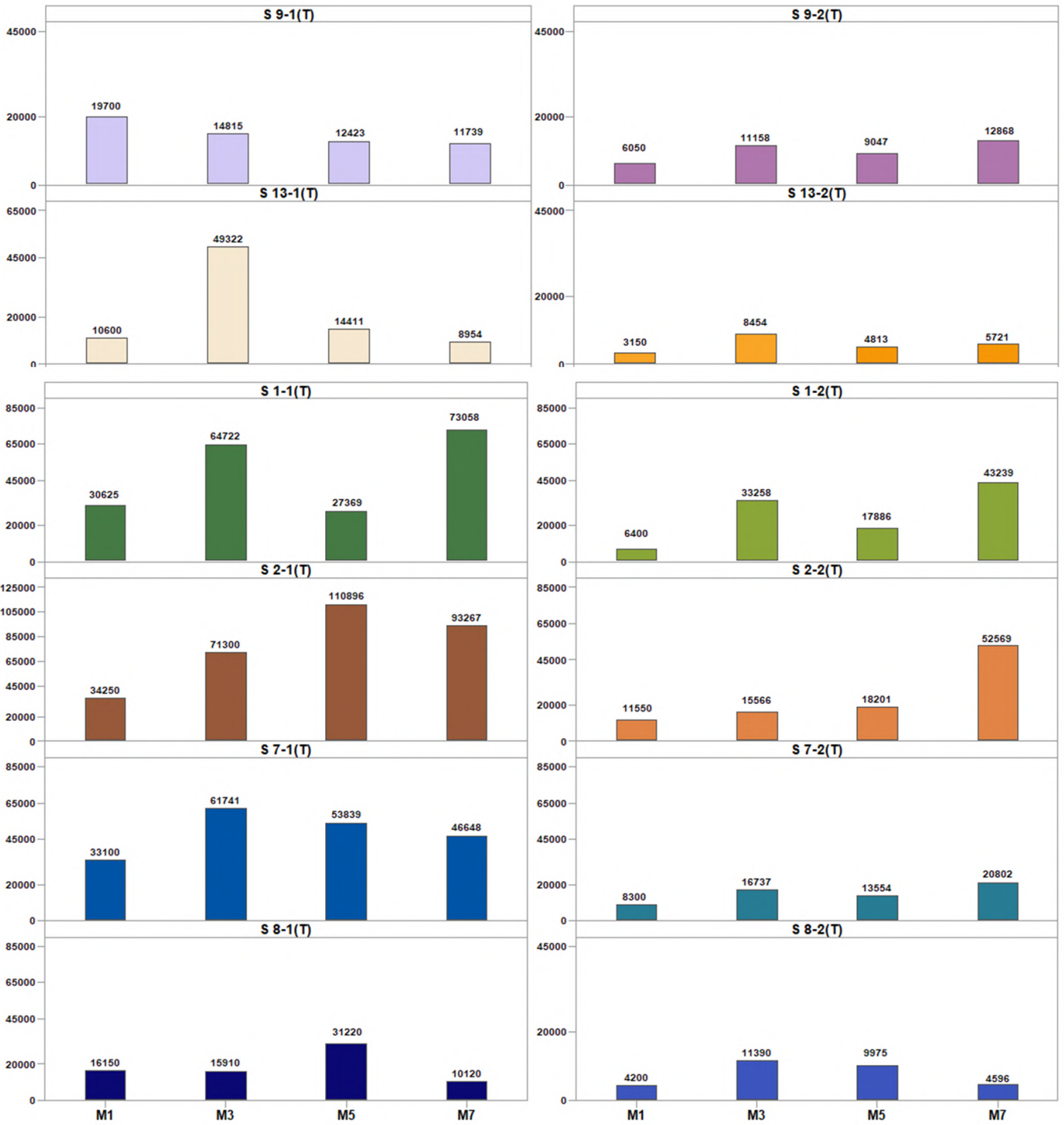


Figura N° 12-36. Resultados determinación Conductividad hidráulica 5h (cm/h). Peine.





**Figura N° 12-37. Resultados determinación Conductividad hidráulica 5h (cm/h).
Tilopozo.**



12.4.2.5 Nutrientes

a) Nitrógeno

En el sector **La Punta-La Brava**, en los monitoreos M1, M3 y M5 la concentración de nitrógenos disponible fue inferior a 10 mg/kg (**muy bajo**), excepto el punto S 5-2 para M3 (**bajo**) y para M7 la concentración fue superior a 28 mg/kg. (**medio y alto**), ver **Figura N° 12-38**.

En el sector de **Peine** y al igual que en el anterior se determinó un aumento en la concentración de nitrógeno disponible en la mayoría de los puntos en M7, excepto el punto S 10 el cual presenta la mayor concentración en M1 a M5, donde en general se observa que los valores inferiores se presentan en la mayoría de los puntos (categoría **muy baja**), exceptuando S 10-1 y S 14-1 (M1) y S 10-2 (M3), en los cuales la categoría puede ser **baja** o **media** (**Figura N° 12-39**).

En **Tilopozo**, y al igual que en los sectores anteriores la concentración de nitrógeno presenta un fuerte aumento en M7 respecto a los 3 monitoreos invernales anteriores, en este último la totalidad de los puntos de muestreo presenta valores superiores a 20 mg/kg. (categorías **media** y **alta**). Mientras que, en M1 y M5 en la mayoría de los puntos de muestreo la categoría de nitrógeno es **muy baja**, y en M3 la categoría de disponibilidad de mayor frecuencia es **baja**, ver **Figura N° 12-40**.

Las variaciones en las concentraciones de nitrógeno en los puntos de muestreos para los diferentes monitoreos, tanto en aumento como disminución de los resultados entre M1 a M5, se deberían exclusivamente a procesos naturales, como el cambio en el contenido de humedad, variación de pH y aporte de restos vegetales, entre otros.



Figura N° 12-38. Resultados determinación Concentración de Nitrógeno disponible (mg/kg.). La Punta y La Brava.

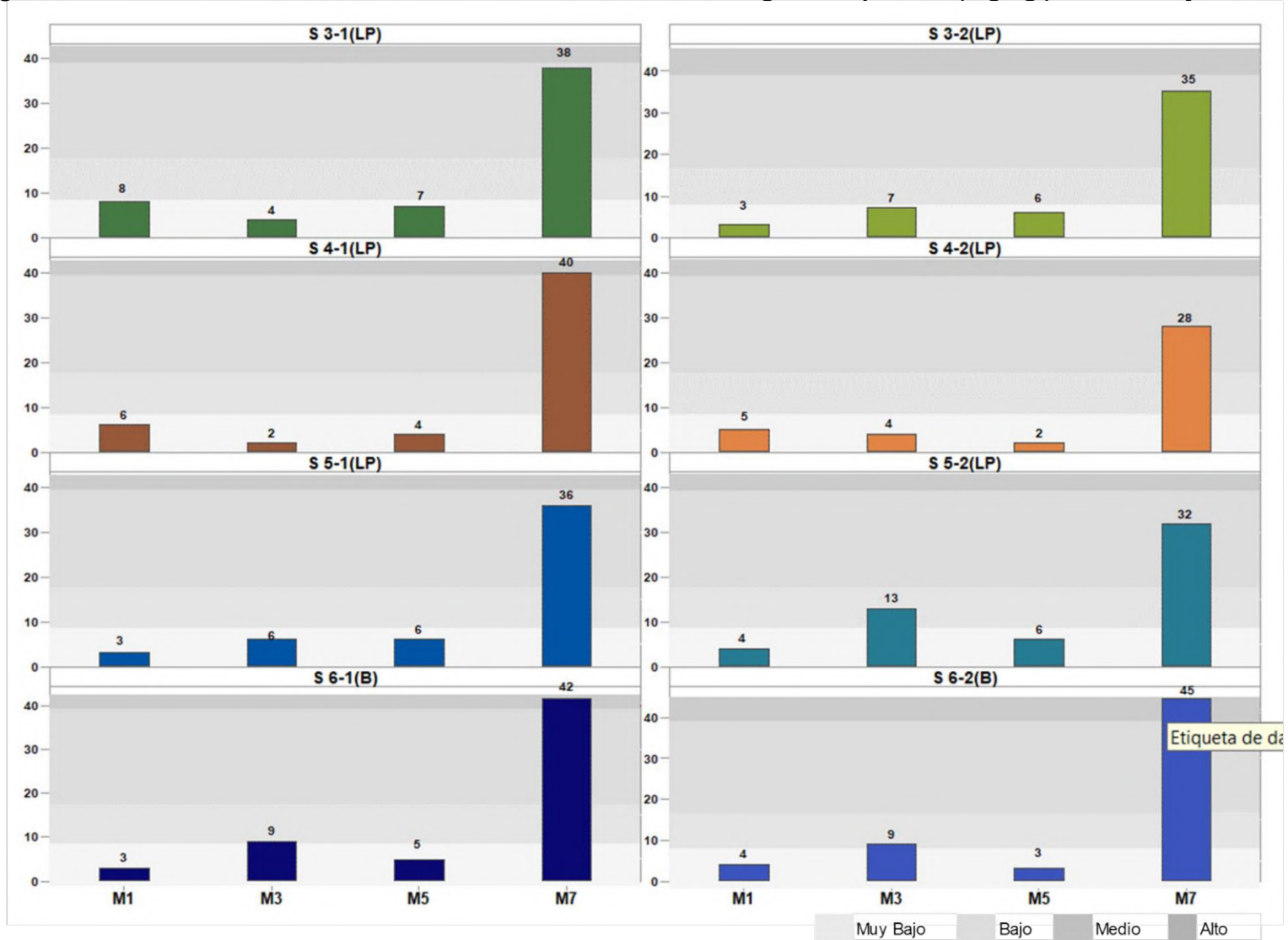


Figura N° 12-39. Resultados determinación Concentración de Nitrógeno disponible (mg/kg.). Peine.

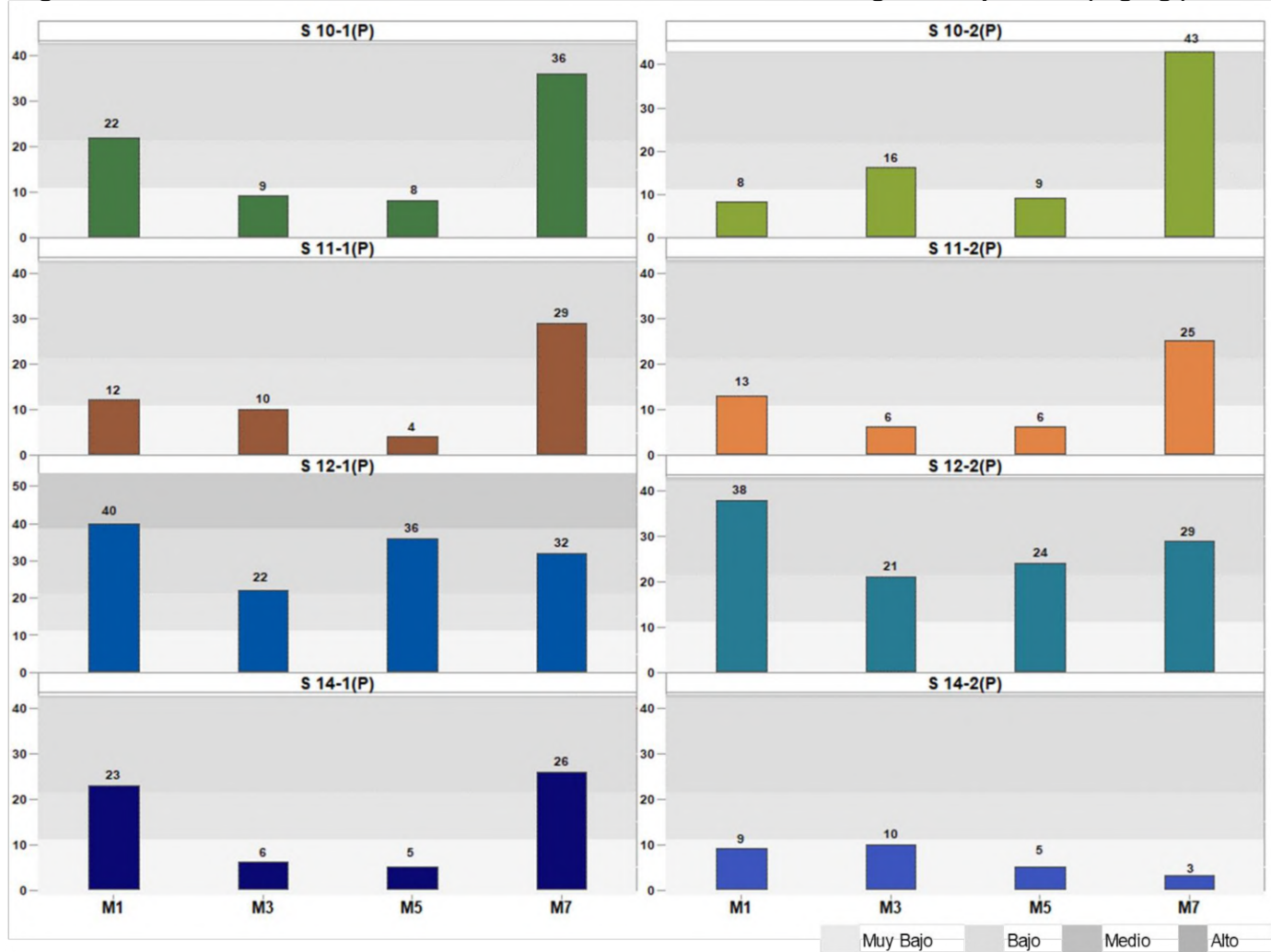
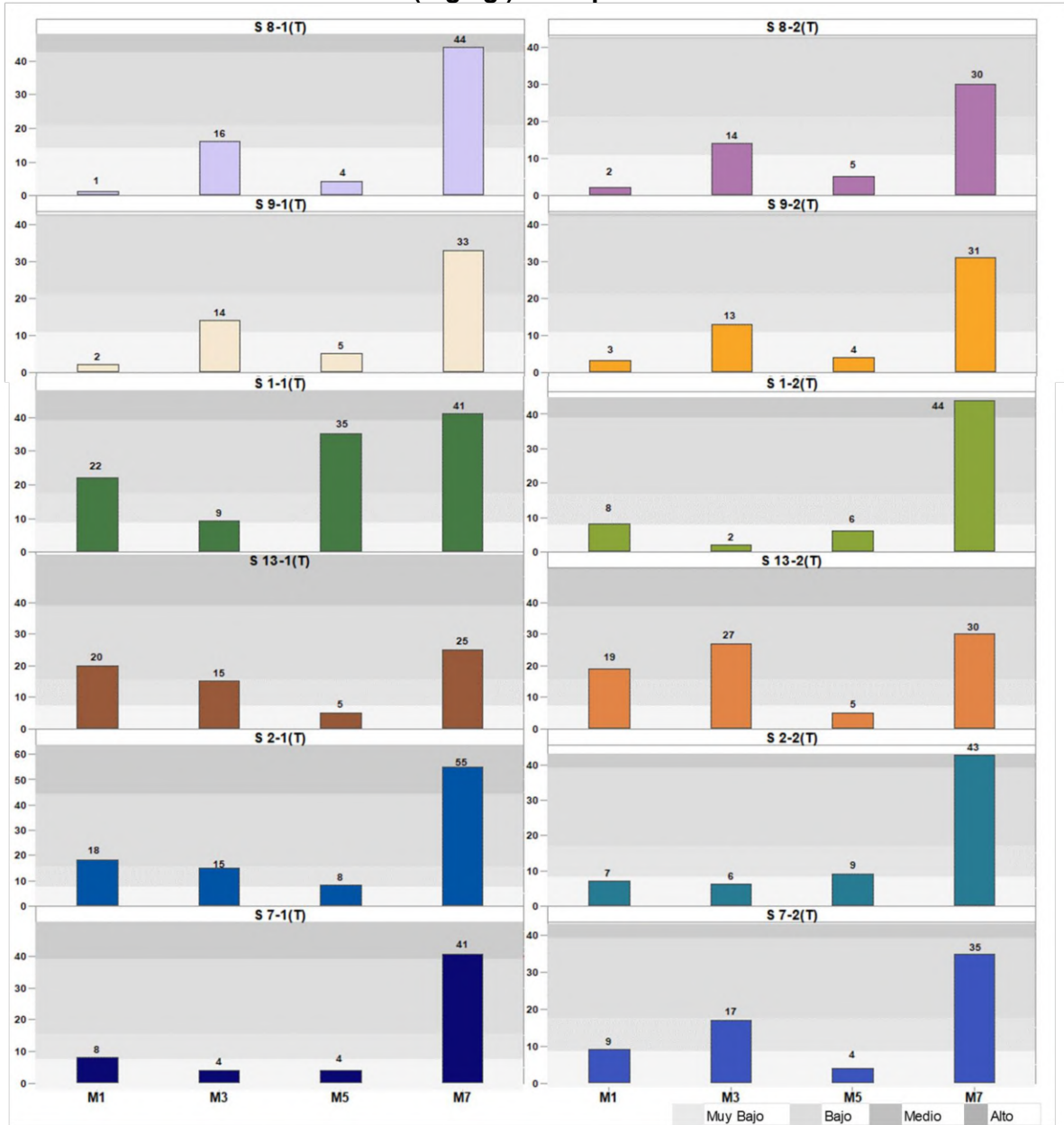


Figura N° 12-40. Resultados determinación Concentración de Nitrógeno disponible (mg/kg.). Tilopozo.



b) Potasio

En el sector de **La Punta-la Brava**, en la totalidad de los puntos de muestreo para los monitoreos invernales el potasio disponible es **alto**, destacando los puntos S 6 y S 5 los cuales presentan en todos los monitoreos las más alta concentraciones de este macroelemento, excepto S 5 en M7. En genera se observa un leve aumento en la

concentración desde M1 a M5, disminuyendo en M7 en la mayoría de los puntos, ver **Figura N° 12-41**.

La concentración de potasio en el sector de **Peine (Figura N° 12-42)**, presenta una condición de variabilidad entre los monitoreos invernales, con una disminución en la mayoría de los puntos en M3, respecto a M1, aumentando nuevamente en M5 para volver a disminuir en M7, donde la mayoría de los puntos presentan las menores concentración de los monitoreos invernales realizados a la fecha. En los puntos S 10-1, S 10-2 y S 14-2 son los que presentan las más altas concentración en los diferentes monitoreos, no existiendo una relación entre el sector y los resultados.

En el sector de **Tilopozo**, y tal como se observa en la **Figura N° 12-43** el potasio disponible es **alto** en todos los puntos para los 4 monitoreos invernales, excepto el punto S 8-2 (M7). Sin embargo, se observa una amplia variación en la concentración de este macroelemento, tanto en cada monitoreo como entre ellos, determinándose un aumento en M3, M5 y M7 respecto a M1.

Los factores que determinan la disponibilidad de potasio en el suelo corresponden al material parental, textura del suelo y clima (humedad y temperatura). De estos factores, el clima no es relevante, por cuanto el área de estudio, se encuentra localizada en una cuenca y en esta este factor no presenta variaciones significativas, por lo tanto, las variaciones en las concentraciones de este macroelemento entre puntos de un mismo sector e incluso en el perfil, se debería principalmente al material parental y la textura de los suelos, esto debido a los diversos orígenes mineralógicos de los materiales que conforman el sustrato.

Respecto a los factores antrópicos y que afectan la disponibilidad de potasio, destaca la aplicación de fertilizante (por efecto de antagonismo o relación entre ellos), sin embargo esta actividad es poco relevante en la disponibilidad de este macroelemento. Considerando que el área de estudio, no se encuentra afecta a este tipo de actividad agrícola, las variaciones en la concentración se debe a condiciones propias de los sitios o ambientales, y no a acciones antrópicas.

Figura N° 12-41. Resultados determinación Concentración de Potasio disponible (mg/kg.). La Punta – La Brava.

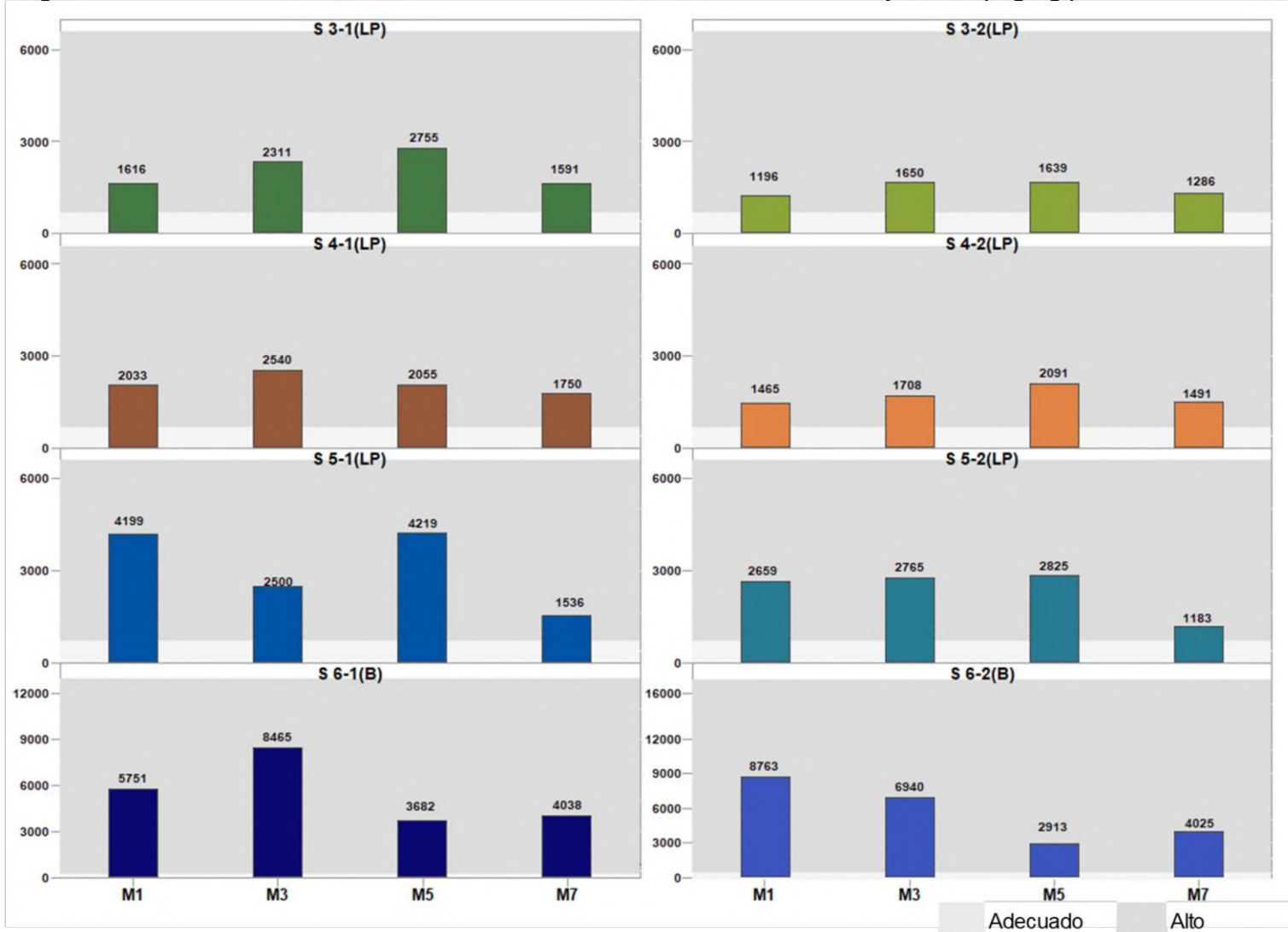




Figura N° 12-42. Resultados determinación Concentración de Potasio disponible (mg/kg.). Peine.

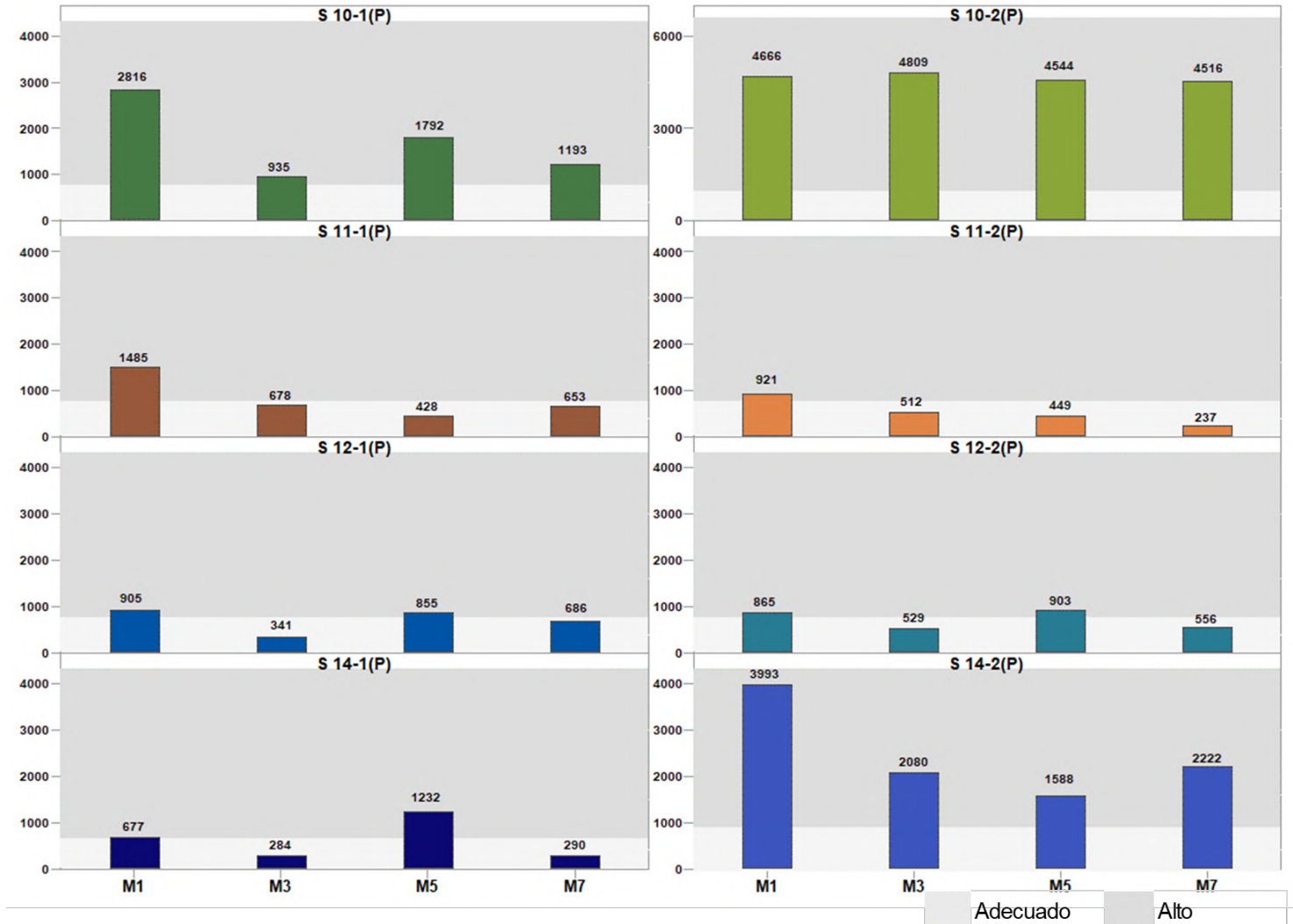
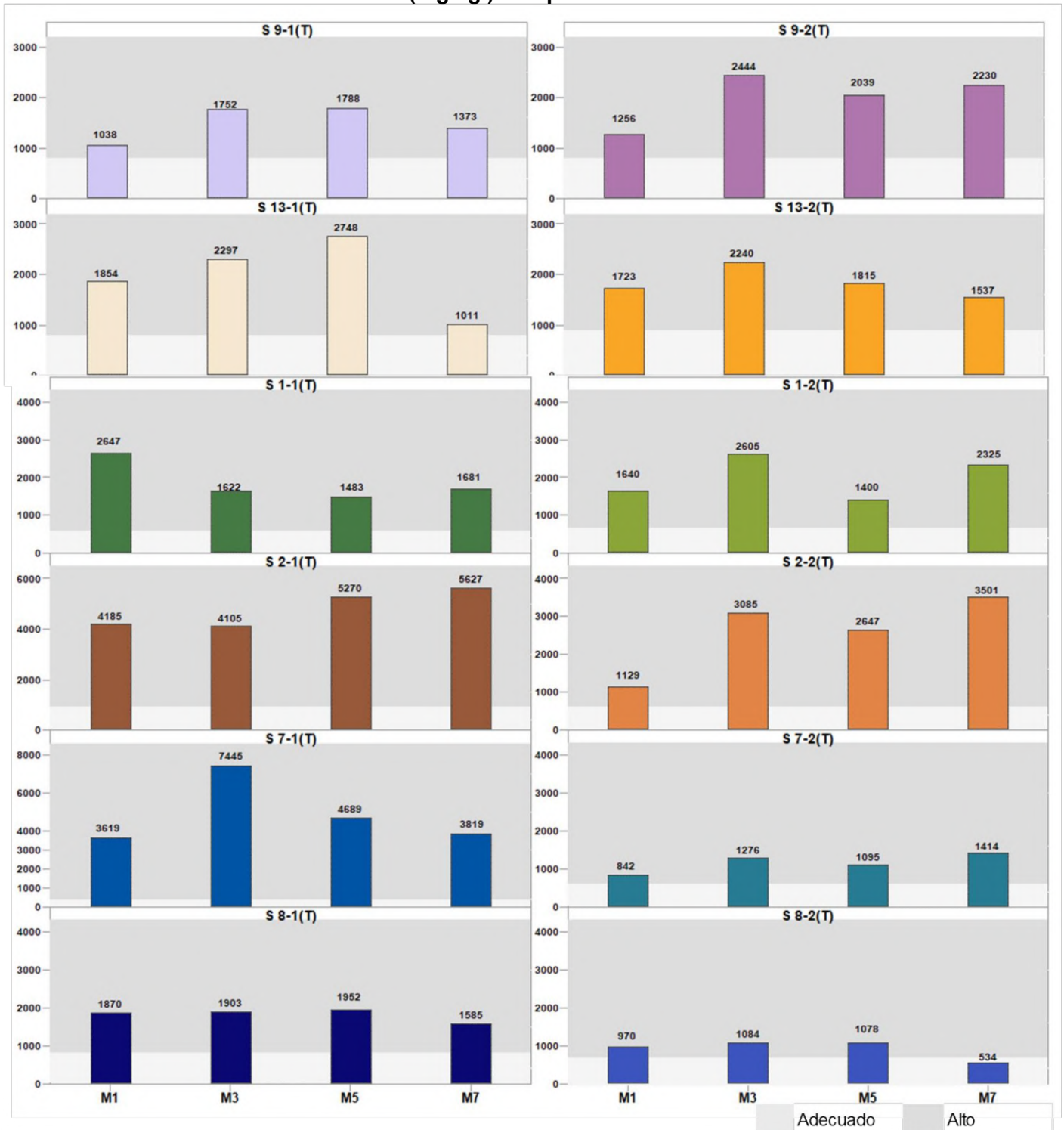




Figura N° 12-43. Resultados determinación Concentración de Potasio disponible (mg/kg.). Tilopozo.



c) Fósforo

En general la concentración de fósforo disponible en el sector de **La Punta-La Brava**, presenta una variabilidad significativa tanto en cada monitoreo como entre las diferentes evaluaciones invernales (**Figura N° 12-44**), es así como en M1, en la mayoría de los muestreo el fósforo disponible es **muy bajo**, aumentando a **bajo** y **medio** en M3 y M5, para disminuir nuevamente a **muy bajo** en M7, no existen puntos de muestreo con una clara dominancia en la concentración para todos los monitoreos invernales.

En el sector de **Peine**, se observa al igual que en el sector anterior una variabilidad en la concentración de fósforo entre puntos de un mismo monitoreos como entre las diferentes evaluaciones invernales. Sin embargo, se observa un aumento en la concentración en M3, M5 y M7 respecto a M1, incluso en la mayoría de los puntos los suelos aumenta de categoría, ver **Figura N° 12-45**.

Destacando en este sector los puntos S 10 y S 11 (M3, M5 y M7), como también S 12 (M5 y M7), con las mayores concentraciones respecto a M1.

En el sector de **Tilopozo**, el fósforo presenta un comportamiento similar al de **Peine**, en término de variabilidad y comportamiento en los diferentes monitoreos. Destaca el punto S 8-1 con la mayor concentración en M1, M 5 y M7, como también S 8-2 (M3, M5 y M7), además destaca un aumento en la concentración para M3 y M5, respecto a M1 y una leve disminución en M7 pero superior a M1 (**Figura N° 12-46**).

La disponibilidad de fósforo en el suelo, depende de la actividad de los cationes, pH, productos de solubilidad de los compuestos del fósforo, propiedades mineralógicas del suelo, topografía y drenaje, todas ellas en función de las características de los suelos. Esta últimas pueden ser afectadas principalmente por actividades antrópicas de carácter agrícola, y algunas de tipo industrial, y que para el área de estudio las variaciones entre puntos, tanto estacional como del perfil se deberían principalmente a las características de los suelos y no a factores externos.



Figura N° 12-44. Resultados determinación Concentración de Fósforo disponible (mg/kg.). La Punta – La Brava.

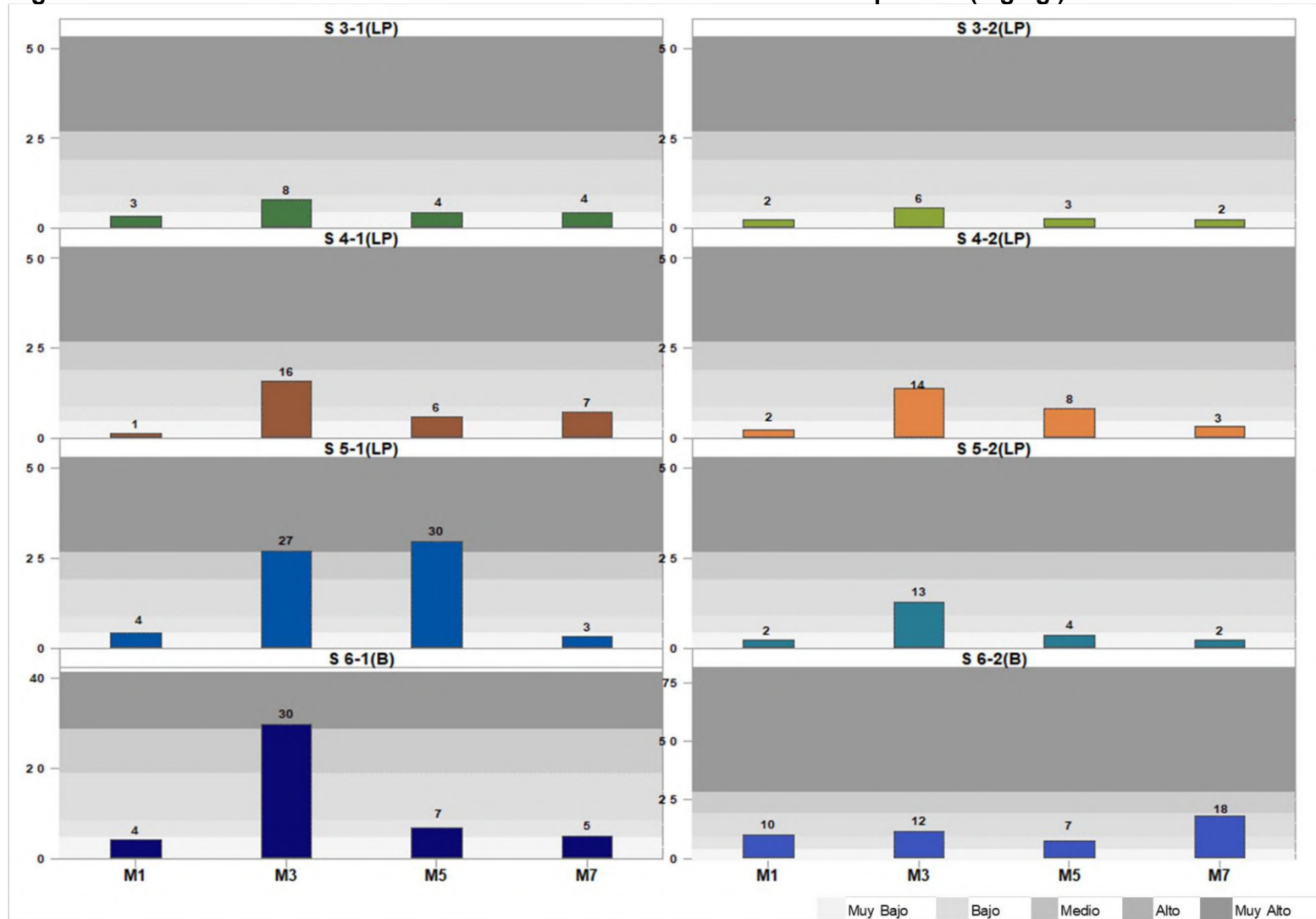




Figura N° 12-45. Resultados determinación Concentración de Fósforo disponible (mg/kg). Peine.

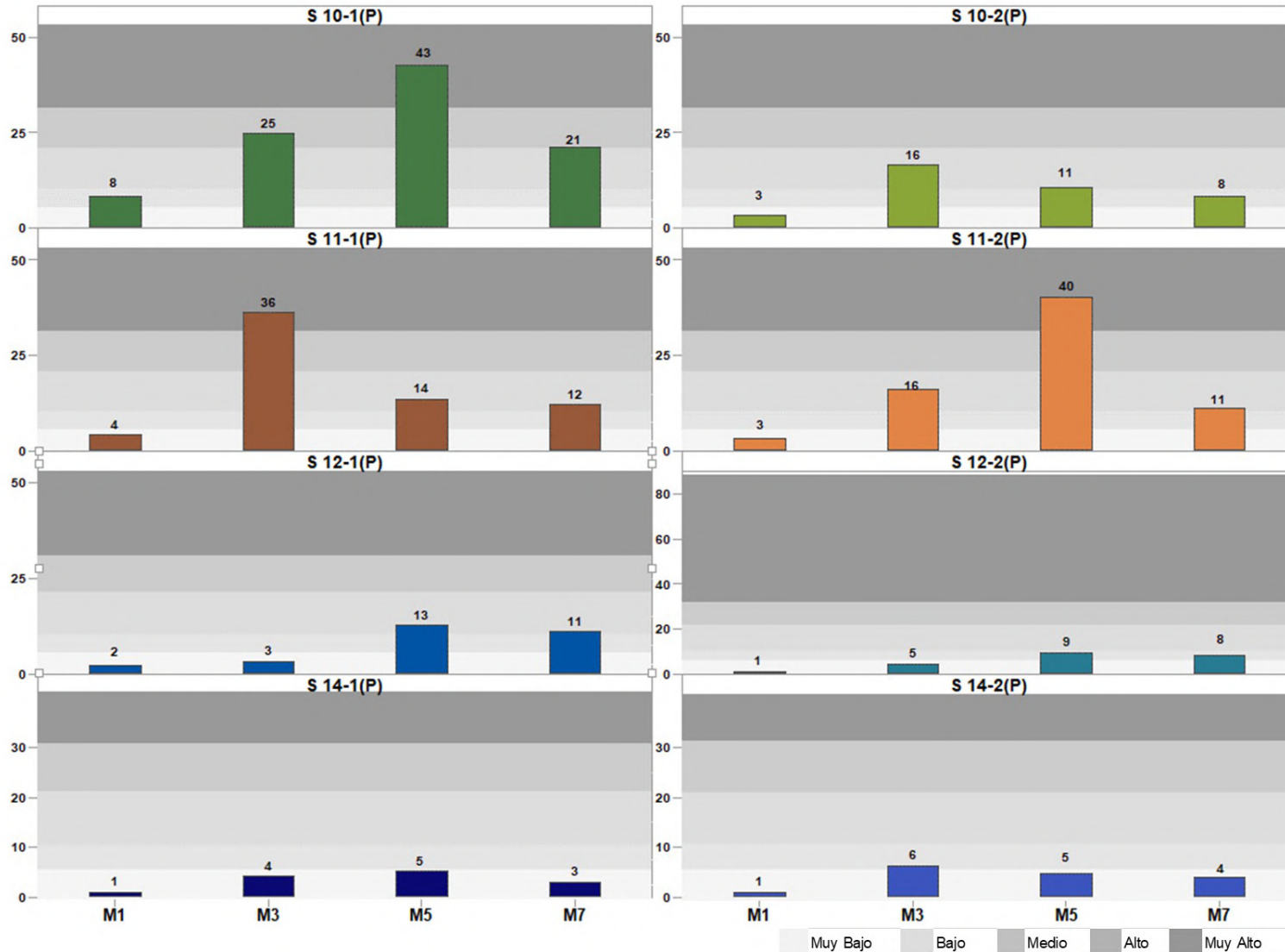
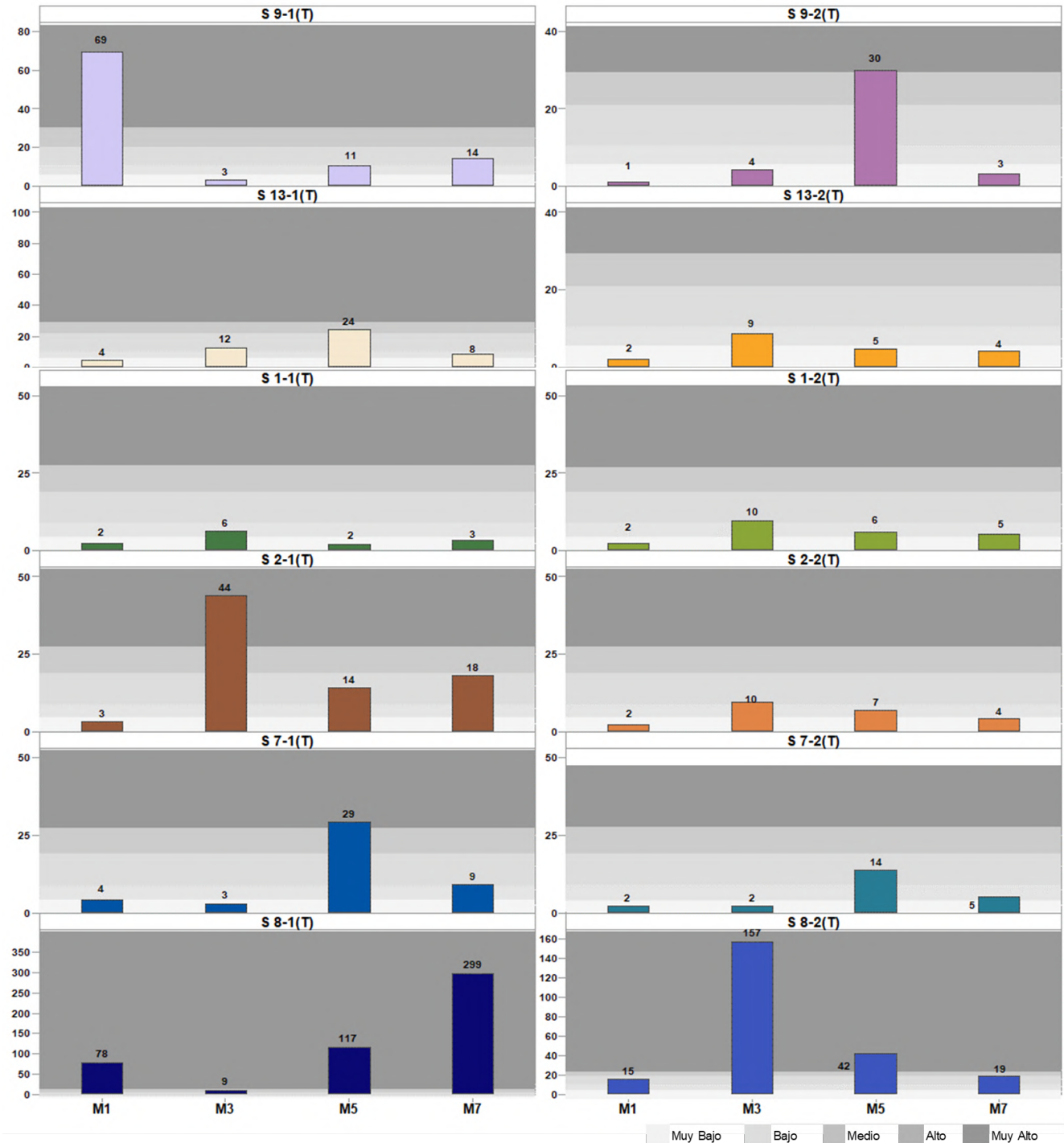


Figura N° 12-46. Resultados determinación Concentración de Fósforo disponible (mg/kg.). Tilopozo.



12.4.2.6 Humedad

En **La Punta-La Brava**, la humedad del suelo se caracteriza por presentar una variabilidad entre los puntos del sector, como también entre los mismos puntos para los diferentes monitoreos. En general, para todos los monitoreos realizados en invierno el mayor contenido de humedad se presenta en los puntos S 6 y S 3 y en la mayoría de los muestreos se observa un aumento en el contenido de humedad en M3 y M5, respecto a M1 y con un descenso en M7 a valores similares al primer monitoreo (**Figura N° 12-47**).

Para el sector de **Peine**, en la mayoría de los puntos de los monitoreos M1, M3, M5 y M7, la humedad presenta un comportamiento similar en términos de porcentajes altos y bajos de humedad, los cuales corresponde a los mismos puntos.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-48**, el porcentaje de humedad para los mismos puntos en los diferentes monitoreos es variable, lo mismo sucede al comparar los resultados de los diferentes monitoreos con M1. Sin embargo, se puede observar que en general los puntos de mayor porcentaje de humedad son los mismos para todos los monitoreos, lo que indica un cierto grado de estabilidad espacial de la variable.

Para el área se observa un aumento en el contenido de humedad de la mayoría de los puntos, excepto para S 14-2, donde en todo los monitoreos los resultados fueron inferiores a M1, en los restantes puntos donde se observa una disminución, esta es mínima.

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° 12-49**) 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 en este sector, 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 presenta porcentaje altos de humedad, excepto el punto S 9-1 en M1.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-49**, el porcentaje de humedad para los mismos puntos en los diferentes monitoreos es variable. Sin embargo, se puede observar que en general, tanto los puntos de mayor porcentaje como los de menor, son los mismos para todos los monitoreos, indicando cierta estabilidad del sistema a lo largo de los monitoreos.

En términos generales, para el área estudio la humedad presenta una variabilidad entre los mismos puntos para los diferentes monitores, como también dentro de cada sector. Sin embargo, basado en los resultados el contenido de humedad del perfil está relacionado principalmente con el tipo de suelo, destacando textura y cantidad de macroporos, lo que implica una mayor o menor retención de humedad en el perfil.

Respecto al nivel freático en relación con la humedad, en aquellos puntos donde se detecta a profundidad de trabajo, aun cuando presenta fluctuaciones estas no explicarían dichas variaciones en la humedad, más aun considerando que en algunos puntos no se detectó nivel freático a profundidad de trabajo.

Figura N° 12-47. Resultados determinación Humedad (%). La Punta-La Brava.

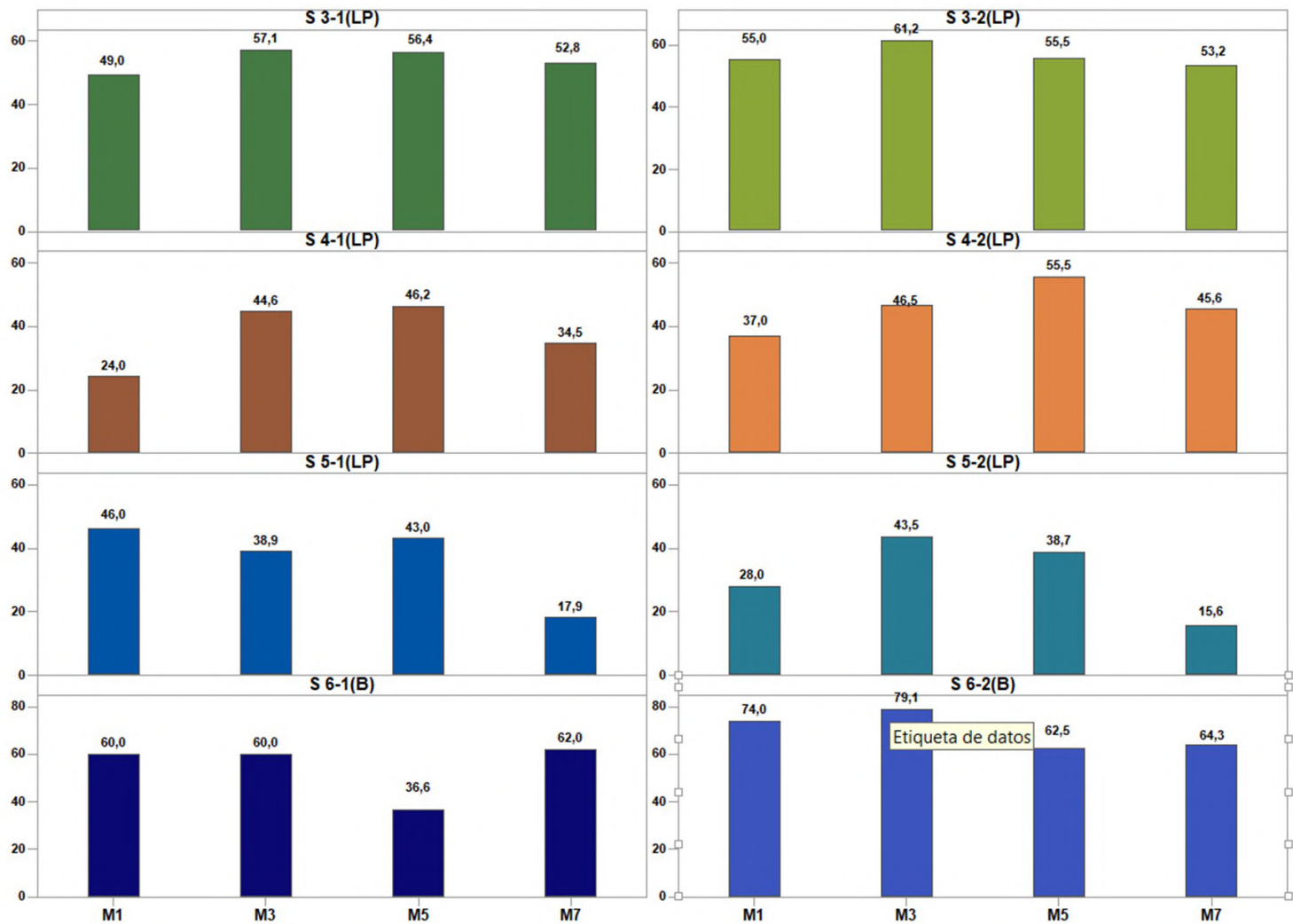


Figura N° 12-48. Resultados determinación Humedad (%). Peine.

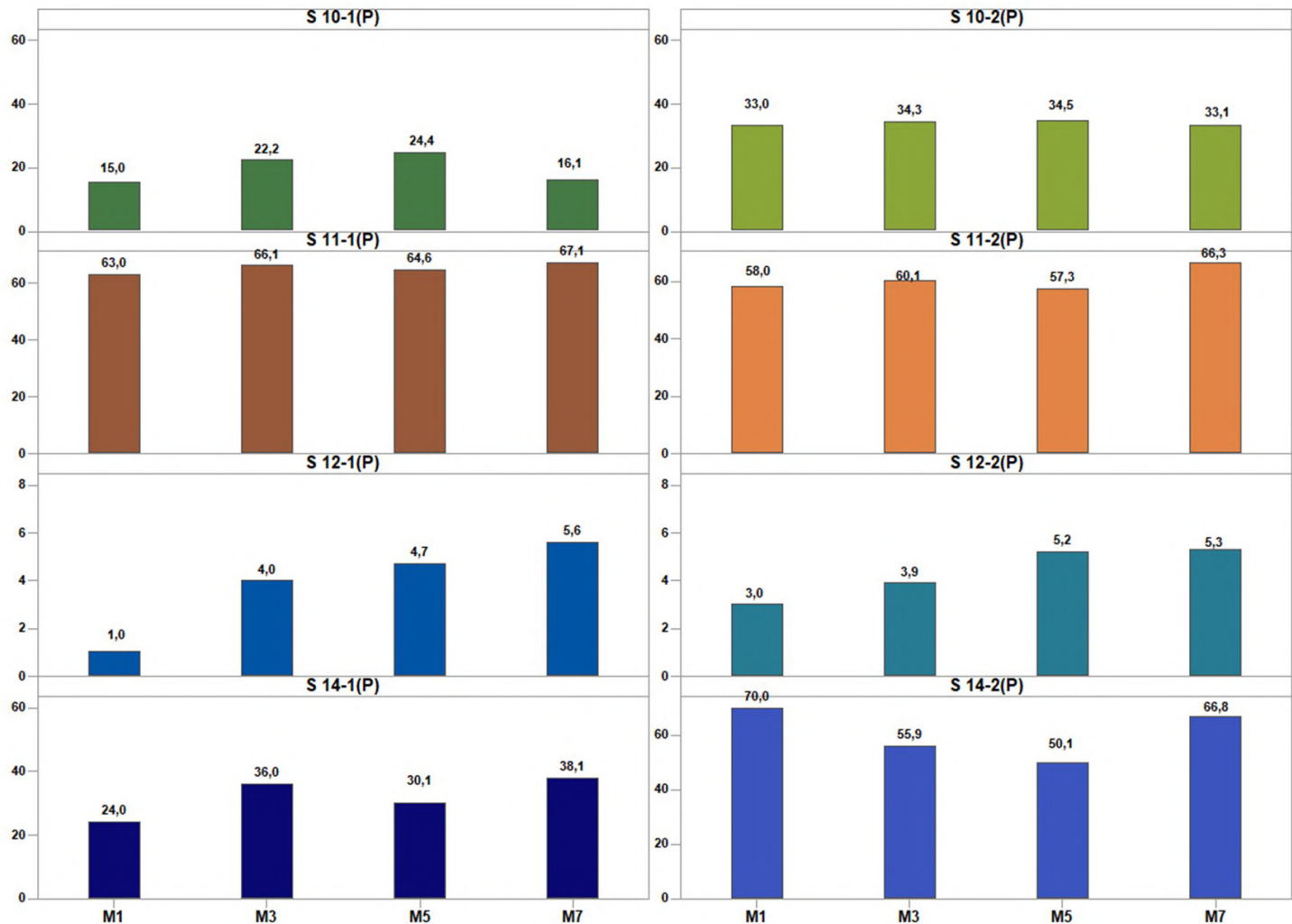
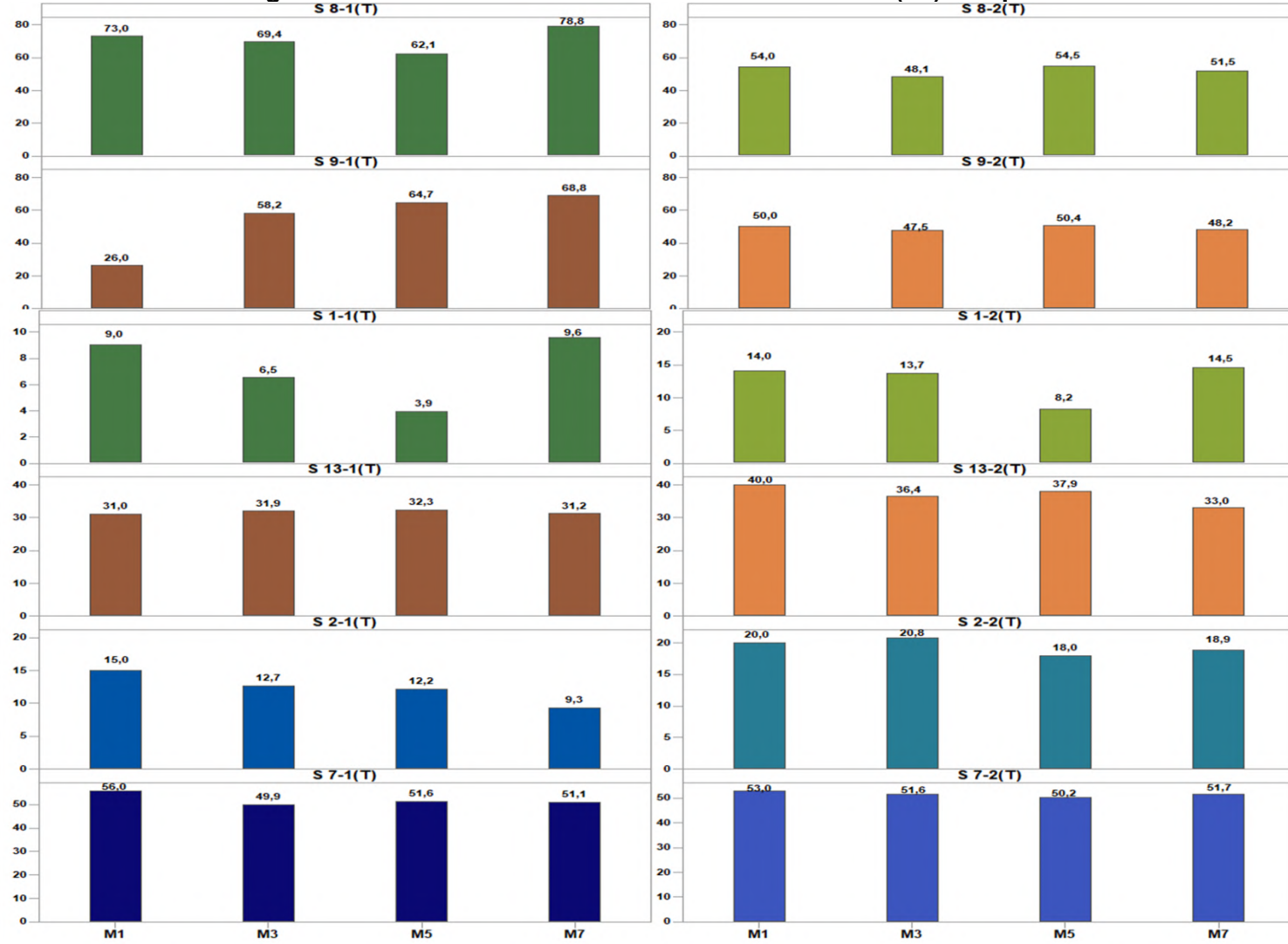


Figura N° 12-49. Resultados determinación Humedad (%). Tilopozo.



12.4.2.7 Salinidad

Para el sector de La Punta-**La Brava**, la concentración de sales solubles varía entre 3.850 a 809.43 mg/kg., considerando los valores extremos para las 4 evaluaciones invernales. En este sector se observa un aumento en la salinidad en la totalidad de los puntos de muestreo en los monitoreos M3, M5 y M7 respecto a M1, detectándose variaciones significativas en los puntos S 6 y S 4-1 y en los restantes los valores son similares (**Figura N° 12-50**).

En el sector **Peine** y en general, la concentración de sales es similar en la mayoría de los puntos de muestreo, excepto en S 10-1 (M3 M5 y M7), S 10-2 (M3 y M7) y S 12-1 (M5 y M7), los que se caracterizan por presentar los mayores variaciones respecto a los otros puntos, para los restantes monitoreos, sector en el cual la salinidad varía entre 4.100 y 187.805 mg/kg. ver **Figura N° 12-51**.

En **Tilopozo** y de acuerdo a lo que se observa en la **Figura N° 12-52**, la concentración de sales solubles fluctúa entre 3.150 a 110.896 mg/kg. con dominancia de valores inferiores a 20.000 mg/kg., excepto para los puntos S 1-1, S 2-1 y S 7-1 (M1 a M7), como también S 1-2 (M3 y M7) y S 13-1 (M3) y S 8-1, donde los valores son muy superiores a los de la mayoría. Al comparar los 4 monitoreos invernales, destaca un leve aumento en la concentración de la mayoría de los puntos, para los tres últimos monitoreo, esto respecto a M1

En relación a la salinidad, en el área de estudio se observa una importante variación en la concentración de sales por monitoreo y entre monitoreos, esto se atribuye fundamentalmente a los diferentes tipos de suelo presentes en el área, ya que el movimiento de las sales en el perfil está en relación directa principalmente con los fenómenos de evapotranspiración y percolación, los cuales están determinados mayoritariamente por las diversas características del suelo (número y tamaño de poros, textura, agregados, humedad, entre otros), y no es atribuible a actividades antrópicas.



Figura N° 12-50. Resultados determinación Salinidad (mg/Kg.). La Punta – La Brava.

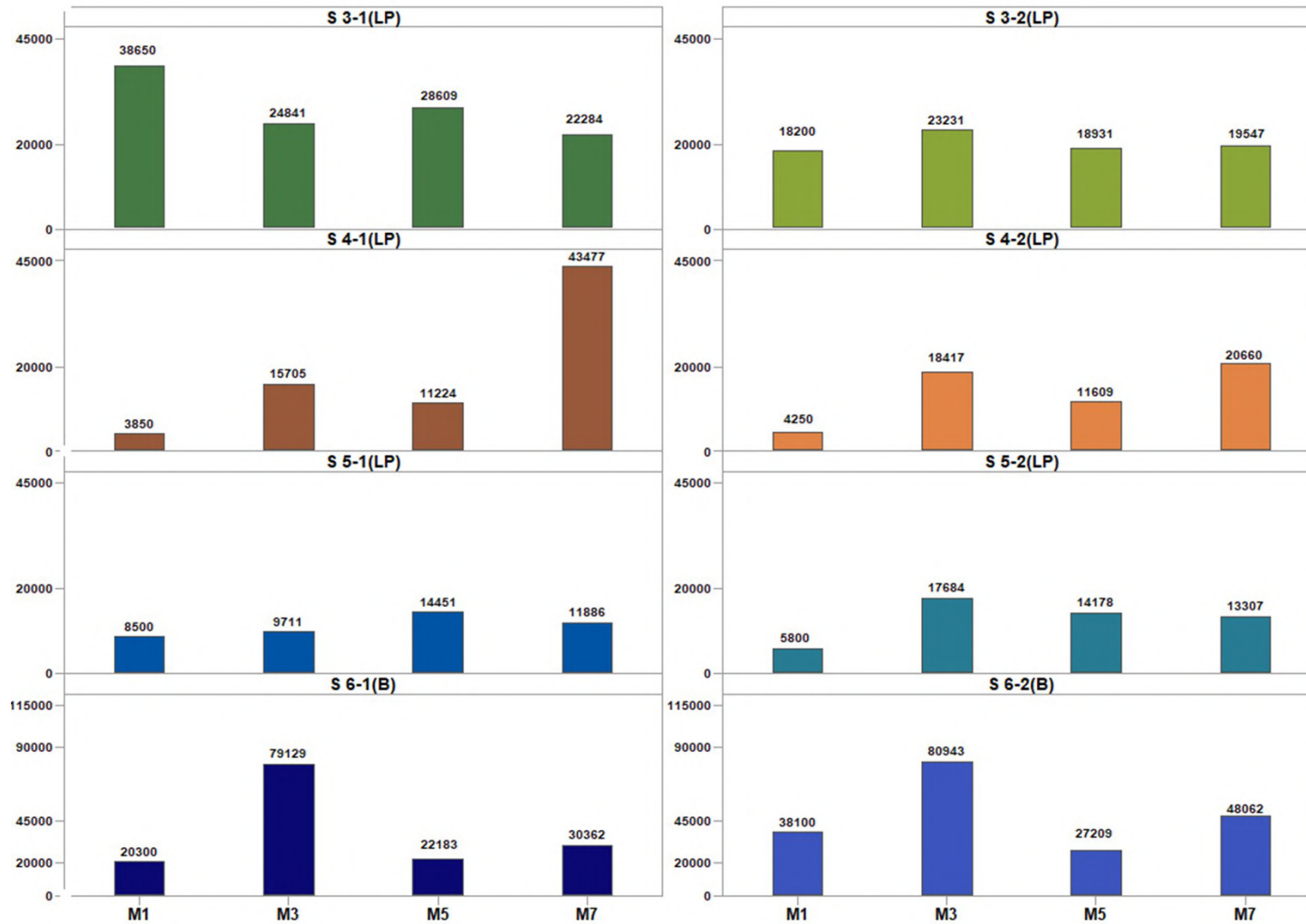




Figura N° 12-51. Resultados determinación Salinidad (mg/Kg.). Peine.

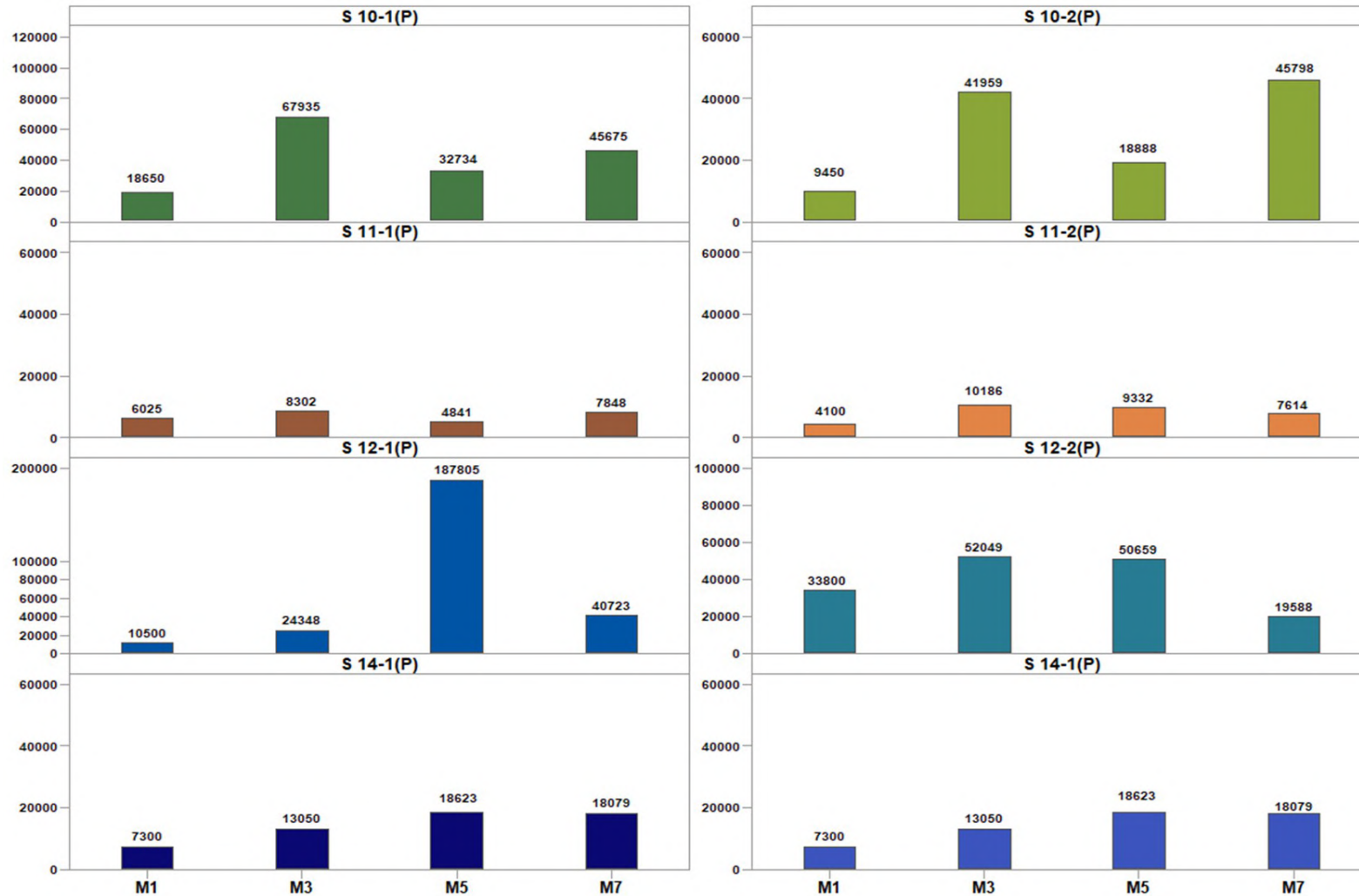
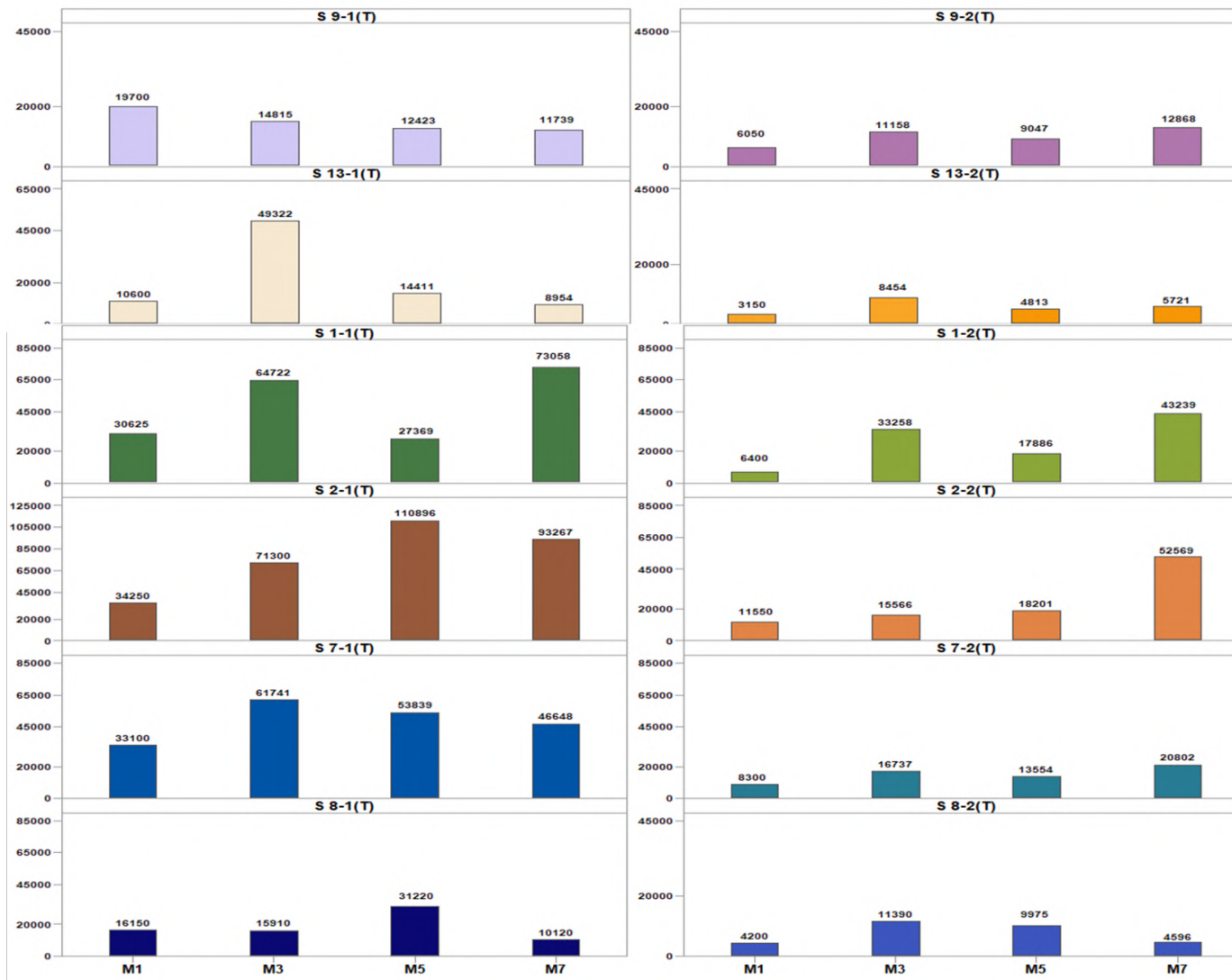


Figura N° 12-52. Resultados determinación Salinidad (mg/Kg.). Tilopozo.



12.4.2.8 Textura

Respecto a la textura del suelo y tal como se observa en la **Tabla N° 1-17 (Anexo 2 Suelo o Sustrato)**, para M1 se determinaron 5 tipos diferentes (Areno francosa, Arenosa, Franca, Franco arcillo y Franco limosa), en M3 las texturas determinadas son 7 (Arcillosa, Areno francosa, Arenosa, Franca, Franco arcillo limosa, Franco arenosa y Franco limosa), en M5 las texturas determinadas ascienden a 8 (Arcillosa, Areno francosa, Franca, Franco arcillo arenosa, Franco arcillosa, Franca arenosa, Franco limosa y Limosa), y en M7 de reconocieron 5 texturas (Arcillosa, Areno francosa, Franca, Franco arenosa y Franco limosa).

La variación en las texturas entre monitoreos se debería exclusivamente a los diferentes materiales parentales arrastrados desde el entorno hacia el plano y que conforman el sustrato, considerando que estos provienen de distintos puntos de las cuencas superiores o cerros, presentan una conformación litológica y mineralógica diferente, y que por efecto de la meteorización se originan partículas de distinto tamaño (arcilla, limo y arena), las cuales son movilizadas y depositadas, por los constantes fenómenos aluviales recurrentes en el área, lo cual determina modificaciones en las características y propiedades de los horizontes superficiales de los suelos del área de estudio.

De acuerdo con el porcentaje de cada tipo de partícula que conforman el material depositado, es el nombre de la textura asignada al suelo muestreado (**ver Figura 1-1, Anexo 2 Suelo o Sustrato**), por lo tanto, según el tipo de material depositados y la frecuencia de este fenómeno puede existir un cambio en la textura en los suelos de un sector e incluso cambios texturales entre puntos muy próximo entre ellos. De modo complementario e informativo, en la **Tabla 1-19 (Anexo 2 Suelo o Sustrato)**, se presenta la equivalencia de denominación de las texturas de los suelos en base al tamaño de partículas que presenta cada clase textural.

12.4.2.9 Nivel Freático

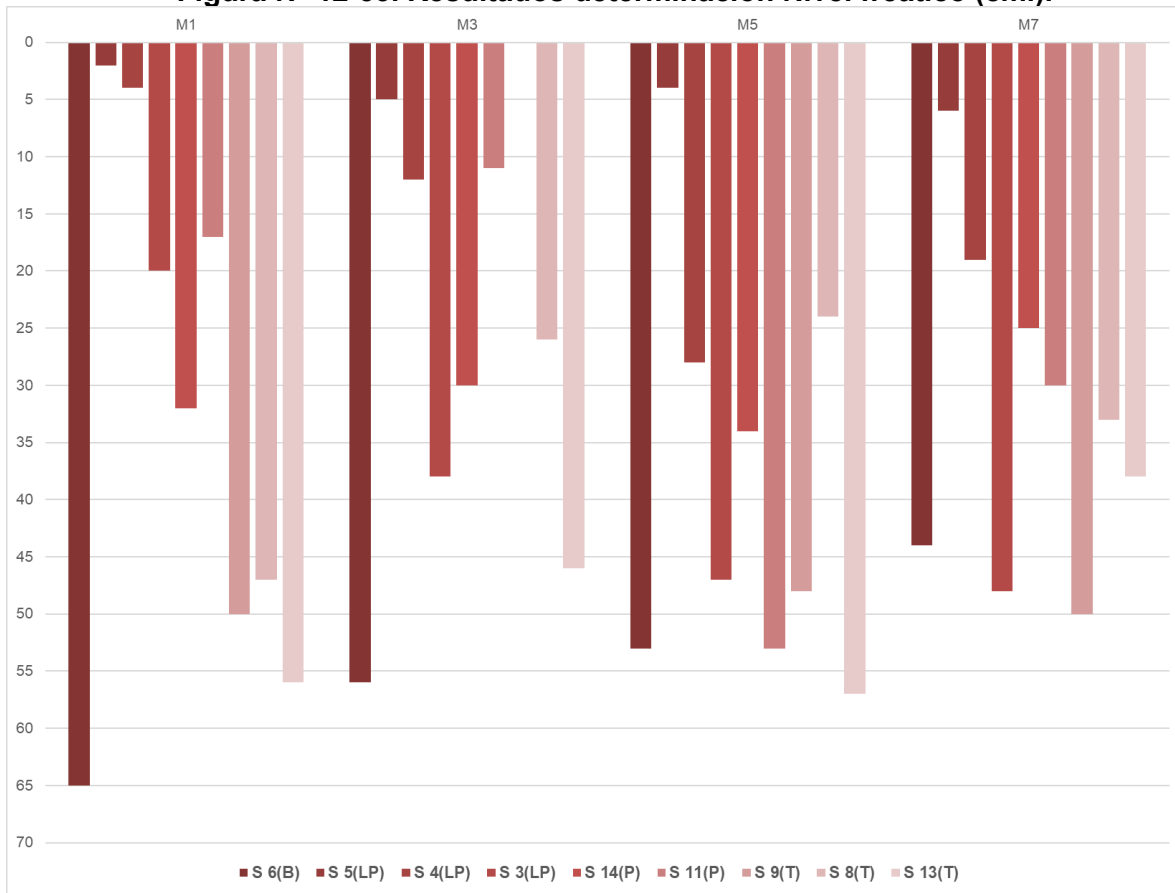
Del total de puntos de muestreo para el área de estudio (14), en M3 se determinó nivel freático en 8 puntos, y en las restantes evaluaciones invernales, el número de puntos con presencia de nivel freático asciende a 9. Sin embargo, esto no implica que en los puntos no se observó no existan, ya que puede estar presentes a una mayor profundidad.

Para el sector **La Brava**, en el único punto registrado de muestreo S 6, se detectó el nivel freático en todos los monitores invernales, observándose una disminución en la profundidad desde los 65 cm. (M1) a 44 (M7), ver **Figura N° 12-53**.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-53**, en el sector de **La Punta**, en los puntos S 3, S 4 y S 5 se detectó nivel freático a profundidad de trabajo, de estos en sólo S 3, se determinó una profundización del agua la cual varía de 20 cm. (M1) a 48 cm. (M7), en los restantes punto el nivel es fluctuante, en el caso de S 5 la profundidades fueron 2, 5, 4 y 6 cm., mientras que en S 4 estas fueron 4, 12, 28 y 19 cm., en M1, M3, M4 y M7, respectivamente.

En el sector de **Tilopozo**, se detectó nivel freático en los puntos S 9, S 8 y S 13 (**Figura N° 12-53**), en el primero de ellos en M3 no se observó nivel freático a profundidad de trabajo y se caracteriza por presentar en los restantes monitoreos una profundidad estable. En cambio, en los otros 2, la profundidad es muy variable y que en el caso de S 8 de 47 cm. en M1 asciende a 24 cm. en M5, y para punto S 13, el cual en M1 la profundidad del nivel freático se presentó a 56 cm. ascendió a 38 cm. en M7.

Figura N° 12-53. Resultados determinación Nivel freático (cm.).



12.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos)

12.5.1 En relación con Limnología Campaña Invierno 2019 (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos)

Para los parámetros de calidad de agua de los sectores Peine y La Punta-La Brava, en algunos casos se observan valores dentro del rango de LB y en otros fuera de él. Sin embargo, en los casos que se encuentran bajo los mínimos, se debe a que el límite de detección actual de análisis de esos parámetros, es menor al que se tenía previamente en la LB, como es el caso del Nitrito y Nitrato. En los casos en que algunos parámetros se encontraron por sobre el límite superior de LB para invierno, como por ejemplo Conductividad, Salinidad, Cloruro, Nitrógeno Total Kjeldhal y Fosforo, puede deberse a una variación más estrecha en los valores de referencia de la LB para los inviernos. 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, cuyas sales intervienen en el aumento de la conductividad, cloruros y sulfatos (CADE-IDEPE Consultores, 2004).

El sistema de lagunas del Sector Peine en invierno de 2019 (**Tabla N° 9-9**), 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. La conductividad mostró un marcado incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna, alcanzando los 119.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en I-17. En el caso del oxígeno disuelto se registraron valores entre 7,46 a 3,91 mg/L, disminuyendo desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual se relaciona con la solubilidad del oxígeno que disminuye en ambientes hipersalinos (Javor 1989). Por otra parte, las lagunas de ese sector presentaron todas un pH alcalino, lo cual se relaciona con los valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados. El Nitrógeno Total Kjeldhal mostró valores elevados con su máximo en la estación I-11, mientras que el fósforo y el ortofosfato mostraron sus máximos registros en la estación I-17.

El Sector La Punta y La Brava para este invierno 2019 (**Tabla N° 9-10**), también se caracterizó por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad, asociadas a la alta concentración de cloruro y sulfato, junto con un pH alcalino. Las estaciones LB-1 y LB-2 de laguna La Brava fueron las que presentaron mayores conductividades ($>102.000 \mu\text{S}/\text{cm}$), cloruro y sulfato, comparadas con el resto de las estaciones del sector. También mostraron las mayores concentraciones de alcalinidad total, bicarbonato, fosforo y las mayores temperaturas ($> 20^\circ\text{C}$). Por el contrario, la estación LB-3, ubicada en un afluente de la Laguna La Brava, mostró los menores valores de conductividad (44.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y salinidad en el sector, una alta temperatura acorde con la baja profundidad del cuerpo de agua ($22,25^\circ\text{C}$), además de la mayor

concentración de oxígeno disuelto del sector (4,35 mg/L), lo que puede estar relacionado con la escorrentía en ese afluente que permite una mayor oxigenación del agua. En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades altas también, pero menores que en La Brava (máximo de 55.470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LP-24). Las temperaturas también fueron menores en esta laguna ($<13,1^\circ\text{C}$), las concentraciones de oxígeno fueron cercanas a 4 mg/L y el resto de los parámetros de calidad de agua en La Punta, tendieron a ser similares entre las estaciones LP-23 y LP-24 (**Tabla N° 9-10**).

Los valores obtenidos en el agua del sector Tilopozo (**Tabla N° 9-11**), muestran un sistema notablemente menos salino que los otros sectores, lo que es esperable al ser una zona de vegas y pozas, registrándose valores menores de conductividad (entre 4.148 y 4.256 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (2,3 g/Kg) y un pH neutro. Se observa que los resultados obtenidos en TB-1 y TB-3 son bastantes similares en la mayoría de los parámetros, siendo importante destacar que la estación TB-2 (pajonal hídrico) en la campaña de invierno 2019 se encontró sin agua.

Los resultados de sedimento descritos para las estaciones del sector Peine y del sector La Punta y La Brava para invierno 2019, indican en su mayoría valores fuera del rango de la LB para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica, fósforo total y potencial óxido reducción (**Tabla N° 9-12** y **Tabla N° 9-13**). Esto se explica por lo acotado del registro de LB que corresponde tan solo a una campaña realizada en verano de 2015, no habiendo registros de LB en invierno para calidad de sedimentos. Tales valores de LB deben tomarse solo como un registro puntual, considerando además, que los parámetros mencionados han mostrado durante los monitoreos del Plan de Manejo Biótico desde invierno 2016, valores habitualmente fuera de ese rango de la LB, evidenciando sedimentos ricos en fósforo y nitrógeno, con elevadas concentraciones de carbono orgánico y materia orgánica, junto con presentar ambientes de características reductoras. Para el sector Tilopozo, cabe señalar que no hay registros en la LB de calidad de sedimentos y también que la estación TB-2 se encontró sin agua en la campaña de invierno 2019. En las pozas de este sector, las concentraciones de COT, porcentaje de materia orgánica y le potencial óxido-reducción de sus sedimentos fueron similares a los encontrados en los sistemas de Peine y La Punta y La Brava, a pesar de ser aguas con menor cantidad de sales (**Tabla N° 9-14**). Tales valores 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). El alto contenido de fósforo puede 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 y secundariamente en laguna Salada. Las concentraciones de nitrógeno por su parte fueron más altas en LB-3 (afluente de La Brava) y en las pozas de Tilopozo.

Respecto a los análisis granulométricos, estos no se pudieron llevar a cabo en el laboratorio debido a factores técnicos explicados por la ETFA encargada de realizar los análisis (ANAM S.A.), en la Carta R134 / 2019 incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos**. En dicha

carta, la entidad informa que las muestras de sedimento obtenidas durante la campaña de invierno de 2019, formaron una masa compacta al evaporar el contenido de agua a baja temperatura imposibilitando la determinación del ensayo de Granulometría.

Para el caso de las comunidades biológicas, en general mostraron valores dentro de los registros esperados de acuerdo a las campañas previas.

Las comunidades de microalgas, Fitobentos y Fitoplancton presentaron riquezas dentro del rango establecido previamente en la LB para las campañas de invierno. No así en relación a la abundancia la que fueron considerablemente bajas en la actual campaña de invierno 2019, respecto de la LB y de las campañas anteriores de monitoreo (**Tabla N° 9-15, Tabla N° 9-16, Tabla N° 9-17, Tabla N° 9-18, Tabla N° 9-19 y Tabla N° 9-20**).

En relación a las bajas abundancias microalgales, cabe señalar que en los años 2018 y 2019 se ha observado una mayor intensidad en las precipitaciones en el Salar de Atacama (BOLETIN CIIFEN 2019), lo que podría haber contribuido inicialmente a una dilución de las aguas de los sistemas lagunares de Peine y La Punta- La Brava, según lo observado en los registros de conductividad y salinidad para invierno 2018 (lo más bajos desde invierno 2016). Posteriormente en verano 2019 se registró un importante incremento en magnitud de tales parámetros en estos sectores, probablemente dado por la propia dinámica hidrogeológica de la zona marginal del Salar de Atacama, como la disolución de sales del agua infiltrada que luego aflora en las lagunas salinas, sumado al proceso de evapotranspiración diario. Luego en invierno 2019 volvieron a disminuir los valores de conductividad y salinidad, dado seguramente por las precipitaciones acumuladas en el sector. Tales fluctuaciones en la salinidad, afectan la diversidad microalgal y bacteriana, las tasas de fotosíntesis, además de la disponibilidad y solubilidad del oxígeno. Por otra parte, en algunas estaciones se viene observando entre inviernos la disminución de los niveles hídricos y la retracción de las lagunas como es el caso de laguna La Brava (LB-3) y laguna Saladita (S-10), mientras que en la laguna Interna, por el contrario, se observó el anegamiento de la estación de monitoreo I-17 producto del aumento de las precipitaciones durante el año, conservando altas salinidades y conductividades. De este modo, la conjunción de todos estos factores y dependiendo del sector y estación de monitoreo, estarían surtiendo un efecto sobre las abundancias de las comunidades microalgales.

En el caso del zooplancton, los valores tanto de abundancia como de riqueza estuvieron dentro de los límites de referencia de la LB del Plan de Manejo Biótico. Sin embargo, los valores de abundancia fueron en su gran mayoría notoriamente bajos, no sobrepasando los 10 ind/L como total por estación. Los principales exponentes fueron los copépodos Canthocamptidae (registrándose en todos los sectores) y el branquiópodo *Artemia franciscana* que es propio de sistemas salinos, registrándose en los sectores de Peine y La Punta-La Brava (**Tabla N° 9-21, Tabla N° 9-22 y Tabla N° 9-23**). Las bajas abundancias del zooplancton en esta campaña se pueden explicar por las bajas abundancias del fitoplancton (las causas probables de este

componente están comentadas en el párrafo anterior), ya que el zooplancton como consumidor secundario de los ecosistemas acuáticos, son activos filtradores del fitoplancton o bien, de dieta omnívora consumiendo tanto microalgas como zooplancteres en estado larvario (De los Ríos-Escalante, 2010), por lo que una baja en disponibilidad de alimento, repercute directamente en sus abundancias

Respecto al zoobentos, los valores de abundancia y riqueza de familias estuvieron dentro de los límites de referencia de la LB del Plan de Manejo Biótico. Las mayores riquezas se registraron en laguna Salada, mostrando en el resto de las estaciones solo entre 1 y 2 *taxa*. Los organismos zoobentónicos más abundantes fueron los dípteros Ceratopogonidae y Ephydriidae (tanto en Peine como en La Punta-La Brava), los ostrácodos *Eucypris* sp. (solo en laguna Salada) y el caracol Cochliopidae *Heleobia* sp. (en laguna Salada y Tilopozo) (**Tabla N° 9-24, Tabla N° 9-25 y Tabla N° 9-26**). Si bien en esta campaña de invierno 2019, los análisis de laboratorio arrojaron el género *Heleobia* (como género, no especie), debido a la complejidad en identificar el grupo, cabe mencionar que la especie *Heleobia atacamensis*, ha sido registrada históricamente como la única en el sector Tilopozo, la cual es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA). En ese contexto, los especímenes encontrados en Tilopozo podrían corresponder a esta especie.

Las plantas vasculares acuáticas (macrófitas) registradas corresponden a *taxa* nativas, detectados en los estudios previos, y que no están clasificados en alguna categoría de conservación. En este componente, se destaca la diferencia que presentaron las estaciones de vegas de Tilopozo respecto de las estaciones de Peine y La Punta y La Brava. En relación a las lagunas fue detectada la hidrófita *Ruppia filifolia*, taxón típico de ambientes salobres 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*, *Gramma salada*, *Distichlis spicata* y *Schoenoplectus californicus*.

Si bien, este estudio no contempló la evaluación de fauna íctica, en la presente campaña de invierno 2019 y en las anteriores fue registrado el pez *Gambusia* sp., por observación directa solamente en el Sector Tilopozo, en las estaciones TB-1 y TB-3, este último punto además presentó una leve eutrofización de la poza, por el aumento en la presencia de lamas de microalgas en superficie, lo que se relaciona con las mayores concentraciones de Nitrato, Nitrógeno Total Kjeldhal y Fósforo en esta campaña de invierno 2019.

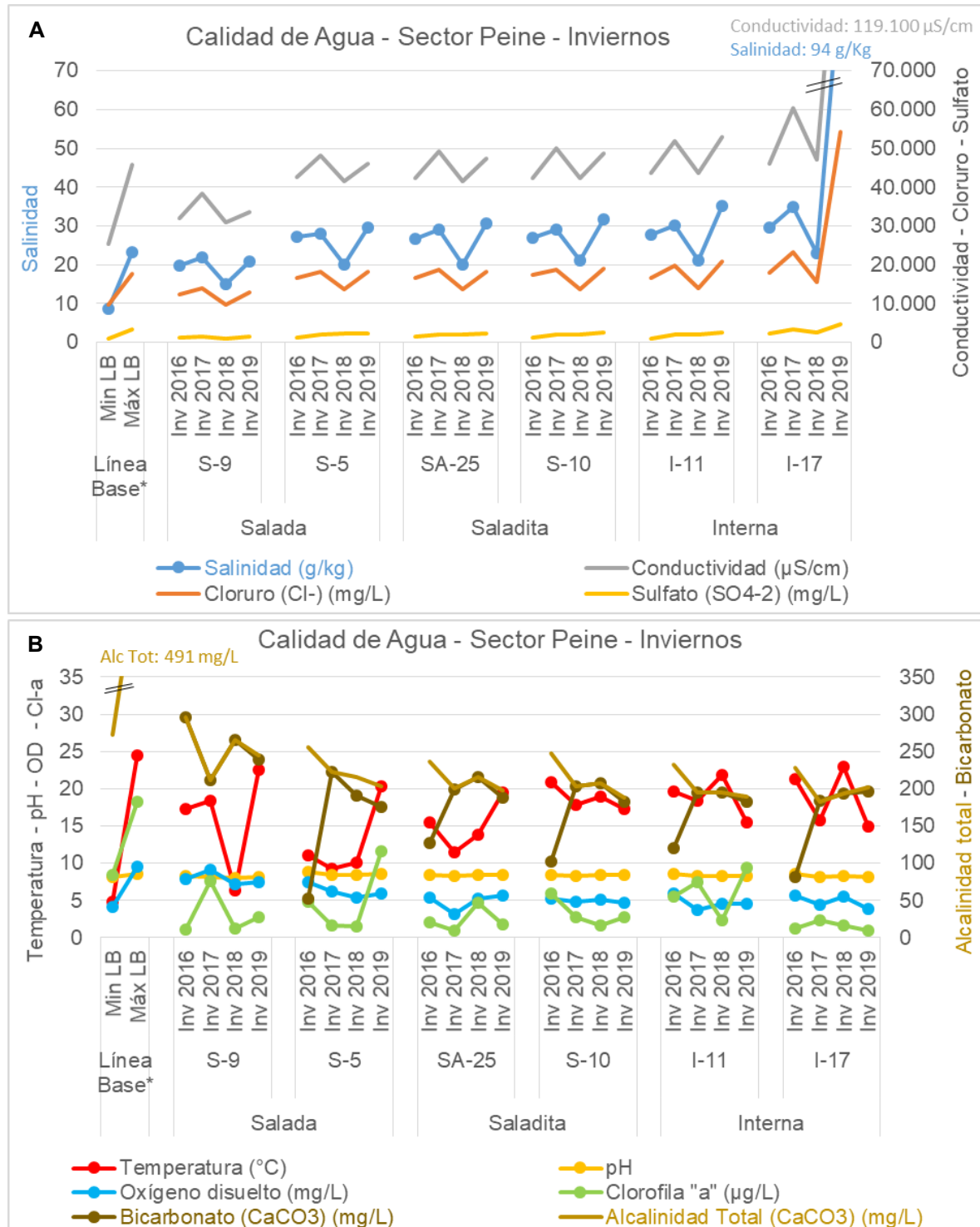
12.5.2 Calidad de agua y su evolución en el tiempo

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° 12-54**). Los registros de calidad de agua para los inviernos de

2016, 2017, 2018 y 2019, mostraron que los parámetros de Conductividad, Salinidad y Cloruro, tuvieron 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 registra la máxima Conductividad, Salinidad y concentración de Cloruro registradas para los monitoreos de invierno en este sector. El sulfato se ha mantenido bajo el límite máximo de la LB, exceptuando en la última campaña en la estación I-17, el cual lo sobrepasó (**Figura N° 12-54, A**). Cabe mencionar que tales 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.

Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentaron un marcado carácter básico en todas las campañas de invierno, con un pH mayor o igual a 8 en todos los registros, esto en concordancia con los altos valores alcalinidad total registrados (menores al límite inferior de la LB), observándose una tendencia a disminuir desde laguna Salada hacia laguna Interna (**Figura N° 12-54, B**). Los mayores valores de alcalinidad total, se registraron todos en invierno 2016, dado por la mayor concentración de carbonatos respecto de los bicarbonatos en la mayoría de las estaciones, mientras que en invierno 2017, 2018 y 2019, fueron mayores las concentraciones de bicarbonatos respecto de los carbonatos. La temperatura fue variable, pero se mantuvo dentro de los límites de la LB, observándose los mayores registros para las estaciones S-9, S-5 y SA-25 en invierno 2019, para S-10 en invierno 2016 y para I-11 e I-17 en invierno 2018. Respecto al oxígeno disuelto, sus concentraciones están en su mayoría dentro de los valores de LB para todos los inviernos, observándose una tendencia en su disminución desde laguna Salada hacia laguna Interna, lo cual se puede relacionar con las altas salinidades y temperaturas registradas, que generan una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Las concentraciones de clorofila “a” en general fueron bajas y se relacionan con la baja actividad fotosintética, ya que es una medida indirecta de la productividad primaria (**Figura N° 12-54, B**).

Figura N° 12-54. Variación temporal para algunos parámetros de calidad de agua del Sector Peine.



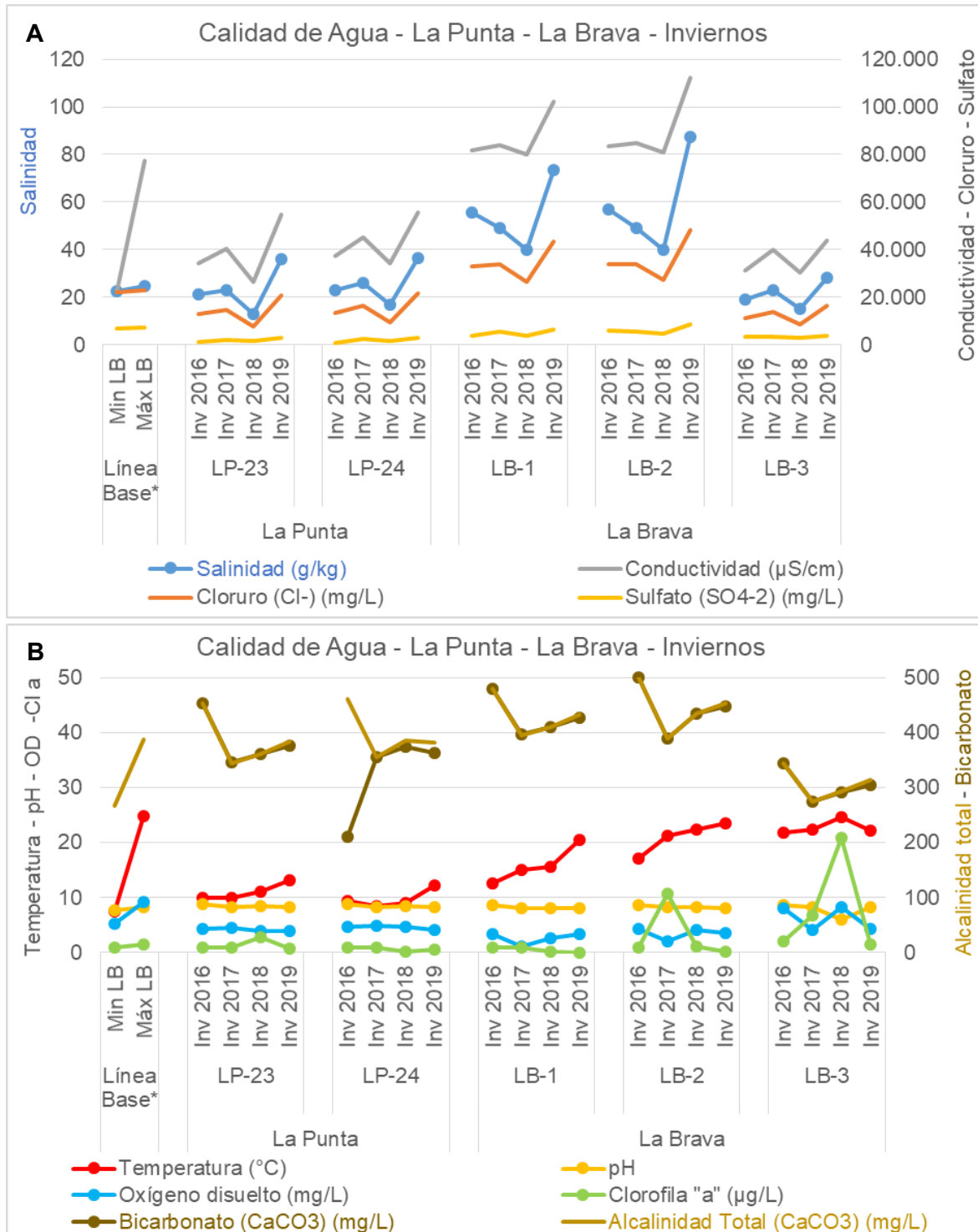
Fuente: Elaboración propia. *Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante las campañas de invierno de 2008, 2013 y 2014 de la Línea Base.

Para las estaciones de **La Punta y La Brava**, los registros obtenidos durante los monitoreos de invierno estuvieron en algunos casos dentro y otros fuera de los rangos determinados para este sistema, según la LB de referencia utilizada, la cual presenta en general un rango estrecho de variación para los inviernos considerados (2008, 2013 y 2014). Para los parámetros de conductividad y salinidad, los cuales se asocian a la alta concentración de sales como cloruros y sulfatos, se observó que en todas las estaciones los menores valores se registraron en invierno 2018 y los más altos en invierno 2019. En laguna La Brava se distinguen las más altas variaciones entre inviernos, donde las estaciones LB-1 y LB-2 presentaron las mayores salinidades y conductividades del sector. Por su parte, en la estación LB-3 ubicada en la desembocadura de un afluente de laguna La Brava, se registraron menores valores y variación de estos parámetros que el resto de las estaciones. En la Punta, se observó también los menores registros en invierno 2018 y los mayores en invierno 2019, siendo muy similar esta tendencia para las estaciones LP-23 y LP-24. Cabe mencionar que en todos los inviernos hubo un marcado incremento en conductividad y salinidad desde la laguna La Punta hacia La Brava (exceptuando LB-3), alcanzando en LB-2 los 112.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondiente a una salinidad de 87,2 g/Kg en la última campaña de invierno 2019 (**Figura N° 12-55, A**). El agua para LB-1 y LB-2 se clasifica como hipersalina (>40 g/L) (Ribera, 2016), lo que está también en concordancia con los estudios en esta laguna de Farías *et al.* (2014) y Fernandez *et al.* (2016).

Las temperaturas registradas en este sector en general muestran un incremento en todas las estaciones desde el invierno 2016 al 2019 (máximo de 24,6 °C en LB-3 en invierno 2018) junto con un incremento de las temperaturas desde La Punta hacia La Brava. En el sector también se presentaron valores alcalinos de pH para la mayoría de 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. Respecto al oxígeno disuelto, este presentó concentraciones bajas cercanas a 4 mg/L (bajo el mínimo de la LB), excepto en la estación LB-3 en los inviernos de 2016 y 2018, donde sobrepasaron los 8 mg/L. Las concentraciones de clorofila “a” en este sistema fueron bajas, lo que se puede relacionar con la baja actividad fotosintética (**Figura N° 12-55, B**).

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 impregnado con una salmuera de cloruro de sodio rica en litio, potasio, magnesio y boro. 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). 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. Alonso y Risacher (1996) establecen que en las aguas de aporte más salinas, el exceso de Na, Cl, Ca y SO₄ proviene muy probablemente de la redisolución de antiguas evaporitas asociadas a las rocas sedimentarias de las vertientes E y NE de la cuenca. Así mismo, las mayores conductividades, salinidades y concentraciones de sulfato, se registraron históricamente en las estaciones más cercanas al núcleo del salar (LB-1 y LB-2 en La Brava e I-17 en Interna) (**Figura N° 12-54 y Figura N° 12-55**).

Figura N° 12-55. Rangos de variación temporal para algunos parámetros de calidad de agua del Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración propia. *Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante las campañas de invierno de 2008, 2013 y 2014 de la Línea Base.

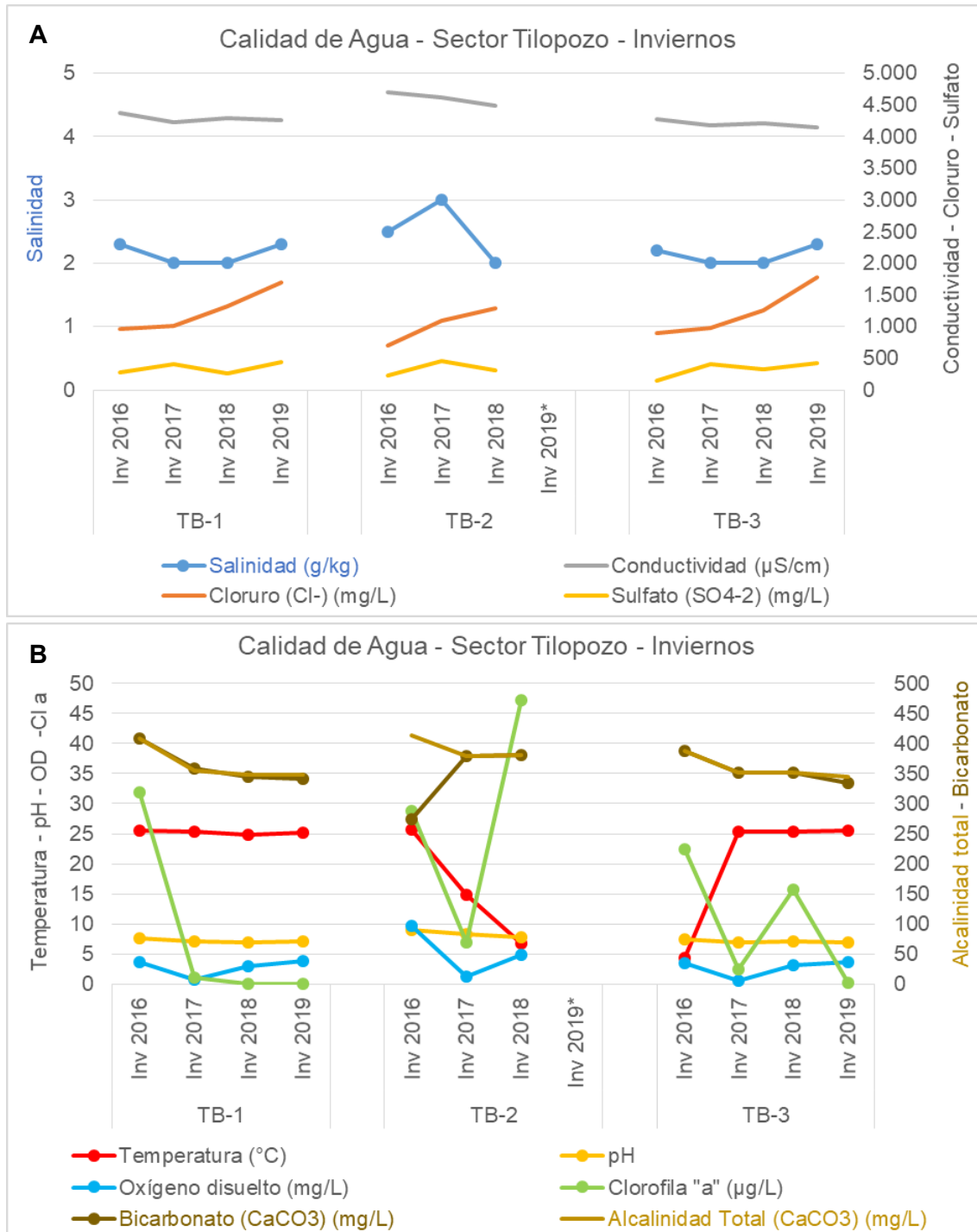
Los valores obtenidos en el sector de **Tilopozo** durante los monitoreos de invierno (**Figura N° 12-56**), muestran un sistema con menor conductividad (entre 4.148 y 4.690 $\mu\text{S}/\text{cm}$), salinidad (2 a 3 g/Kg), cloruro (702 a 1.772 mg/L) y sulfato (139 a 453 mg/L), que los otros sectores monitoreados, condición esperable dada las características de este sistema de vega y pozas, además de su lejanía del núcleo del salar. Si bien las concentraciones de cloruro han mostrado un aumento desde invierno 2016 a 2019, el resto de los parámetros relacionados con las sales han sido generalmente estables o de baja variación durante los monitoreos de invierno (**Figura N° 12-56, A**).

El pH registrado en los inviernos, ha sido de básico a neutro (9 a 6,86), con valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 408 y 274 mg/L. Las temperaturas en general han sido estables para las estaciones TB-1 y TB-3 (cada una corresponde a una poza con afloramiento de agua subterránea), las cuales fueron cercanas a 25°C (excepto en invierno 2016 donde fue de 4,4°C), mientras que en la estación TB-2 ha ido disminuyendo la temperatura desde invierno 2016 a 2018 (en invierno 2019 se encontró sin agua). De igual forma, los parámetros de alcalinidad, bicarbonato, oxígeno disuelto, junto con la salinidad y conductividad, entre otros, tuvieron resultados similares para las estaciones TB-1 y TB-3 durante los monitoreos de invierno, a diferencia de la estación TB-2 que presentó mayor variabilidad en estos parámetros en el tiempo (**Figura N° 12-56, B**).

Las concentraciones de clorofila “a” registradas en este sistema han sido variables durante los inviernos y se relacionan con la actividad fotosintética, ya que es una medida indirecta de la productividad primaria. En invierno 2016 se registraron las mayores concentraciones de clorofila “a” en TB-1 y TB-3, mientras que en invierno 2018 se registró la más alta concentración para el sector en la estación TB-2 (**Figura N° 12-56, B**).

Cabe indicar que el sector de Tilopozo no posee registros en la LB respecto de la variable calidad de aguas.

Figura N° 12-56. Rangos de variación temporal para algunos parámetros de calidad de agua del Sector Tilopozo.



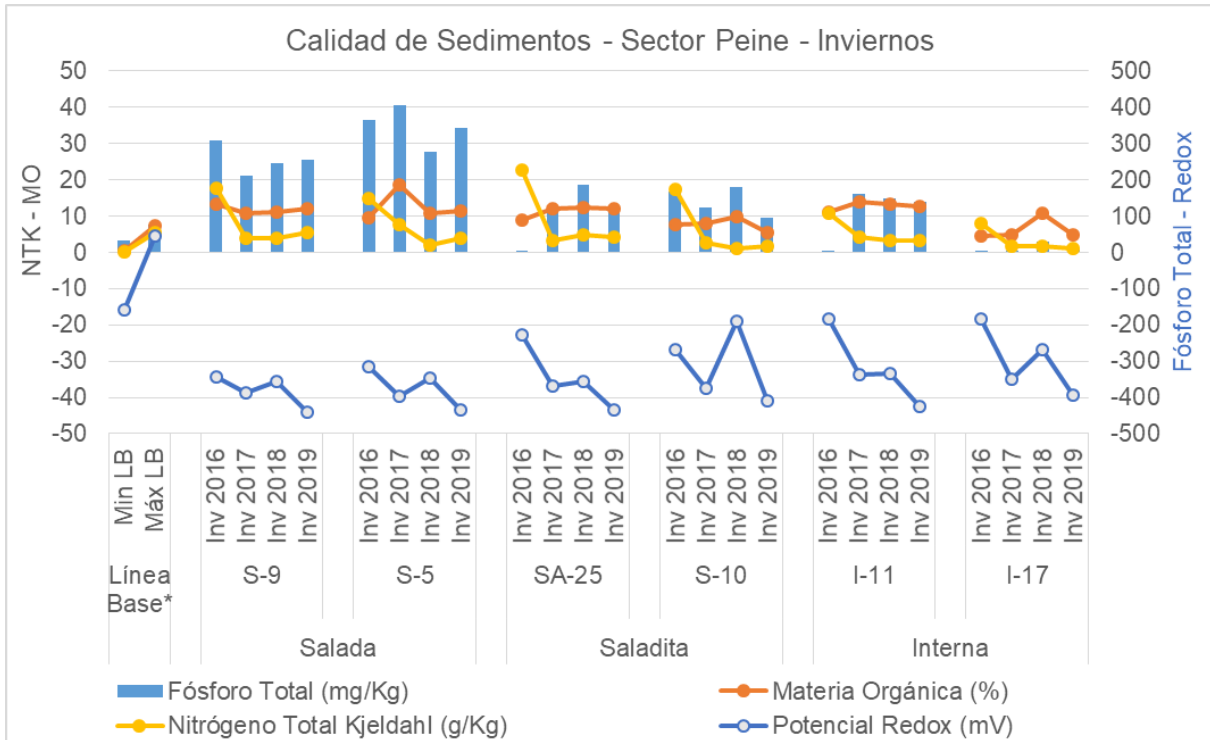
Fuente: Elaboración propia. * La estación TB-2 en invierno 2019 se encontró sin agua al momento del muestreo.

12.5.3 Calidad de sedimentos y su evolución en el tiempo

Respecto al sedimento, cabe mencionar que sólo se efectuó una campaña de levantamiento de datos de LB en verano del año 2015, por lo que los desvíos con respecto a estos datos como referencia pueden deberse a la variación natural de los sistemas. El sector de Tilopozo no posee registros en la LB respecto de la variable calidad de sedimentos.

Los resultados obtenidos en los monitoreos de invierno para el sector **Peine**, muestran que los parámetros de carbono orgánico total (entre 26,5 a 108,5 g/Kg), materia orgánica (de 4,57 a 18,71%) y fósforo total (0,5 a 404,31 mg/Kg), presentaron por lo general valores sobre el máximo registrado para la LB, exceptuando en la estación I-17 en laguna Interna. Cabe señalar que la única referencia de LB para sedimentos disponible es de verano 2015. En el caso de la materia orgánica y el COT, tienen el mismo comportamiento por lo que solo se graficó el porcentaje de materia orgánica y su variación podría estar relacionada directamente con la actividad biológica, dada por la acumulación de subproductos orgánicos e inorgánicos que generan los microorganismos halofílicos. Aunque los sedimentos son relativamente ricos en materia orgánica, gran parte de esa materia orgánica es aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica (Javor, 1989). El alto contenido de fósforo en la mayoría de las estaciones del sector Peine, puede deberse a la misma razón, aunque se observa una tendencia clara a disminuir en concentración desde laguna Salada a laguna Interna. En el caso del nitrógeno total Kjeldahl, se observa que en todas las estaciones disminuye su concentración desde invierno 2016 a invierno 2019. Respecto al potencial redox, este indicó valores de ambientes con características reductoras en todas las estaciones y monitoreos de invierno (entre -442,2 y -182,6 mV), registrándose valores menos negativos durante los monitoreos de invierno 2016 y 2018. Esto se relaciona directamente con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar (que rodea el núcleo), corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos, especialmente yeso (Alonso y Risacher 1996) (**Figura N° 12-57**).

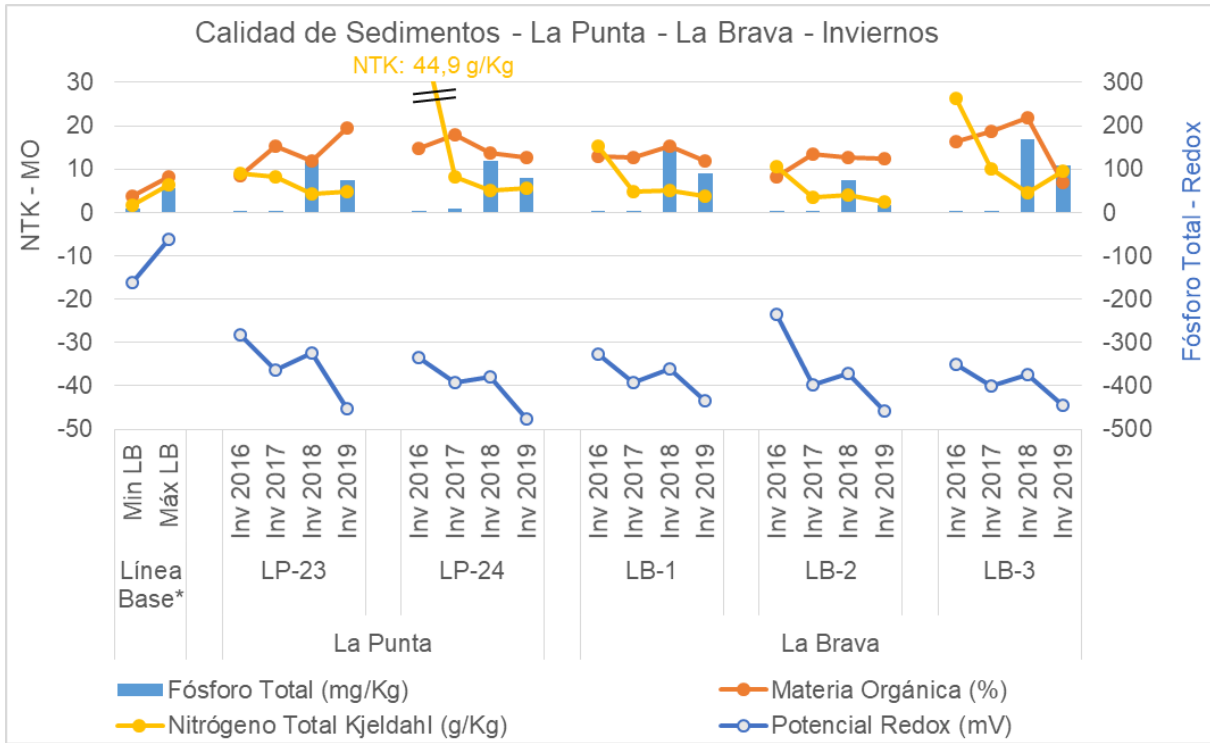
Figura N° 12-57. Rangos de variación temporal para los parámetros de calidad de sedimentos del Sector Peine.



Fuente: Elaboración propia. *El registro de Línea Base solo se realizó en Verano 2015.

Los resultados descritos para las estaciones de **La Punta y La Brava**, muestran que los parámetros de carbono orgánico total (COT) y materia orgánica, tuvieron valores sobre el máximo registrado para la LB en la mayoría de las estaciones durante todos los monitoreos de invierno (la única referencia de LB para sedimentos disponible es de verano 2015). Por su parte el fósforo total tuvo valores elevados por sobre la LB principalmente en los monitoreos de invierno de 2018 y 2019, mientras que el nitrógeno total Kjeldahl presentó concentraciones elevadas por sobre la LB en los monitoreos de invierno 2016 y 2017. La materia orgánica (entre 6,83 y 21,77%) y el COT (entre 39,62 y 126,3 g/Kg) en general tuvieron altos valores y como tienen el mismo comportamiento solo se graficó el porcentaje de materia orgánica. Tales características del sedimento se relacionan con la actividad biológica, dado por los subproductos orgánicos e inorgánicos de microorganismos halofílicos. A su vez, el potencial redox presentó características reductoras con valores negativos en todas las estaciones y monitoreos (entre -475,1 y -235,7 mV), registrándose valores menos negativos durante los monitoreos de invierno 2016 y 2018. Esto se relaciona directamente con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar, corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos y yeso (**Figura N° 12-58**).

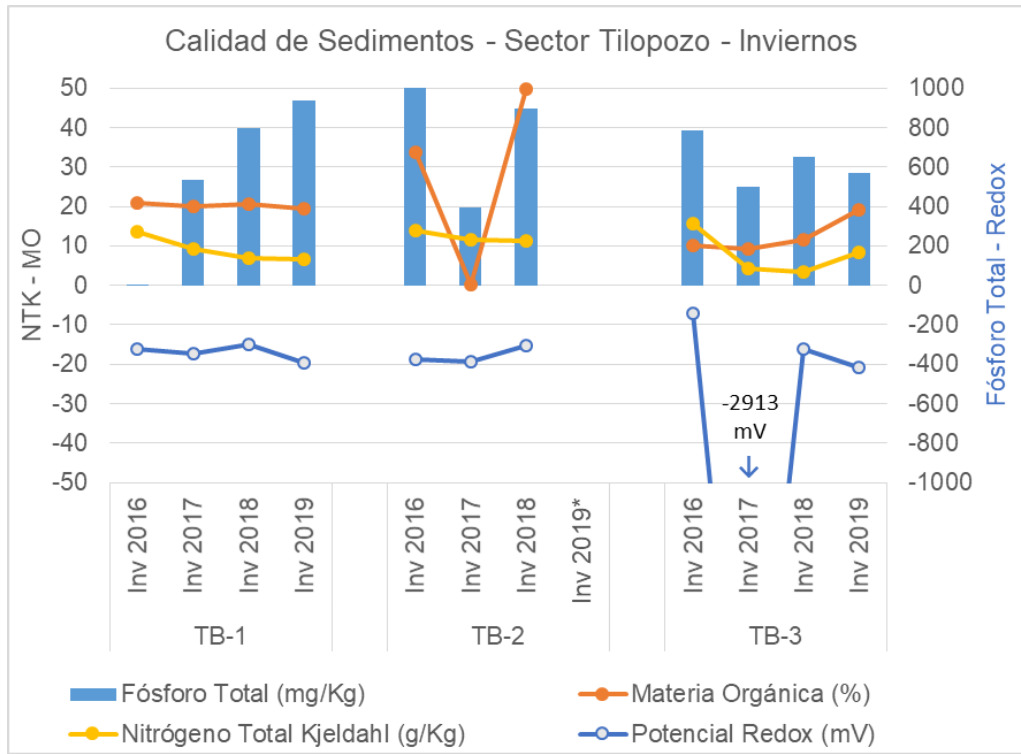
Figura N° 12-58. Rangos de variación temporal para los parámetros de calidad de sedimentos del Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración propia. *El registro de Línea Base solo se realizó en Verano 2015.

Para el sector de Tilopozo no hay LB de referencia, por lo que solo se compararon los resultados obtenidos dentro del PMB desde invierno 2016 a invierno 2019. En las estaciones de este sector (**Figura N° 12-59**), se registraron en general elevados valores para los parámetros de carbono orgánico total (entre 1,6 a 288,5 g/Kg) y materia orgánica (entre 0,28 y 49,74%), exceptuando en TB-2 en invierno 2017. También se registraron altos valores en fósforo total (sobre 392 mg/Kg), exceptuando en TB.1 en invierno 2016. Por su parte el potencial óxido-reducción presentó valores negativos indicando características reductoras en todos los monitoreos de invierno. Cabe mencionar, que los registros de carbono orgánico total, materia orgánica y fosforo fueron variables en TB-2, lo que se relaciona con que esa estación se ubica en una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, el cual ha variado su condición hídrica (en la campaña de invierno 2019 se encontró sin agua). Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden principalmente a pozas de afloramiento subsuperficial de agua, de modo que tienden a ser más estables (**Figura N° 12-59**).

Figura N° 12-59. Rangos de variación temporal para los parámetros de calidad de sedimentos del Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración propia. * La estación TB-2 en invierno 2019 se encontró sin agua al momento del muestreo.

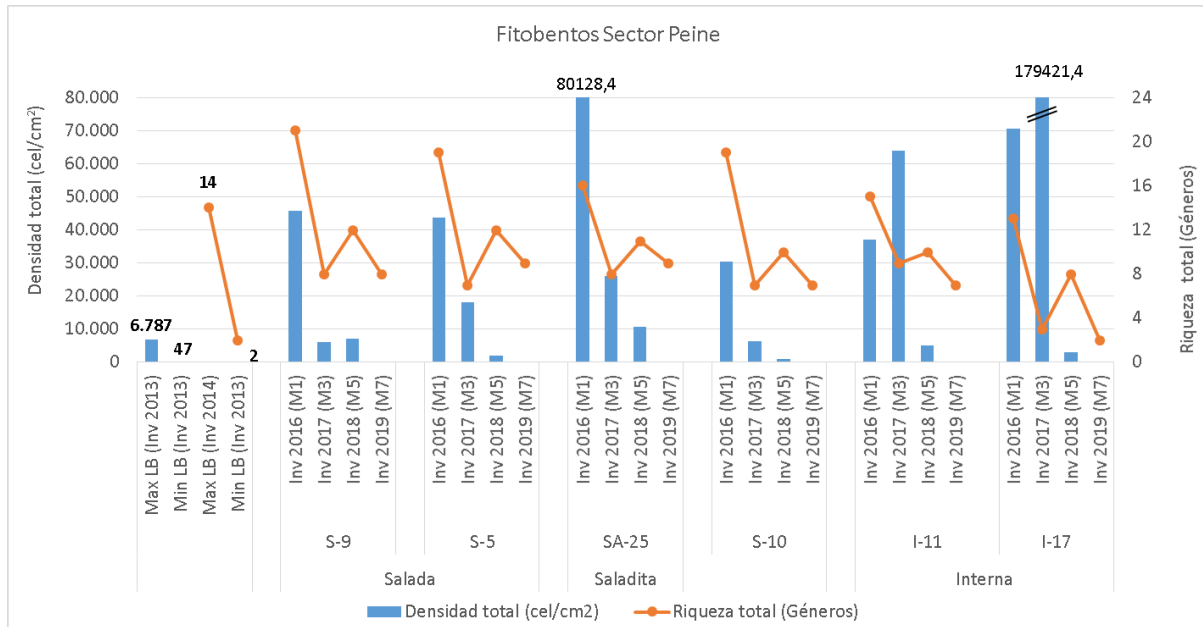
12.5.4 Biota acuática y evolución en el tiempo

Para el análisis comparativo entre la LB y el monitoreo de la biota acuática, se consideró la comparación de la riqueza de *taxa* y la abundancia total con los rangos de variación (mínimo y máximo) de la LB contemplados en el Plan de Manejo Biótico para las estaciones de invierno. Para ello se utilizó la data de LB de los periodos de invierno 2008, 2013 y 2014. Estos datos son contrastados con lo detectado en las respectivas campañas de monitoreo de invierno 2016, 2017, 2018 y 2019. Cabe destacar que, en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua** se aborda el detalle de los *taxa* dominantes (en abundancia y representatividad) de la Biota Acuática por los períodos estacionales de invierno.

12.5.4.1 Fitobentos

En general, para los tres sistemas estudiados (Peine, La Punta y La Brava, y vegas de Tilopozo) se reportó la alta frecuencia y dominancia en el fitobentos de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas). En tanto, respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados i.e. *Denticula*, *Haloroundia*, *Halamphora*, *Nitzschia* y *Navicula* (de estos últimos géneros solo algunas especies), todas correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos (que se distribuye a un ámbito geográfico reducido) (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009).

Respecto del fitobentos, en el **sector Peine** el rango de variación detectado en invierno 2019 presentó un mínimo y máximo de riqueza de géneros contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 2; Max 9) en invierno 2019 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 2019, estuvo por debajo del rango observado en la LB. Rango (Min 0,05; Max 0,73) en invierno 2019 versus (Min 46,8; Max 6787,2) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-60**).

Figura N° 12-60. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine.

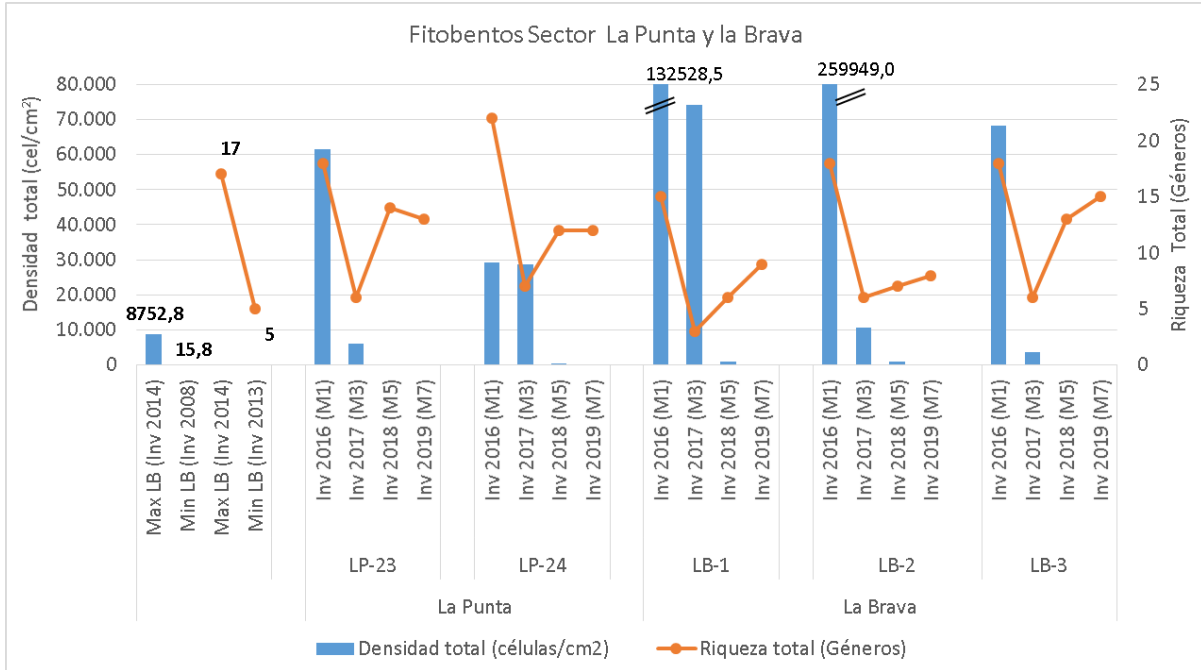
Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los géneros que presentaron la mayor representatividad en la campaña de invierno 2019, se observó que *Mastogloia* y *Rhopalodia* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias, diferente a lo mostrado en la LB para periodos de invierno. En la LB se observó la alta dominancia de las diatomeas *Achnanthes*, *Nitzschia* y *Navicula* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

En el sector **La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2019 y LB (periodos de invierno), se observó registros similares para la riqueza y diferentes para la abundancia.

En invierno 2019, 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 15) en invierno 2019 versus (Min 5; Max 17) en periodos de invierno LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2019 fue menor a lo observado en la LB. Rango (Min 0,59; Max 1,34) en invierno 2019 versus (Min 15,8; Max 8752,8) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-61**).

Figura N° 12-61. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los géneros, se observó que las diatomeas *Denticula* y *Achnanthes* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2019, mientras que *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

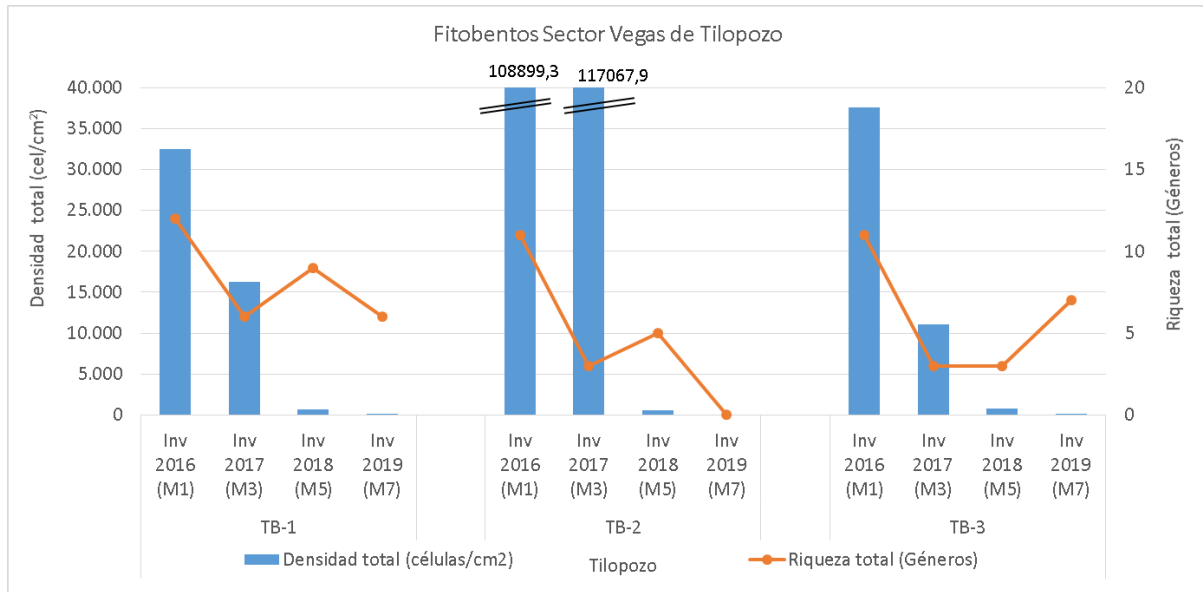
El Sector **vegas de Tilopozo** no presenta antecedentes de LB para fitobentos, por lo tanto, su seguimiento y variación fue evaluada en relación a las campañas de monitoreo anteriores considerando el mismo periodo estacional.

En periodos de invierno, los registros de riqueza de géneros entre invierno 2016, 2017, 2018 y 2019 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 y los menores en invierno 2017 y 2019. Específicamente la estación TB-1 presentó un alto valor de riqueza en invierno 2016 con 12 géneros. Rango (Min 11; Max 12) en invierno 2016, (Min 3; Max 6) en invierno 2017, (Min 3; Max 9) en invierno 2018 y (Min 0; Max 7) en invierno 2019 (**Figura N° 12-62**).

Así mismo, el rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017, 2018 y 2019, presentó diferencias, con valores mucho menores en invierno 2019. 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 y (Min 0; Max 0,61) en invierno 2019 (Figura N° 12-62).

Figura N° 12-62. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo



Fuente: Elaboración propia.

En el sector vegas de Tilopozo, las dominancias en el fitobentos cambiaron entre campañas de monitoreo y entre estaciones de muestreo presentando diferencias entre microalgas dominantes. En invierno 2016 y 2017 se observó una alta predominancia de cianófitas (*Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*) y 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* (Ver Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua).

Para todos los monitoreos de invierno, 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).

12.5.4.2 Fitoplancton

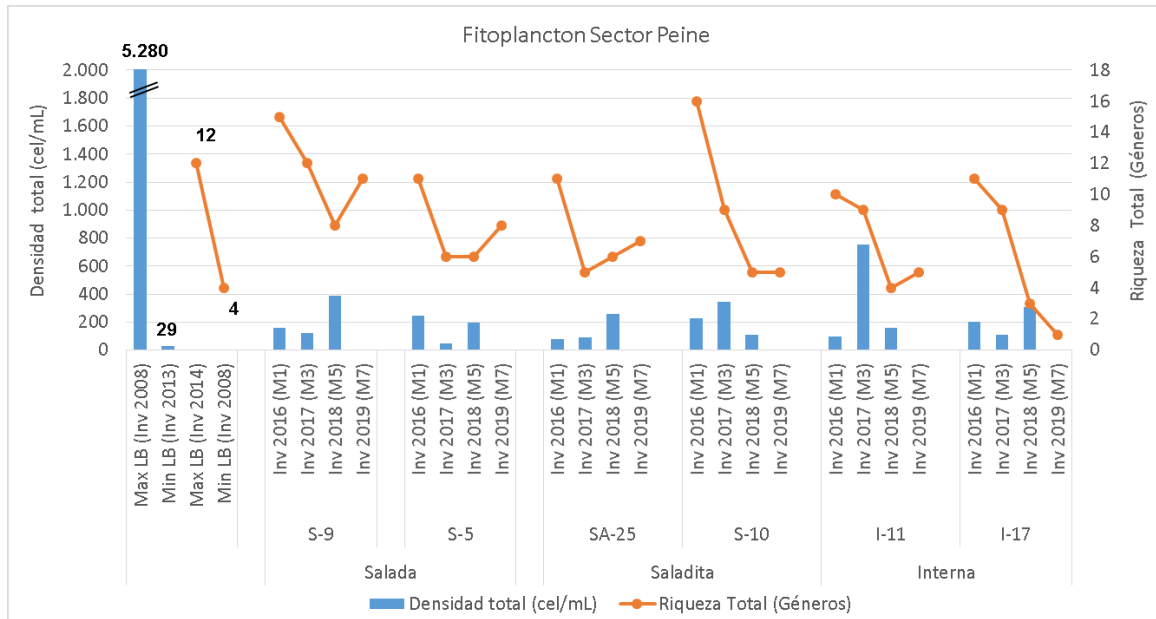
Dado que las microalgas fitoplanctónicas están constituidas por géneros y especies similares a las microalgas bentónicas presentan respuestas biológicas y una estructura y composición variable temporal y espacialmente, moduladas por las mismas forzantes que afectan a los ensamblajes fitobentónicos i.e. evaporación, salinidad, contenido de oxígeno y temperatura, tal como fue explicado para el fitobentos. Por otra parte, su importancia ecológica también es similar a la explicada para el fitobentos ya que corresponde de la misma manera a productores primarios dentro de los sistemas acuáticos.

En general para los tres sistemas estudiados (Peine, La Punta y La Brava, y vegas de Tilopozo se reportó la alta frecuencia y dominancia de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas). En tanto, respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados i.e. *Denticula*, *Haloroundia*, *Halamphora*, *Nitzschia* y *Navicula* (de estos últimos géneros solo algunas especies), todas correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos (que se distribuyen a un ámbito geográfico reducido) (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009).

En el **Sector Peine** la riqueza de géneros de fitoplancton, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2019 y LB (periodos de invierno), el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2019 estuvo contenido en general dentro del observado en la LB, dado que el registro mínimo en invierno 2019 bajó a 1 género en el sector. Rango (Min 1; Max 11) en invierno 2019 versus (Min 4; Max 12) en periodos de invierno LB. Para la abundancia total, el rango de variación mínimo y máximo detectada en invierno 2019, estuvo por debajo del rango observado en la LB. Rango (Min 0,13; Max 1,79) en invierno 2019 versus (Min 29; Max 5.280) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-63**).

Respecto a los géneros que presentaron las mayores representatividades en periodos de invierno, se observó que *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB, en la campaña de invierno 2019 las mayores representatividades estuvieron dadas por las diatomeas *Rhopalodia* y *Mastogloia* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

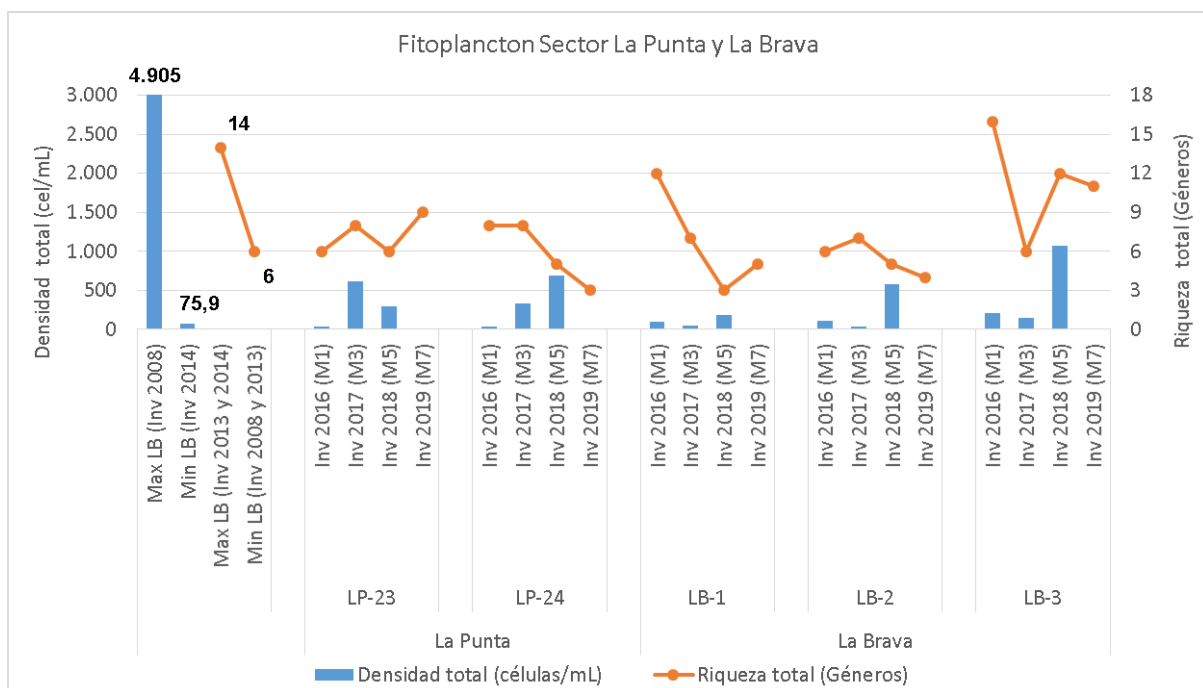
Figura N° 12-63. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine.



Fuente: Elaboración propia.

En el **sector La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2019 y LB (periodos de invierno), estuvo contenido en general dentro de lo observado en la LB, dado que el registro mínimo en invierno 2019 fue menor a lo consignado en la LB. Del mismo modo para la abundancia total presentó valores menores en invierno 2019, bajo el rango de variación de la LB.

Para el periodo de invierno, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2019 presentó un rango ligeramente menor al observado en la LB, con un valor mínimo en invierno 2019 menor al mínimo de LB. Rango (Min 3; Max 11) en invierno 2019 versus (Min 6; Max 14) en periodos de invierno LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2019 estuvo por debajo a lo observado en la LB. Rango (Min 0,45; Max 1,35) en invierno 2019 versus (Min 76; Max 4.905) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-64**).

Figura N° 12-64. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava.

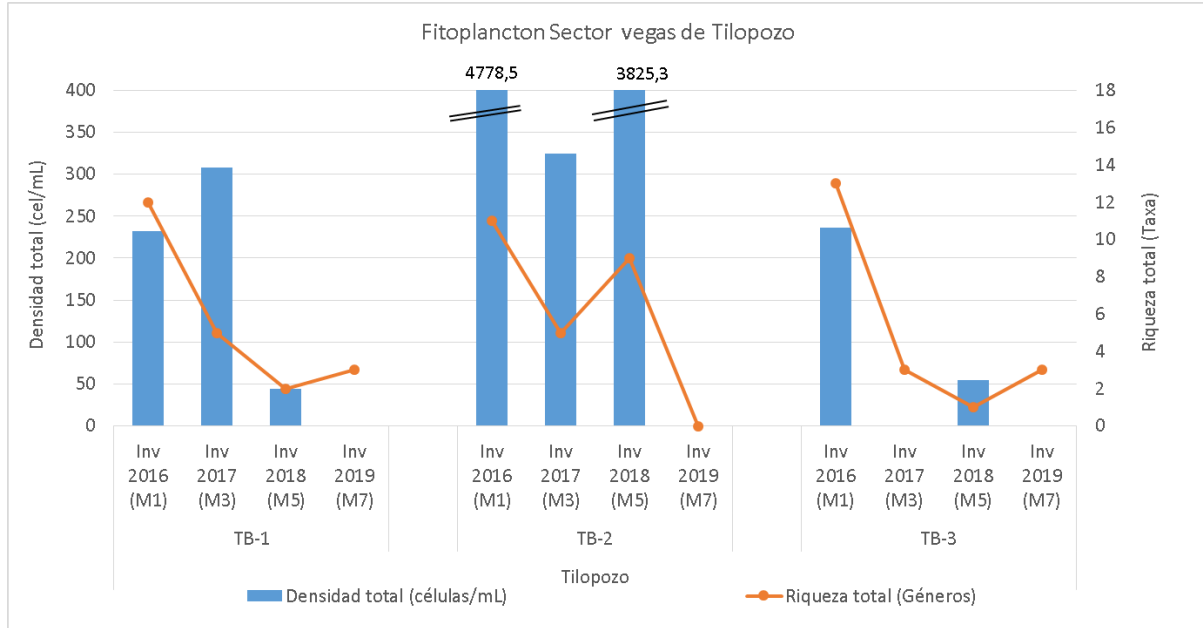
Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los géneros en periodo de invierno, se observó que la cianófito *Microcystis* y la diatomea Pennales indet. presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2019, mientras que, *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

El Sector **vegas de Tilopozo** no presenta antecedentes de LB para fitoplancton, por lo tanto, su seguimiento y variación fue evaluada en relación a las campañas de monitoreo de invierno. Los registros de riqueza de géneros y la abundancia total entre invierno 2016, 2017, 2018 y 2019 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 (TB-3).

El rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado entre invierno 2016, 2017, 2018 y 2019, presentó diferencias detectándose los mayores registros en invierno 2016 y mínimos en invierno 2019. Rango (Min 11; Max 13) en invierno 2016, (Min 3; Max 5) en invierno 2017, (Min 1; Max 9) en invierno 2018 y (Min 0; Max 3) en invierno 2019.

Respecto del rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017, 2018 y 2019, fueron mayores en invierno 2016 y menores en invierno 2019. Rango (Min 232; Max 4.778) en invierno 2016, (Min 1; Max 325) en invierno 2017, (Min 44; Max 3.825) en invierno 2018 y (Min 0; Max 0,66) en invierno 2019 (**Figura N° 12-65**).

Figura N° 12-65. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo

Fuente: Elaboración propia.

Para el fitoplancton las dominancias (géneros con mayor abundancia y representatividad) cambiaron en los géneros representativos entre los periodos de invierno; observándose un recambio de géneros en el sector vegas de Tilopozo. Por otra parte, entre estaciones de muestreo también fueron observadas diferencias entre microalgas dominantes (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

De acuerdo con lo anterior, en invierno 2016, dominaron los géneros *Anabaena* (cianoficea) y *Amphora* (diatomea). Estas representatividades fueron distintas a las detectadas en la campaña de invierno 2017 donde se observó una alta predominancia de la zygmatoficea *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.

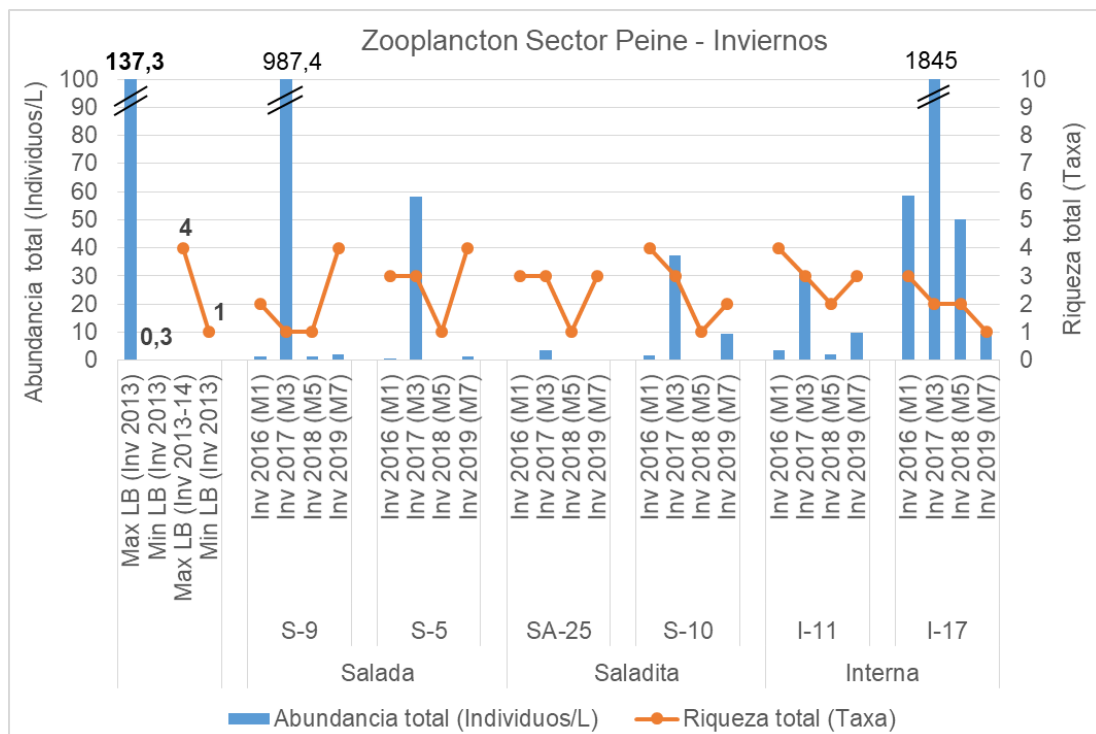
Para todos los monitoreos, la dominancia en el sector fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson *et al.* 1996).

12.5.4.3 Zooplancton

La comunidad de zooplancton en el Sector Peine, registró en general valores de abundancia total y riqueza dentro del rango establecido por la LB de invierno del PMB, exceptuando por las abundancias registradas en S-9 (laguna Salada) e I-17 (laguna Interna) durante el monitoreo de invierno 2017. Sin embargo, la gran mayoría de las abundancias totales en este sector estuvieron bajo los 4 ind/L, tanto en laguna Salada como laguna Saladita. Mientras que en laguna Interna, se registraron las mayores abundancias totales en todos los monitoreos de invierno. Tales mayores abundancias totales, principalmente en I-17, fueron dadas por el branquiópodo *Artemia franciscana*. Respecto a las riquezas de *taxa* en general han sido bajas en todos los monitoreos de invierno, con valores entre 1 y 4, con los máximos registros en laguna Salada (invierno 2019), S-10 (invierno 2016) e I-11 (invierno 2016) (**Figura N° 12-66**).

En este sistema los zooplancteres más abundantes fueron los copépodos Harpacticoidea y el branquiópodo *Artemia franciscana*. En el caso de esta última especie, se ha constatado un incremento de su abundancia desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual tiene relación con la misma variación en conductividad y salinidad dada en este sistema. Cabe considerar que esta especie se considera como halófila, encontrándose en ambientes incluso hipersalinos con salinidades por sobre los 90 g/L (De los Ríos-Escalante, 2010).

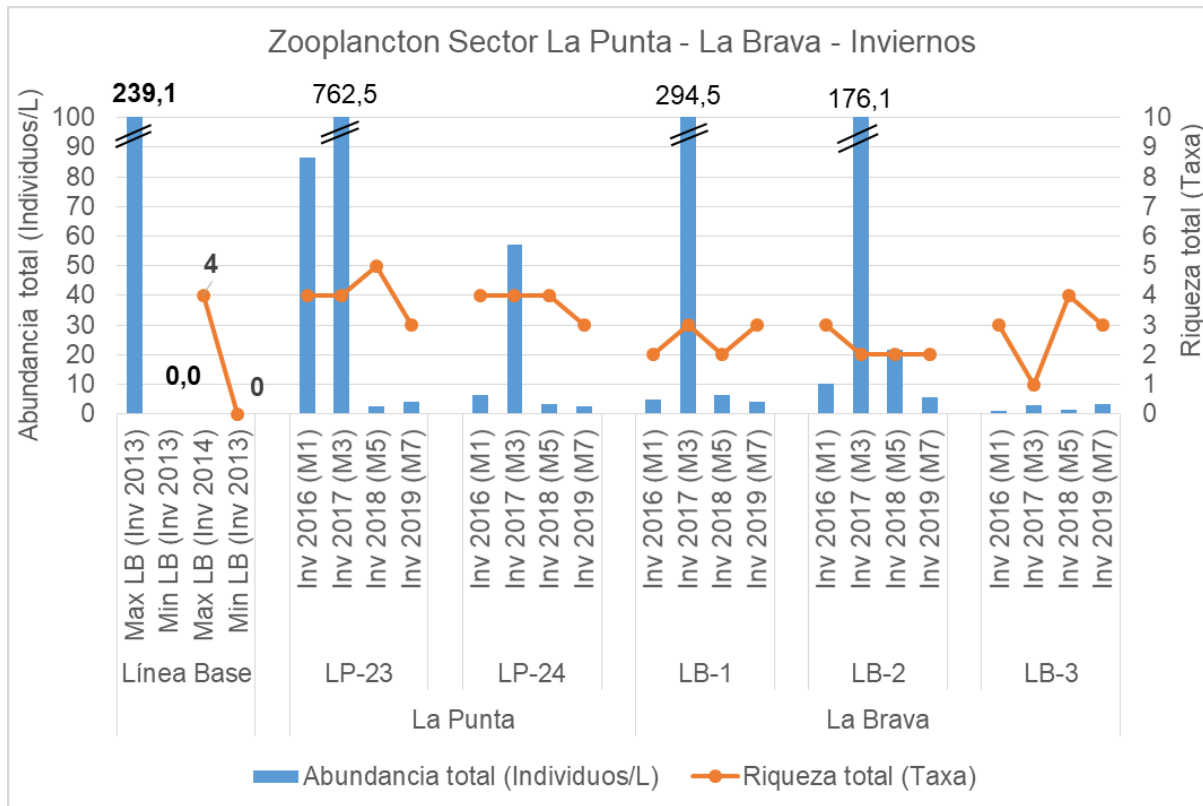
Figura N° 12-66. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine



Fuente: Elaboración propia.

En la comunidad de zooplancton de La Punta y La Brava (**Figura N° 12-67**), se registraron algunos valores de abundancia total fuera del rango establecido por la LB del PMB, observándose las mayores abundancias totales en LP-23 (La Punta) y LB-2 (La Brava) en invierno de 2017. En este sistema se observó que dominaron copépodos Harpacticoidea y secundariamente branquiópodos de la especie *Artemia franciscana* (conformado por larvas Nauplius y adulto), principalmente en invierno 2017, mientras que en el resto de monitoreos de invierno se registraron generalmente abundancias totales menores a 10 ind/L, principalmente en invierno 2019. Respecto a las riquezas de *taxa*, estas en general han sido bajas en todos los monitoreos de invierno, con valores entre 1 y 5. (Ver Anexo **Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

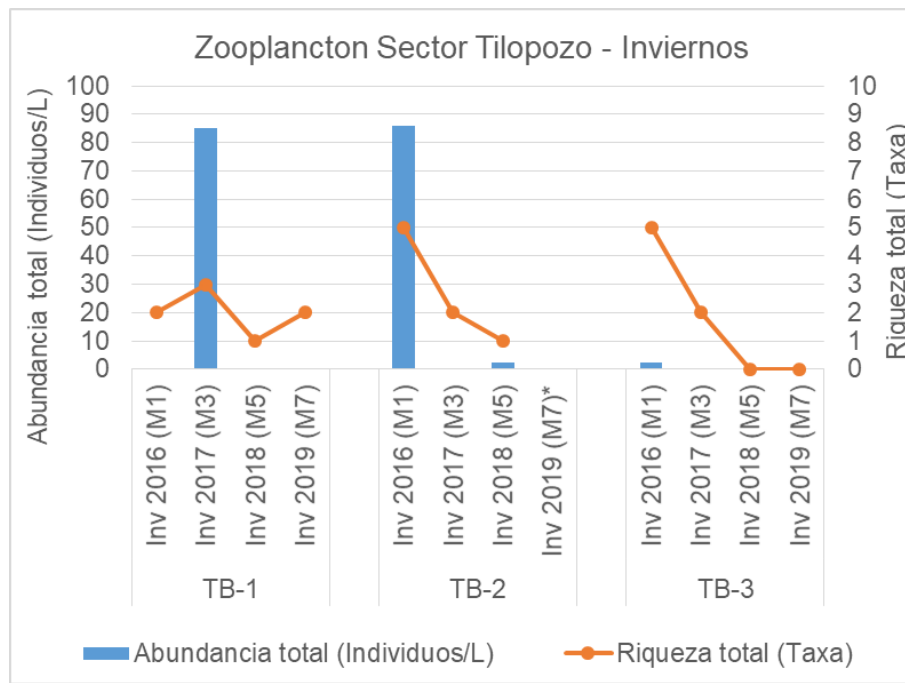
Figura N° 12-67. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta – La Brava



Fuente: Elaboración propia.

El sector de Tilopozo no posee registros en la LB, por lo que los resultados se compararon con las abundancias y riquezas registradas en el Plan de Manejo Biótico (solo inviernos). Las riquezas variaron entre 0 y 5 *taxa* y las mayores abundancias totales se registraron en invierno 2016 en TB-1 y TB-2, sin embargo, la mayoría de las abundancias totales fueron menores a 2,5 ind/L o cercanas a 0. Cabe mencionar que la estación TB-2 en invierno 2019 se encontró sin agua al momento del muestreo (**Figura N° 12-68**).

Figura N° 12-68. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Tilopozo.



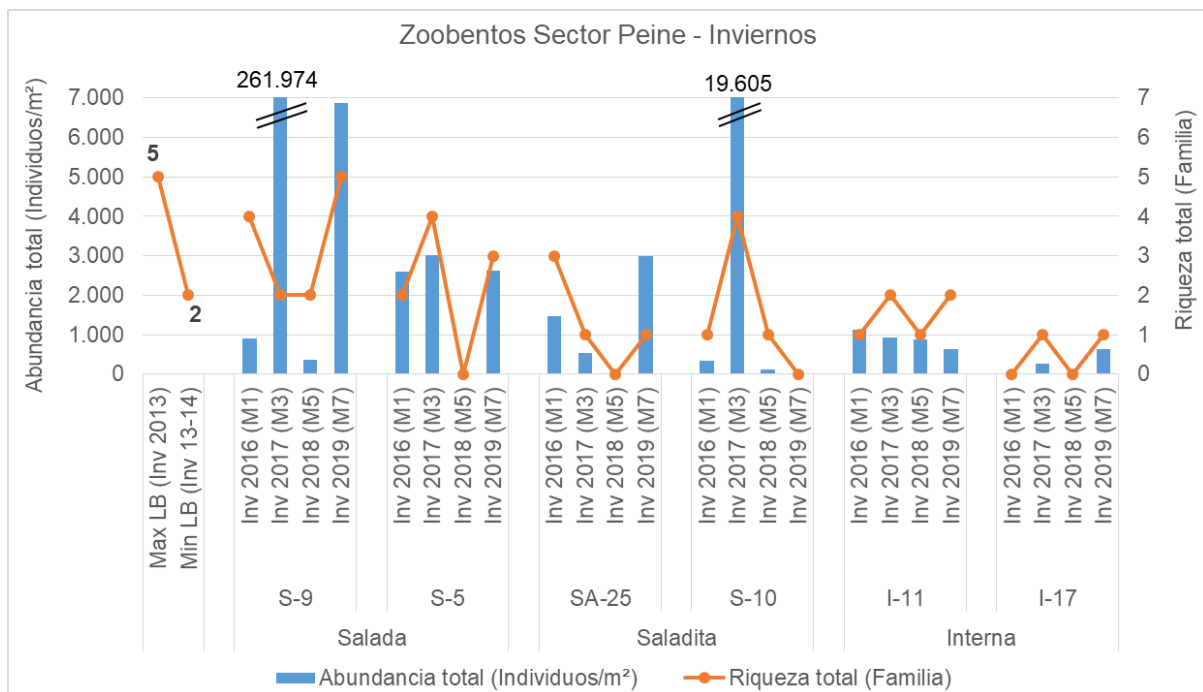
Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 en invierno 2019 se encontró sin agua al momento del muestreo.

12.5.4.4 Zoobentos

Para la comunidad zoobentónica, si bien se cuenta con registros en la LB de abundancias por *taxa*, estos no son comparables con las abundancias registradas en el monitoreo del PMB, debido a que se encuentran en unidades distintas no transformables (individuos/litro) respecto a lo obtenido en las campañas de monitoreo del PMB (individuos/m²). Tal información se encuentra disponible de esta forma en el documento *Anexo 2, Adenda 5 RWL. Plan de Manejo Biótico. Informe consolidado de Líneas bases. Ecosistemas Terrestres y Ecosistemas Acuáticos Continentales* (PMB, 2015).

En el Sector **Peine** se registró una riqueza que varió entre 0 y 5 *taxa*, con los valores menores registrados en invierno de 2018. Cabe mencionar que los *taxa* dominantes o más abundantes fueron los copépodos Harpacticoida y los dípteros Ceratopogonidae. No se observa una relación de mayor o menor abundancia y riqueza en las estaciones, que pueda obedecer a variables de calidad de agua o sedimentos propios del lugar de muestreo. Las mayores abundancias totales se registraron en las lagunas Salada (S-9) y Saladita (S-10) principalmente durante el monitoreo de invierno 2017, mientras que las menores abundancias se registraron en invierno 2018 para esas lagunas. En laguna Interna las abundancias totales fueron por lo general menores a 1000 ind/m², registrándose los menores valores en la estación I-17 (**Figura N° 12-69**).

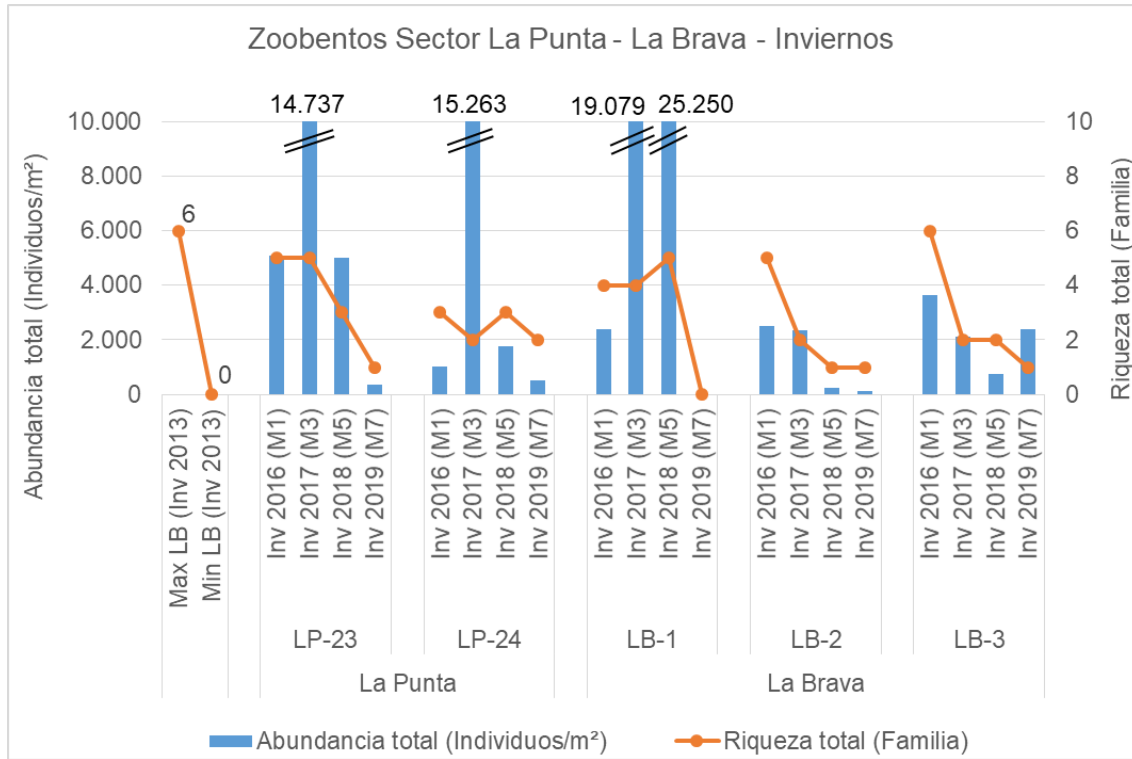
Figura N° 12-69. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Peine



Fuente: Elaboración propia.

En el Sector **La Punta y La Brava** se registró una riqueza con valores entre 0 y 6 *taxa*, con valores máximos principalmente en invierno 2016 y los mínimos en invierno 2019. Por su parte, las máxima abundancia total registrada fue en LB-1 (La Brava) en invierno 2018, sin embargo, en invierno 2017 se registraron altas abundancias totales en laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y en laguna La Brava (LB-1) (**Figura N° 12-70**). Los *taxa* dominantes corresponden principalmente a Cochliopidae (*Heleobia* sp.) seguido por copépodos Harpacticoida (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Figura N° 12-70. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta – La Brava.



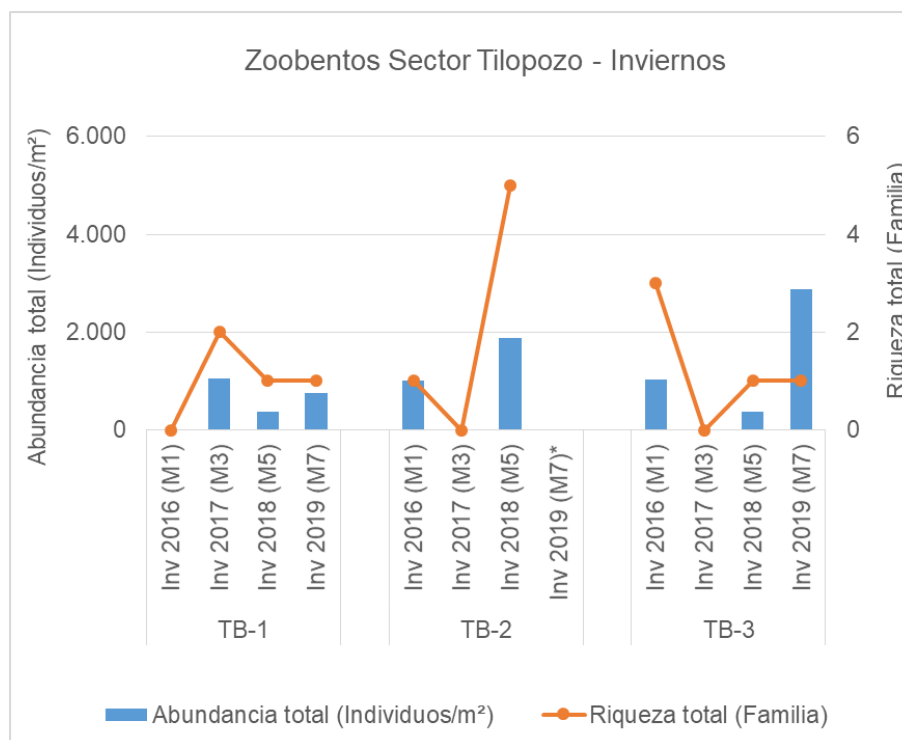
Fuente: Elaboración propia.

En el Sector **Tilopozo**, se registraron riquezas que variaron entre 0 y 5 *taxa*, con el máximo registro en TB-2 en invierno 2018. Las mayores abundancias totales se registraron en invierno 2017 para TB-1, en invierno 2018 para TB-2 y en invierno 2019 para TB-3. Por su parte, en el monitoreo de invierno 2016 no se registró ocurrencia de zoobentos en la estación TB-1, mientras que en invierno 2017 las estaciones TB-2 y TB-3 estuvieron ausentes de organismos zoobentónicos (**Figura N° 12-71**). En este sector los organismos con mayor frecuencia fueron los gasterópodos Cochliopidae *Heleobia* sp y *Heleobia atacamensis*, los cuales se encontraron en las estaciones TB-1 y TB-3 (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

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 literatura para el sector de Tilopozo en específico. 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).

Figura N° 12-71. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración propia. (*) La estación TB-2 en invierno 2019 se encontró sin agua al momento del muestreo.

12.5.4.5 Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

En relación al 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 y 2019), se ha detectado un total de 11 especies (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**). Las especies reportadas corresponden a las hidrófitas *Ruppia filifolia*, *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus (Scirpus) californicus*, *Juncus balticus*, *Distichlis spicata*, *Puccinellia frigida*, *Triglochin concinna*, *Baccharis* sp., y *Sarcocornia fruticosa*. Salvo excepciones como *Potamogeton pectinatus* (hidrófita) y la helófita *Patosia clandestina* ambas reportadas en campañas de LB de invierno. 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° 12-27**).

Cabe destacar que, para los sectores evaluados Peine, La Punta-La Brava las diferencias encontradas respecto de los registros de riquezas y abundancias entre monitoreo y LB se

debió principalmente a que este componente en algunas campañas de LB, no presentó información disponible para riqueza y cobertura. Por otro lado, respecto de las plantas vasculares acuáticas relacionadas con este tipo de subsistemas existe escasa información ecológica. La mayoría son estudios florísticos taxonómicos del norte de Chile.

Tabla N° 12-27. Resumen de especies detectadas sectores Peine, La Punta, La Brava y vegas de Tilopozo en las campañas de invierno 2016 (M1), 2017 (M3), 2018 (M5) y 2019 (M7).

Clase	Familia	Especie	Nombre Común	Hábito	Origen
Liliopsida	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton pectinatus</i> *	Espiga de agua	Hidrófita	Introducida
	Juncaceae	<i>Patosia clandestina</i> *	Cojín de vega	Helófita	Nativa
	Ruppiaceae	<i>Ruppia filifolia</i>	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>	Titora	Helófita	Nativa
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Puccinellia frigida</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Gramma salada	Helófita	Nativa
Rosopsida	Chenopodiaceae	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Baccharis</i> sp.	Romerillo	Helófita	Nativa

Fuente: Elaboración propia. *Especies detectadas solo en Línea de Base en periodo de invierno.

En relación a la riqueza histórica detectada en el sector **Peine** se observó un bajo registro de plantas vasculares acuáticas con 3 especies *Ruppia filifolia*, *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa*. Respecto de las coberturas totales estas fueron registradas desde invierno 2016 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

En relación a la riqueza histórica detectada en el sector **Peine** se observó un bajo registro de plantas vasculares acuáticas en periodos de invierno, con 2 especies *Ruppia filifolia* y *Potamogeton pectinatus*, esta última detectada solo en las campañas de LB, y apareciendo de modo intermitente en periodo de invierno.

En las campañas 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

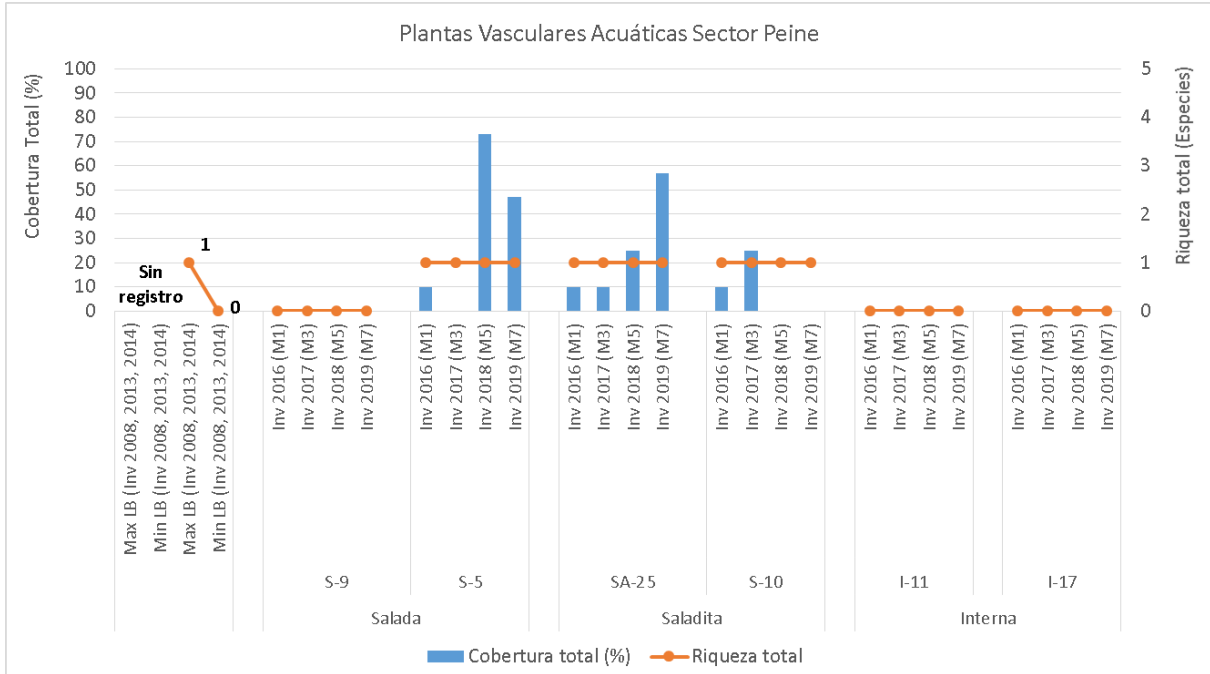
la laguna Saladita y en las estaciones I-11 e I-17 de la laguna Interna. Cabe destacar, que en las campañas de invierno 2008 y 2014 no se registraron coberturas totales asociadas a estas especies.

En periodo de monitoreo de invierno, 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 y 2019 (**Figura N° 12-72**).

La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (LB y monitoreos) entre 0 y 2 especies en invierno, presentando un comportamiento intermitente respecto de la presencia de las especies, lo que podría estar asociado a las condiciones del hábitat en el periodo, 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 2019, 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 y 2019 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 en cuanto a la riqueza, si bien se observó la presencia de 3 especies, en los monitoreos de invierno (2016 a 2019), no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas.

Figura N° 12-72. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine.



Fuente: Elaboración propia.

En relación a la riqueza histórica detectada en el sector **La Punta - La Brava**, se observó en periodo de invierno el registro de plantas vasculares acuáticas de 6 especies, las que correspondieron a *Ruppia filifolia*, *Patosia clandestina*, *Potamogeton pectinatus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Cabe destacar que en campañas de los monitoreos invierno 2016, 2017, 2018 y 2019 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 helófita emergente *S. fruticosa*, además de *P. frigida*, mientras que, *T. concinna* fue reportada en invierno 2018 y 2019 en las lagunas La Punta y La Brava.

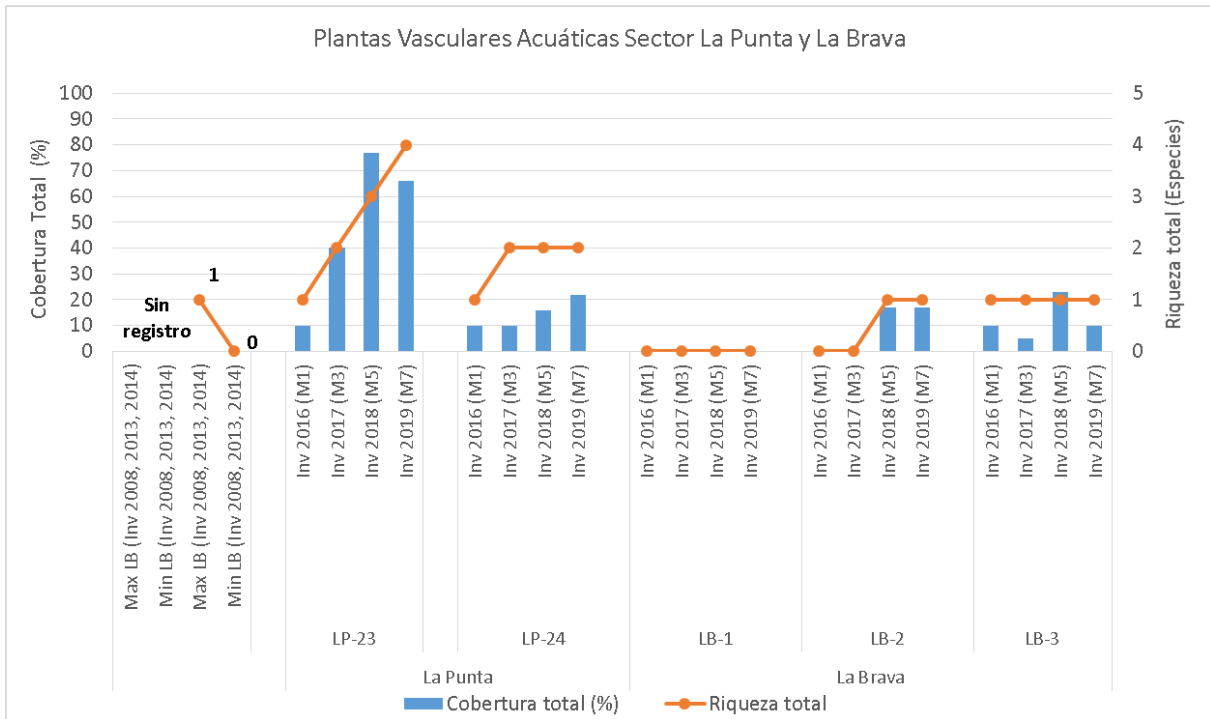
En las campañas de LB, invierno 2008 no se registraron plantas vasculares acuáticas. En invierno 2013 se registró la presencia de *R. filifolia* en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava). En tanto en la laguna La Punta no se observó la presencia de plantas. Posteriormente en 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° 12-73**).

En relación a 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. Finalmente, 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. Además se reportó la presencia de la helófito *Sarcocornia fruticosa* en LP-24 (**Figura N° 12-73**).

La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (LB y monitoreos) entre 0 y 4 especies en periodo invierno, presentando los máximos en invierno 2019 en la estación LP-23. Se aprecia un comportamiento intermitente respecto de la presencia de las especies en periodo de invierno, 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 se observa que en los monitoreos (dado que no existen registros de LB) la estación LP-23 ha presentado el valor máximo en invierno 2018. Mientras que, para las restantes estaciones de muestreo se observaron valores similares entre campañas de invierno con registros entre 10 y 20%.

Figura N° 12-73. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector La Punta-La Brava.



Fuente: Elaboración propia.

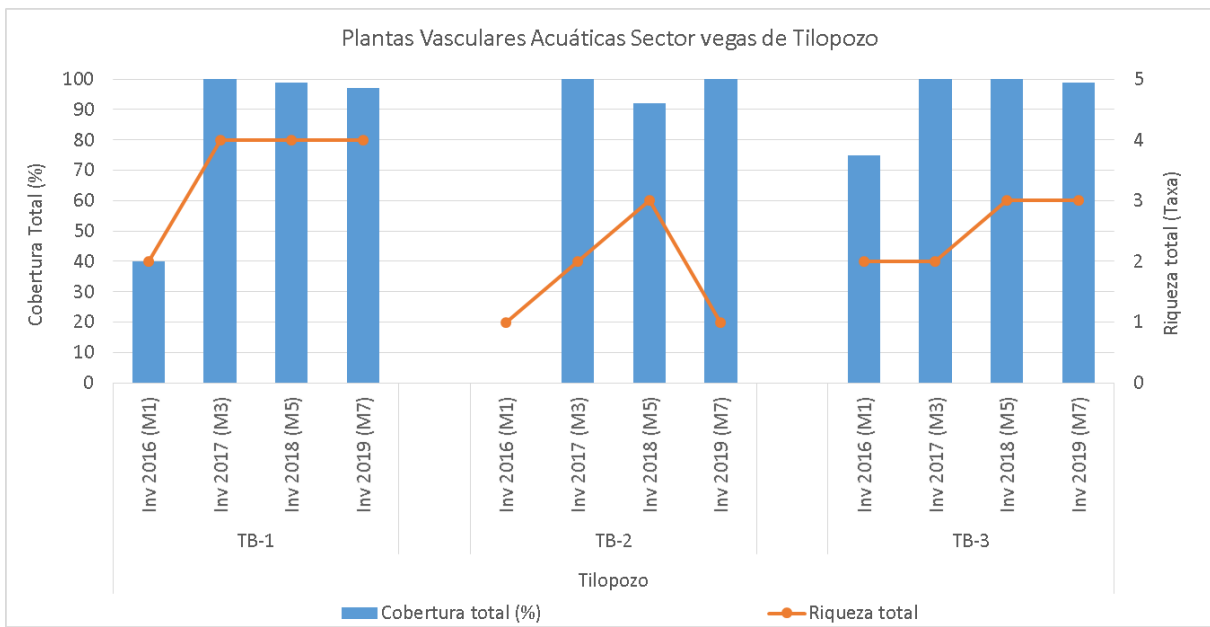
En relación a la riqueza histórica detectada en el sector vegas de **Tilopozo** se detectó un total de 5 especies de plantas vasculares acuáticas, en términos comparativos en un número mayor que los sectores de Peine y La Punta y La Brava. Las que corresponden a la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* y las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus*, *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa*. El sector de vegas de Tilopozo no presenta registro de LB, por lo que se analizan los registros de invierno 2016 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

En relación a 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. Finalmente 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 (Figura N° 12-74).

La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (monitoreos) entre 1 y 4 especies en invierno, 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° 12-74. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto de las coberturas se observa que en los monitoreos (dado que no existen registros de LB) las estaciones de muestreo presentan altas coberturas de la hidrófita *Z. lacustris* como de las helófitas reportadas. *Z. palustris* durante el periodo de invierno cubrió buena parte de la superficie del espejo de agua de las pozas, además que sus hojas constituyen una buena base para el asentamiento de algunas lamas de microalgas, aumentando la cobertura vegetal en TB-1 y TB-3. Además de servir de ambientes refugiales y de desove para invertebrados y peces.

Por último, 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

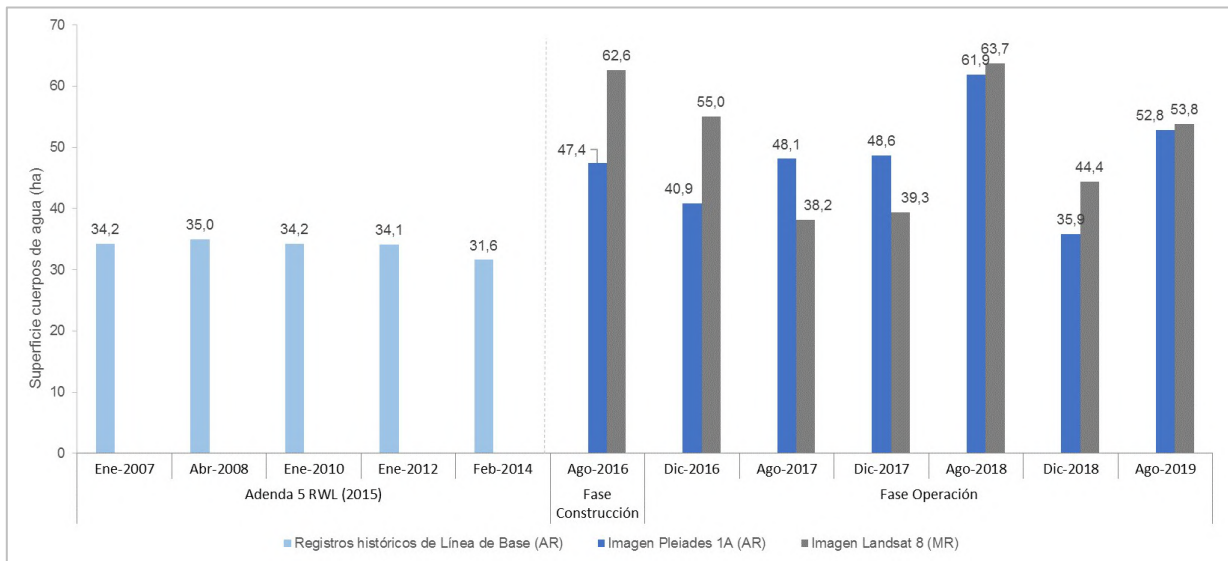
12.6.1 Análisis de superficies por sector

12.6.1.1 La Punta y La Brava

12.6.1.1.1 Comparación con registros históricos de línea de base

La **Figura N°12-75** muestra la comparación de la superficie calculada con los registros históricos en este sistema hasta la fecha y en la misma temporada, donde todas las áreas estimadas entre 2016 y 2019 se encuentran por sobre el mínimo de línea base.

Figura N°12-75. 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: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

Las principales diferencias de superficie se observan en sectores de inundación estacionales hacia el Norte y Sur de La Punta y al Oeste y contorno de La Brava, y se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan variabilidad estacional intranual y variabilidad estacional interanual, con un aumento de la superficie lagunar en los periodos de invierno (**Figura N° 12-76**). Este comportamiento, se atribuye también a la naturaleza del sector, donde no existe una delimitación marcada de los cuerpos de agua, cuerpos de agua muy someros, presencia de humedad y zonas de ecotono con gradiente de humedad y con vegetación acuática, las cuales conducen a que la respuesta de los parámetros espectrales – principalmente el NDVI y el álgebra de bandas espectrales en Pleiades 1A – indiquen un recubrimiento de áreas húmedas y vegetación, no obstante la validación en terreno, respaldó y validó los recubrimientos de cuerpos de agua.

12.6.1.1.2 Comparación entre imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8

En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 53,8 ha en agosto de 2019. Estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +1,8% (0,9 ha) para este periodo.

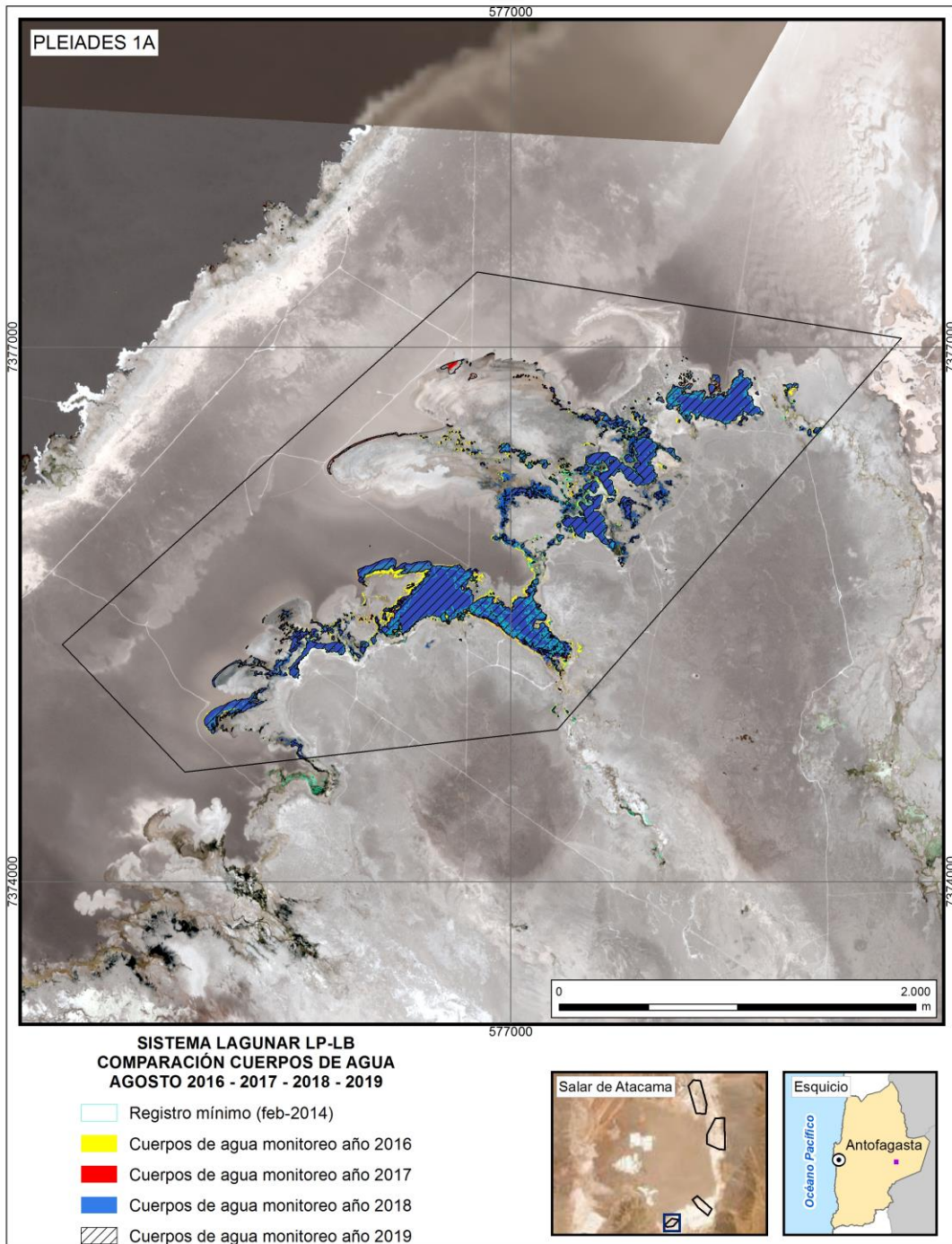
La **Figura N° 12-76** muestra las diferencias temporales de los cuerpos de agua en agosto de cada año, desde el primer monitoreo en 2016 hasta agosto de 2019 desde Landsat 8. Según esta serie, en invierno las variaciones desde media resolución se presentan en los bordes lagunares en general, principalmente al Este del sistema.

12.6.1.1.3 Comparación entre monitoreos de invierno, 2016 al 2019

La **Figura N°12-75** muestra el comportamiento del área de lagunas a través del monitoreo en temporadas de invierno, estación en la que se observa un aumento de la coberturas de cuerpos de agua someros en sectores no permanentes, destacando además que las superficies calculadas se han mantenido sobre el mínimo histórico (31,6 ha). Se indica además que la mayor diferencia de valores de superficies entre temporadas de invierno se presentó este año en relación al invierno de 2018 (-9,1 ha).

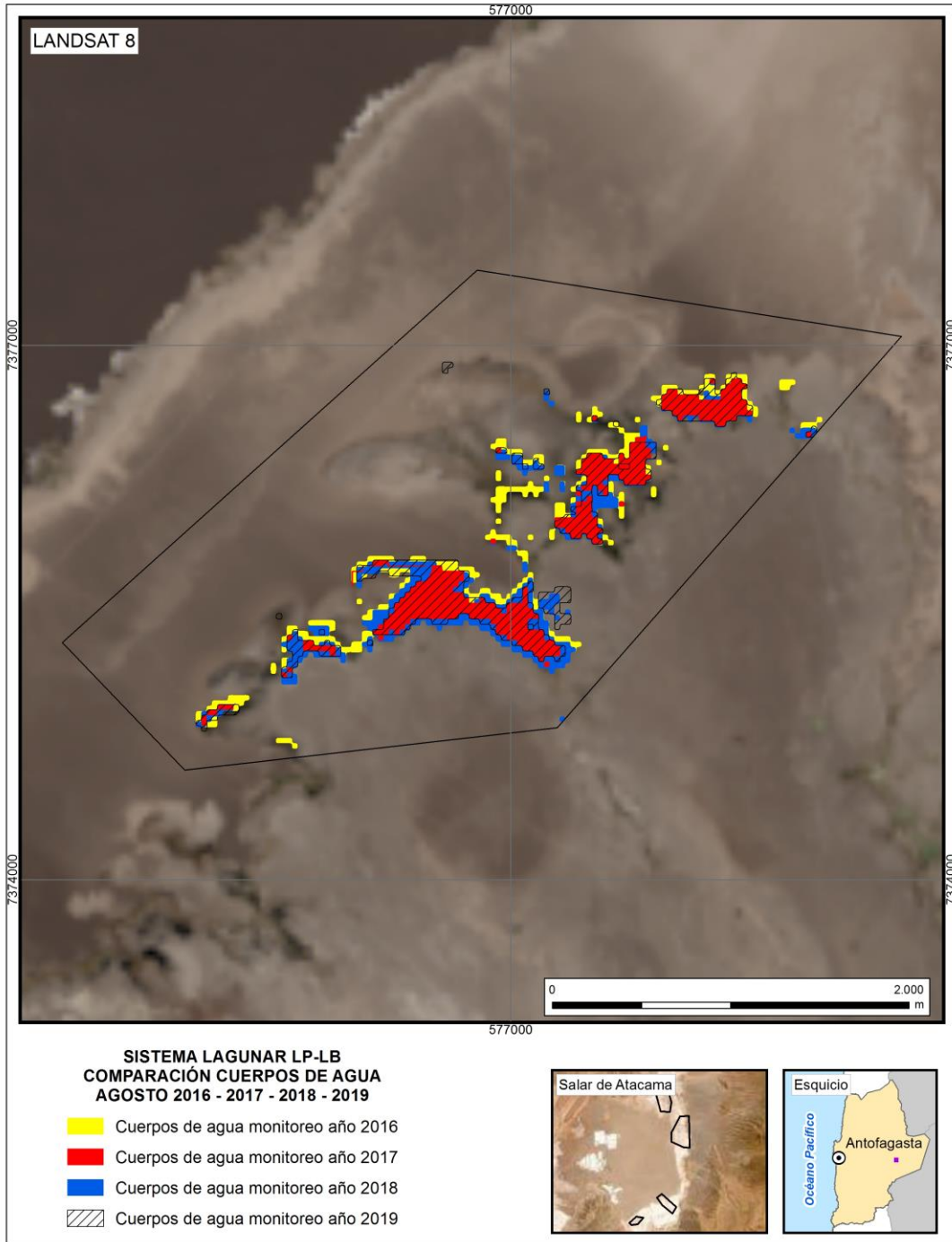
La **Figura N° 12-76** y **Figura N°12-77** muestran que en los inviernos las principales diferencias de superficie ocurren en el Norte y Sur de La Punta y al Oeste y contorno de La Brava.

Figura N° 12-76. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 - 2019, 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 2019

Figura N°12-77. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 - 2019, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



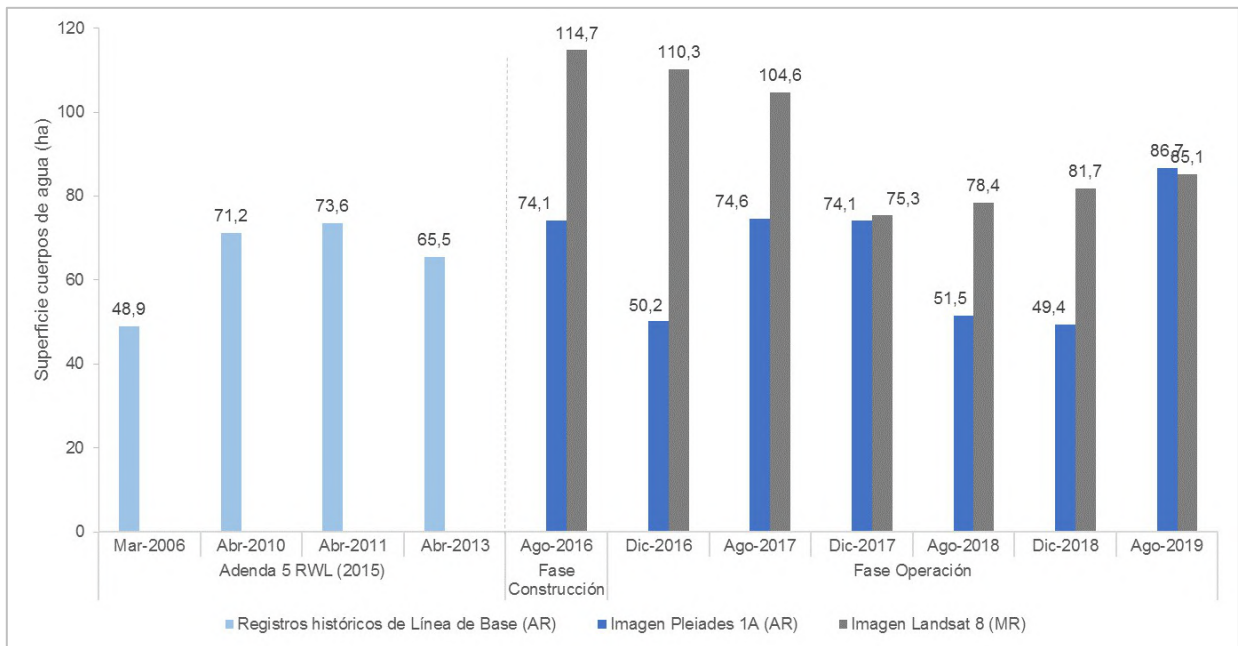
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2019

12.6.1.2 Peine

12.6.1.2.1 Comparación con registros históricos de línea de base

La **Figura N°12-78** muestra la comparación de las superficies calculadas con los registros históricos en este sistema hasta la fecha y en la misma temporada, en que todas las áreas estimadas entre 2016 y 2019 se encuentran por sobre el mínimo de línea base.

Figura N°12-78. 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: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

12.6.1.2.2 Comparación entre imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8

En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 85,1 ha en agosto de 2019. Estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat inferior a Pleiades en -1,8% (-1,6 ha).

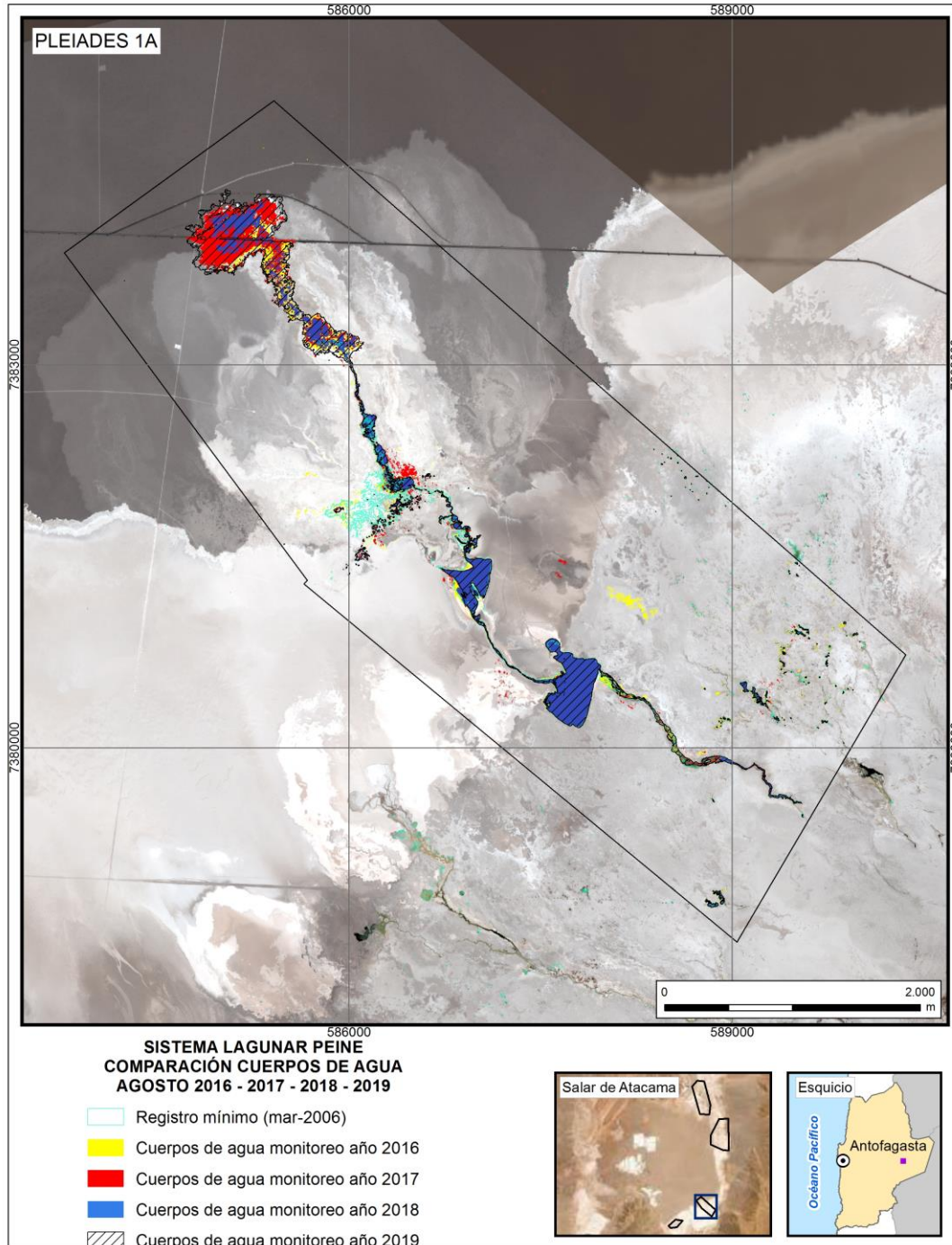
La **Figura N°12-80** muestra las diferencias temporales de los cuerpos de agua en agosto de cada año, desde el primer monitoreo en 2016 hasta agosto de 2019. Según la serie, en invierno las variaciones desde media resolución se observan al Este de laguna Salada y su canal hacia el Sur; borde Este en laguna Saladita y canal de conexión hacia el Norte; y laguna Interna y sección del canal de conexión hacia el Sur.

12.6.1.2.3 Comparación entre monitoreos de invierno, 2016 al 2019

La **Figura N°12-78** muestra el comportamiento del área de lagunas a través del monitoreo en temporadas de invierno, en que se observa principalmente un aumento de la cobertura de cuerpos de agua someros en sectores no permanentes y áreas de llenado esporádico, destacando además que las superficies calculadas se han mantenido sobre el mínimo histórico (48,9 ha). La mayor diferencia de valores de superficies entre temporadas de invierno, se presentó en el invierno de 2018 respecto al invierno de 2017 (-23,1 ha), en tanto en la presente temporada la diferencia es de +35,2 ha, respecto del invierno de 2018.

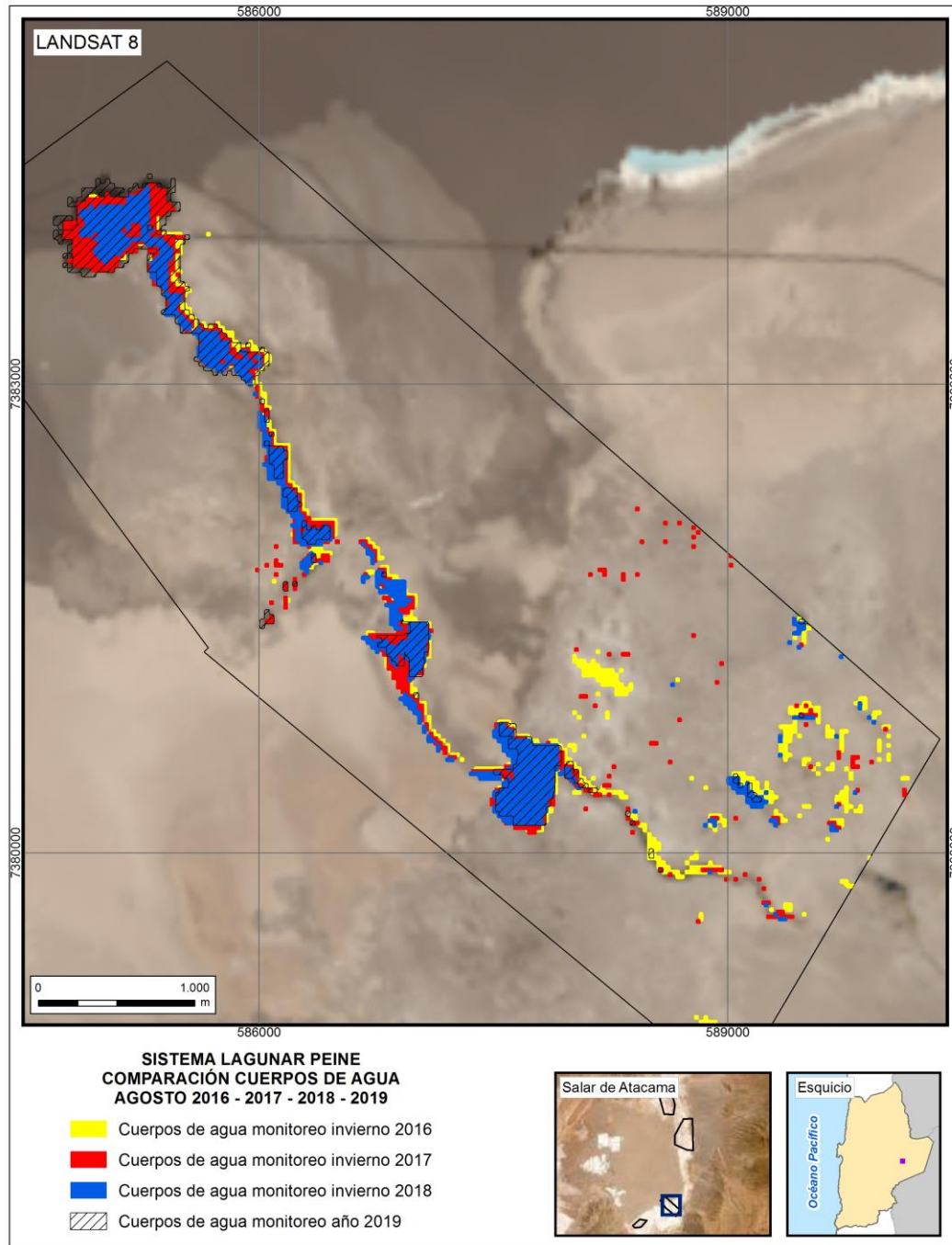
La **Figura N° 12-79** y **Figura N°12-80** muestran que en los inviernos las principales diferencias de superficie se observan en bordes lagunares de laguna Saladita y sección del canal hacia el Norte, y laguna Interna que presenta una dinámica de llenado esporádico, incluyendo el canal de conexión de esta laguna hacia el Sur.

Figura N° 12-79. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 - 2019, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2019.

Figura N°12-80. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 - 2019, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2019.

12.6.2 Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

El mayor ajuste para agosto de 2019 se presenta en Peine, que presenta un valor *Kappa* de 0,83 desde imágenes Pleiades 1A y 0,79 desde Landsat 8, lo que se explica por la mayor delimitación de los cuerpos de agua, sobre todo en los cuerpos de agua permanente y los de llenado esporádico (laguna Interna), y con la inexistencia de vegetación en este sistema lagunar. La Punta y La Brava presenta valores menores de índice *Kappa*, correspondientes a 0,66 desde alta resolución y 0,54 desde media resolución, lo que evidencia límites de lagunas menos definidos, gradientes de vegetación en los bordes y sectores de humedad y cuerpos de agua muy someros.

De acuerdo al índice de precisión global (OA), para agosto de 2019 los valores fluctúan entre 0,93 en Peine y 0,84 en La Punta y La Brava para imágenes Pleiades 1A, y para imágenes Landsat 8, el rango de valores es de 0,91 en Peine y 0,76 en La Punta y La Brava. Los valores antes indicados indican una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado y muestra consistencia con el índice *Kappa* (Tabla N°10-7 y Tabla N°10-8).

12.6.3 Análisis de comparación con registros históricos de línea de base

El análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua determinadas para invierno de 2019 con respecto a los registros históricos se presenta en la **Tabla N°12-28**.

Respecto de las diferencias con los mínimos históricos, La Punta y La Brava presenta una diferencia de (+21,2 ha o +67,2%) y Peine de (+37,8 ha o +77,2%), es decir, en ambos casos la superficie calculada en invierno de 2019 se mantiene por sobre el mínimo histórico.

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, sobre todo en el periodo de invierno en el que generalmente es posible observar el incremento de las lagunas como efecto del invierno altiplánico; 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 con precisión centimétrica, cuya contribución corresponde a la depuración de los límites de los cuerpos de agua y en la calibración del modelo de clasificación en función de lo observado en terreno.

Dentro de la variabilidad climática interanual e intranual, las precipitaciones constituyen unos de los factores climáticos que explican en parte, las fluctuaciones de superficie en los cuerpos de agua someros y permanentes de las áreas de estudio de Peine y La Punta y La Brava, en que lo observado en el aumento de las superficies lagunares es efecto de las precipitaciones del recién pasado invierno altiplánico.

Tabla N°12-28. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo de agosto de 2019 (invierno), 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 2019	
		Promedio (ha)	Máximo (ha)	Mínimo (ha)	Invierno 2019	
					ha	m2
Superficies Pleiades 1A de alta resolución	PB	33,8	35,0	31,6	52,8	528.462,2
	PE	64,8	73,6	48,9	86,7	866.637,3
Superficies Landsat 8 de media resolución	PB	*33,8	*35,0	*31,6	53,8	537.733,1
	PE	*64,8	*73,6	*48,9	85,1	851.020,7

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 disponibles, para determinar la relación entre ambos tipos de imágenes.

Fuente: Elaboración Propia

12.7 En relación con Nivel Freático.

En la **Figura N° 11-3** y **Figura N° 11-4**, presentadas en el capítulo de resultados de esta variable, se observa gráficamente la variación temporal de niveles desde el año 2013 a la fecha (septiembre 2019). Se puede indicar que, a la fecha se tiene un total de 2 años y 10 meses de línea de base, 3 años y medio de monitoreo o seguimiento (abril 2016 – sept 2019).

En general, considerando toda la serie y las fluctuaciones que presentan los niveles freáticos, se puede observar que en los pozos de ambos Sistemas, éstos presentan una variabilidad natural cíclica, con valores de niveles mas altos (agua mas somera) en invierno (junio – agosto) y mas profundos en verano (diciembre a marzo). Esta variabilidad es mucho más marcada para los pozos de La Punta – La Brava (**Figura N° 11-3**), con ciclos anuales bien definidos, en cambio para Peine (**Figura N° 11-4**), si bien se observa esta ciclicidad, en BA-22 mas que en BA-21, BA-21 presenta una influencia directa de alza de los niveles como respuesta a las precipitaciones que acontecen en febrero o marzo de ciertos años, las cuales se dieron por ejemplo en febrero 2017 y febrero 2019, alzando sus niveles y desmarcando los ciclos anuales. Este año en verano (febrero 2019), para el punto BA-07 (La Punta – La Brava) se presentó un peak de nivel (2300,100 msnm) mayor al peak de nivel de agua de invierno (julio-agosto), lo anterior atribuible a las precipitaciones que ocurrieron en la zona (febrero- invierno boliviano).

A continuación, considerando que este es el informe de la campaña semestral N°7 de invierno, se presenta un análisis comparativo de las temporadas “abril-septiembre” de cada año (otoño-invierno), y posteriormente su análisis del semestre respecto de la condición histórica y/o de línea de base.

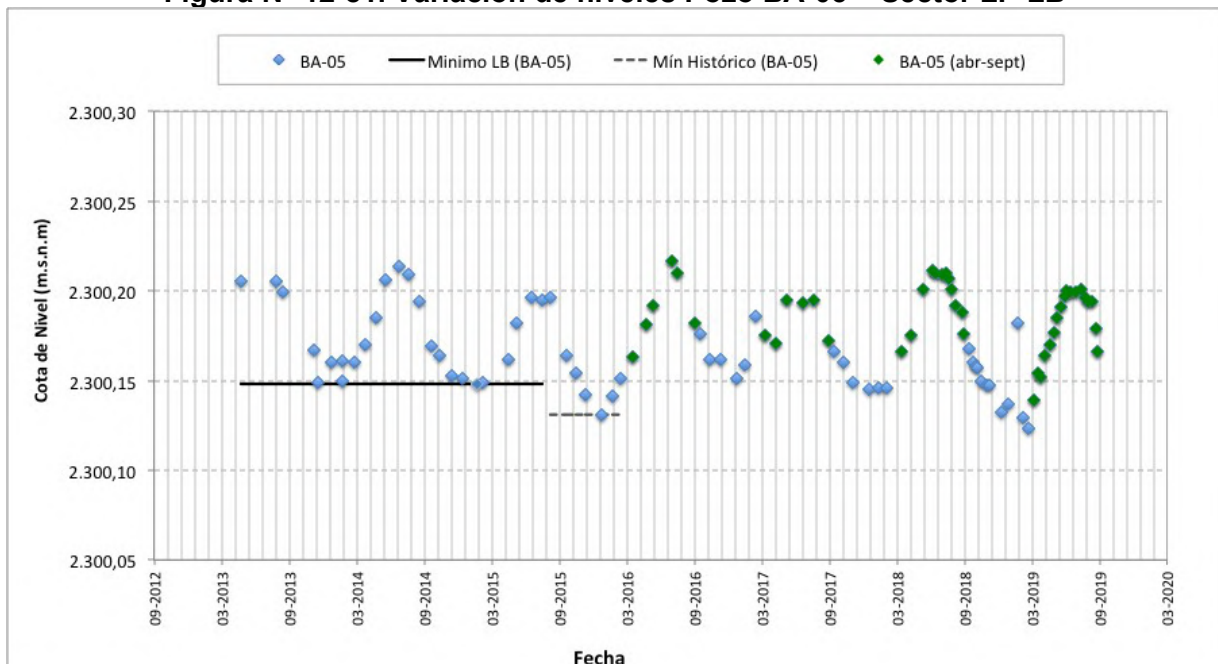
12.7.1 Análisis comparativo período Abril – Septiembre 2016, 2017, 2018, 2019.

12.7.1.1 Nivel freático en Sector La Punta-La Brava.

En la **Figura N° 12-81** y **Figura N° 12-82**, se presentan las gráficas del sector La Punta-La Brava, pozos BA-05, BA-07 y BA-16 respectivamente. Se muestran las gráficas por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical y destacando las mediciones en color verde, para la temporada “otoño-invierno” esto es, desde abril a septiembre de cada año de seguimiento posterior al 2016.

Para el **pozo BA-05 (Figura N° 12-81)**, se observan niveles de la campaña semestral N°7 por sobre los niveles del invierno 2017 y del orden y menores a los niveles del invierno 2018, con niveles mínimos registrados (2019) mas bajos que los mínimos de años anteriores (2016, 2017 y 2018), con un mínimo de 2.300,139 ms.n.m, registrado en la primera medida de abril 2019. Sin embargo, posterior a esta fecha, todos los niveles suben, retomando el ciclo de invierno.

Figura N° 12-81. Variación de niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB



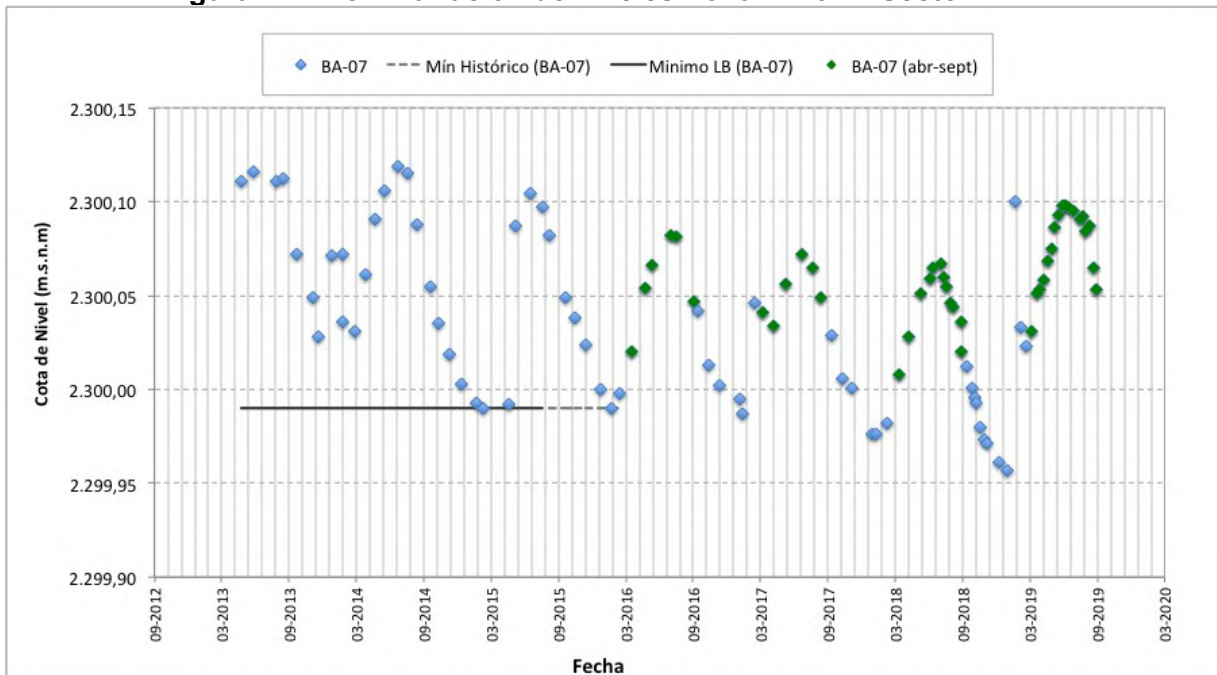
Fuente: Elaboración propia

Para el **pozo BA-07 (Figura N° 12-82)**, el cual se ubica en un borde de laguna, se observa un efecto de ascenso de nivel en este invierno 2019 que alcanza un máximo de 2300,098 ms.n.m en junio 2019, mas elevado que los inviernos anteriores y además una mayor diferencia de ascenso que el observado en los otros 2 pozos BA-05 y BA-16.

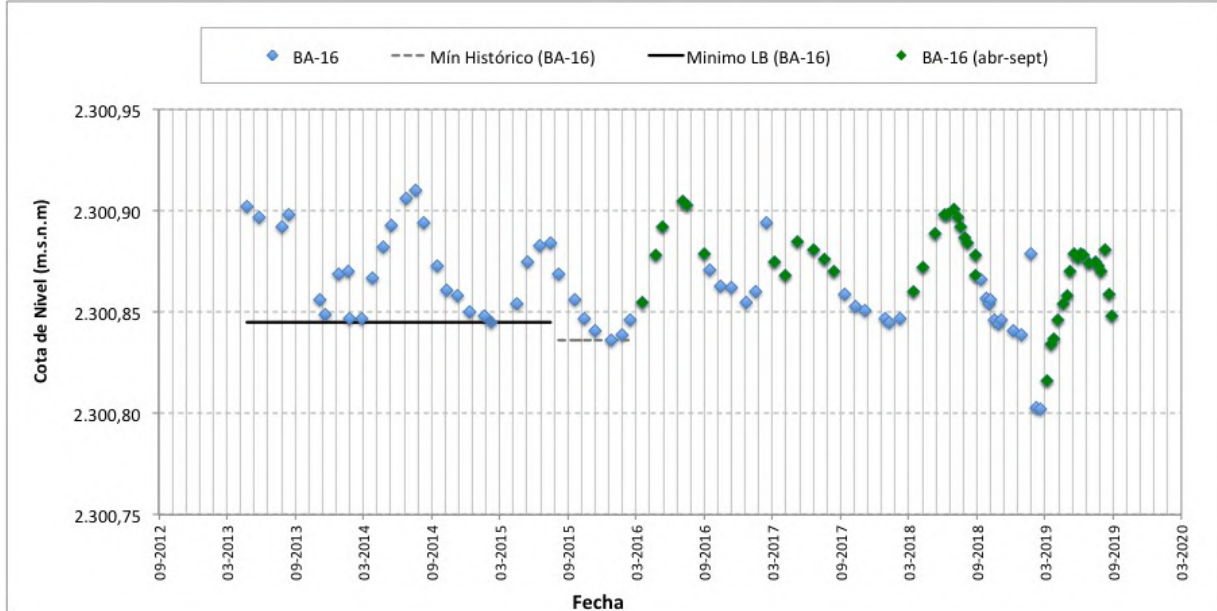
En esta temporada de invierno, se tiene un aumento de mas de 50 cm en los niveles del pozo BA-07, si se considera el valor medido desde abril 2019 con una cota de nivel registrada de 2.300,031 ms.n.m. en la primera medida de junio 2019, llegando a niveles de hasta 2.300,098 ms.n.m., en la última medida de junio y primera medida de julio 2019.

En general, se puede observar que en el semestre (abril-sept 2019) se presentan niveles freáticos que cambian las tendencias de niveles de este pozo, a un comportamiento mas estable respecto de lo que se venía observando los años previos.

Figura N° 12-82. Variación de niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-83. Variación de niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB

Fuente: Elaboración propia

El **pozo BA-16** (Figura N° 12-83), ubicado más al sur de las lagunas, ver **Figura N° 11-2**, presenta una variabilidad muy similar a BA-05, que en contraste con BA-07 donde las mediciones de invierno aumentan los niveles de la temporada, BA-05 y BA-16 si bien presentan aumentos de niveles en su temporalidad cíclica, éstos no ascienden más allá de lo observado en los años anteriores.

Los niveles de este invierno 2019 para BA-16, se presentan muy similares a los niveles del invierno 2017 y menores a los niveles del invierno 2018, con niveles mínimos registrados (2019) mas bajos que los mínimos de años anteriores (2016, 2017 y 2018), con un mínimo de 2.300,816 ms.n.m, registrado en la primera medida de abril 2019. Después de esta fecha, todos los niveles suben y vuelven a bajar, retomando el ciclo de invierno.

12.7.1.2 Nivel freático en Sector Peine.

En la **Figura N° 12-84** y **Figura N° 12-85**, se presentan las gráficas de los pozos BA-21 y BA-22 respectivamente. Se muestran las gráficas por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical y destacando las mediciones en color verde, para la temporada “otoño-invierno” esto es, desde abril a septiembre de cada año de seguimiento posterior al 2016.

Para el **pozo BA-21, Figura N° 12-84**, considerando los valores mínimos de la serie, los registros indican para la temporada invierno 2019 valores mayores a éstos y mayores a los niveles medidos durante el invierno pasado 2018, registrando un máximo de 2300,162 ms.n.m en abril y mínimo de 2300,120 ms.n.m en agosto.

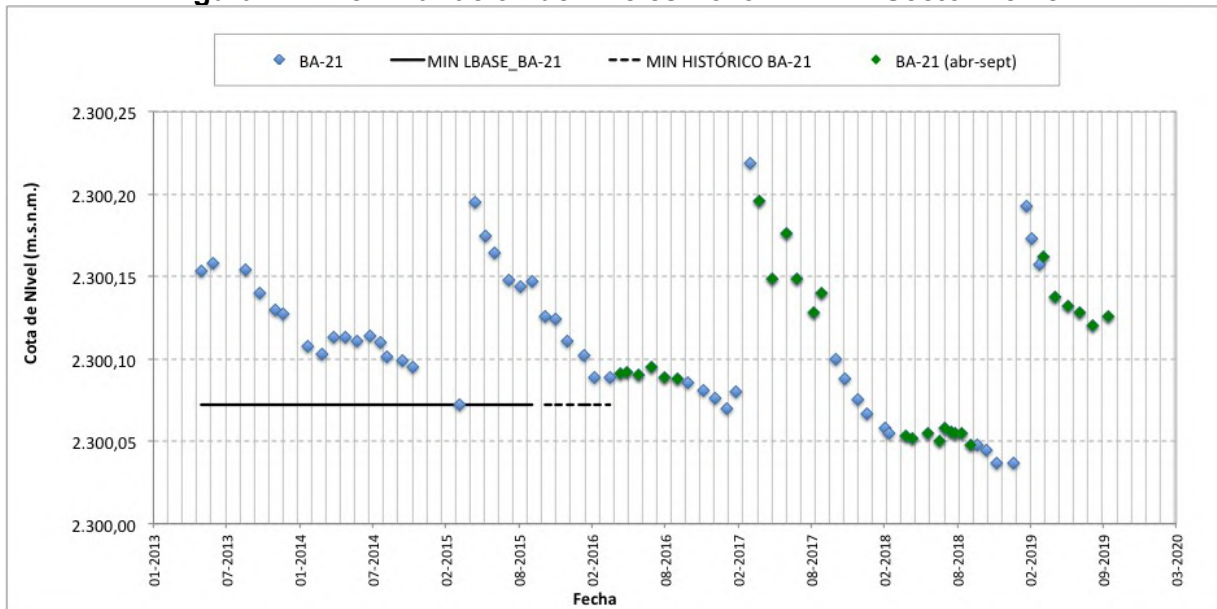
El pozo BA-21, a diferencia de los demás pozos, presenta un comportamiento fuerte y directo de respuesta a las precipitaciones, las que se ven reflejados cada año donde se ha presentado lluvias de invierno boliviano, 2015, 2017 y 2019, con mayores niveles en los meses de febrero y marzo y no así en invierno.

El punto BA-21, se ubica en la zona medias de lagunas, por eso su comportamiento se aprecia diferente al de los otros barrenos (propriadamente de lagunas). 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.

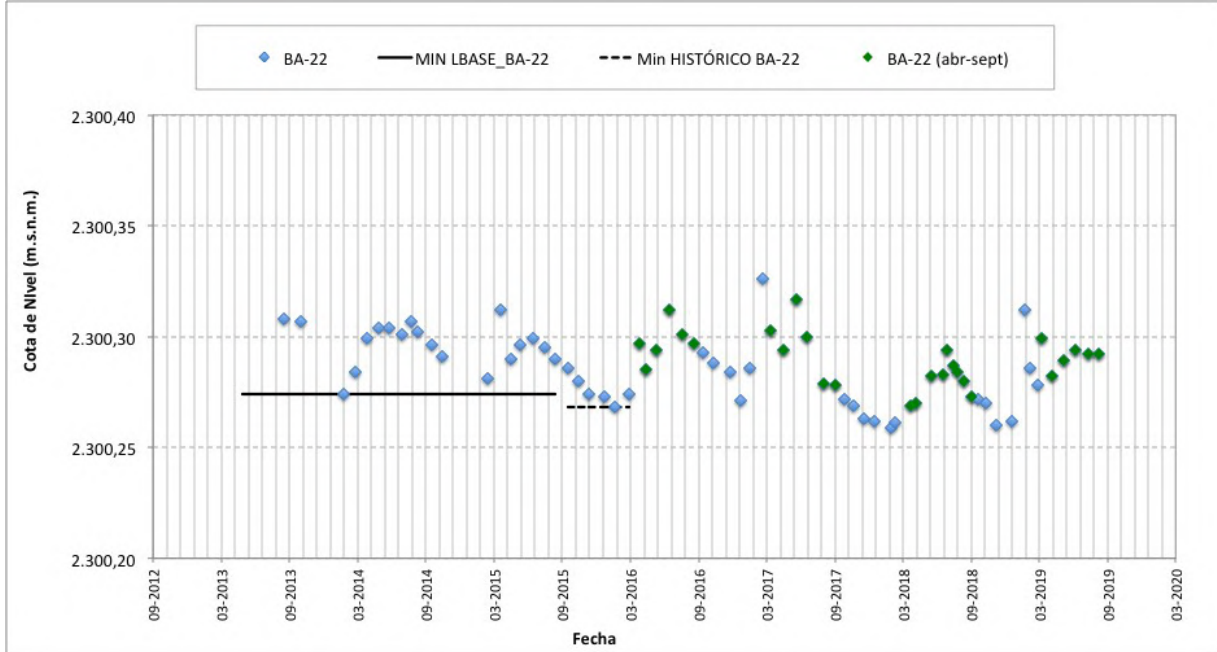
Para el **pozo BA-22, Figura N° 12-85**, la serie presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus niveles, con comportamiento para el semestre abril – sept 2019 de rango de valores similares a abril-septiembre 2018, pero menores niveles que los de invierno 2016 y 2017.

Los últimos valores de niveles del pozo BA-22, se presentan muy estables, casi parejos con cota de 2300,292 ms.n.m para septiembre 2019.

Figura N° 12-84. Variación de niveles Pozo BA-21 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-85. Variación de niveles Pozo BA-22 – Sector Peine

Fuente: Elaboración propia

12.7.2 Análisis comparativo abril-septiembre, en relación a los valores históricos.

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 (entre valores mínimos y máximos) para el sector entre 8,8 hasta 14,3 cm, donde el pozo BA-07 es el que presenta las mayores amplitudes de variación. La **Tabla N° 12-29** presenta los valores mínimos, para línea de base e históricos, cuyos valores se presentan en las gráficas de la **Figura N° 12-81** y **Figura N° 12-82**.

Tabla N° 12-29. Valores¹³ 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)	
		Mínimo LB	Mín. Histórico
BA-05	LP-LB	2.300,148	2.300,131
BA-07	LP-LB	2.299,990	2.299,990
BA-16	LP-LB	2.300,845	2.300,836

Fuente: Elaboración propia

Los valores de línea base corresponden desde abril 2013 hasta Agosto del año 2015, para BA-05 y desde abril 2013 hasta septiembre 2015 para 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 además 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° 12-29** 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.

Si se observa el **pozo BA-05**, si bien presenta 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 (**Figura N° 12-81**) (previa etapa de construcción y operación del proyecto). Los valores medidos en invierno 2019 se presentan todos por sobre el mínimo histórico.

Para el pozo **BA-07**, **Figura N° 12-82**, los niveles de la campaña invierno 2019 se presentan con registros muy por sobre los valores históricos. Con un valor mínimo en la temporada de 2300,031 ms.n.m en el mes de abril.

Para el pozo **BA-16**, **Figura N° 12-83**, la condición de niveles se presenta un poco distinta, con valores medidos en marzo 2019 muy bajos, y que desde abril a junio se elevaron, pero no llegando a los valores de niveles que se tenían en julio 2018. Pese a este comportamiento los valores de mayo a septiembre se presentan por sobre el mínimo histórico.

Para este sector La Punta-La Brava, en general se observa una tendencia estable, considerando toda la data de registros de niveles desde la línea de base, incluido BA-07 que logra retomar los niveles de invierno de años anteriores.

¹³ Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°3 PMB.

12.7.2.2 Nivel freático en Sector Peine.

Para el **Sistema Lagunar Peine**, en la **Tabla N° 12-30**, se presenta los valores mínimos, para línea de base e históricos, cuyos valores se muestran en las gráficas se presentaron en la **Figura N° 12-84** y **Figura N° 12-85**.

Tabla N° 12-30. Valores¹⁴ Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abr 2013 – Agosto/Sept 2015)	
		Mínimo LB	Mín. Histórico
BA-21	Peine	2.300,072	2.300,072
BA-22	Peine	2.300,274	2.300,268

Fuente: Elaboración propia

Los valores de línea base corresponden desde 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 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, abril del 2016. La mantención del monitoreo posterior al período de evaluación, fue para entregar continuidad a los registros de niveles mensuales y además 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° 12-30** 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.

En general, la situación observada para los pozos BA-21 y BA-22, **Figura N° 11-4**, representativos del sector, presentan diferencias de amplitud entre mínimos y máximos. En el caso de BA-21, éste no refleja una ciclicidad exactamente anual, sino que los ciclos entre un valor alto y uno bajo, se presentan más extensos, cada dos años.

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.

Para BA-21, **Figura N° 12-84**, los niveles registrados en la temporada abril-septiembre de cada año de seguimiento presenta niveles que están dentro del rango de la variabilidad histórica, con excepción del invierno pasado 2018 donde se mezclan con la temporada de primavera-verano.

En BA-22, **Figura N° 12-85**, en invierno 2019, los datos presentan niveles por sobre el valor de línea de base y sobre el mínimo histórico, donde los últimos datos de julio y agosto se muestran muy estables en torno a los 2300,292 m.s.n.m.

¹⁴ Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°3 PMB,

13 CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las principales conclusiones del séptimo 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.

13.1 En relación con Flora y Vegetación

En cuanto a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), el monitoreo de invierno 2019 describe 34 formaciones vegetales, registro similar respecto a lo observado en invierno de 2018 (34), correspondientes a las formaciones del PMB.

En general la vegetación se presenta estable en su composición, estructura y superficies en el total del área de estudio en relación a monitoreos anteriores. Las principales diferencias se observan en el sector de Peine, en la composición de especies dominantes de una vega de *Distichlis spicata* la cual se describió en este monitoreo como vega de *Schoenoplectus californicus* y *Baccharis juncea*, y por otro lado un Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa* y *Distichlis spicata*, formación dentro de la cual se delimito un área afectada por quema la cual se determinó como Vega de *Distichlis spicata*.

Las variaciones registradas se observan en la cobertura y composición de especies dentro de las formaciones, y el cambio en la dominancia de especies en otros, que representan diferencias no biológicas y que sólo reorganizan la configuración de las unidades en estudio.

Las conclusiones en cuanto a las condiciones generales de la vegetación, en relación a los resultados en las Transectas, indican una similitud entre los resultados de monitoreos de invierno (M1, M3 y M5) con el monitoreo actual de invierno 2019 (M7). Las comunidades con mayor contenido de humedad del suelo, son las que desarrollan mayor cobertura vegetal: principalmente la formación dominada por *Schoenoplectus californicus*, con coberturas absolutas sobre el 100% en todas sus transectas, y, además transectas con coberturas sobre un 40%, correspondientes a las transectas de herbazales en el subsector La Punta en las formaciones de *Juncus balticus* (T13) y herbazal de *Triglochin concinna* (T11), y unas transectas en Aguas de Quelana en matorrales de *Sarcocornia fruticosa* (T15 y T17).

Por otro lado, en M7 las formaciones que continúan presentando menor cobertura vegetal (menor al 10%), son las transectas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo, en formaciones de herbazal de *Distichlis spicata* (T21, T26 y T27), las que tenían también las coberturas más bajas en MB0, además en matorrales de *Tessaria absinthioides* (T05 en Peine y T23 en Tilopozo), en el herbazal de *Juncus balticus* (T31) y la transecta T10 en un herbazal de *Triglochin concinna*, la cual es un parche de vegetación en el borde de una laguna con escasa cobertura vegetal que registra un 1,2% de cobertura absoluta en M7. En general, estas transectas presentan un sustrato con menor contenido de humedad (no saturado) y se desarrollan muchas veces en sustratos altamente salinos (T21, T31 y T10), o bien, en sustratos de textura terrosa (T27 y T05) o costra salina terrosa (T26), localizados más al borde del salar de Atacama.

Con respecto a la evolución general de las coberturas vegetales observada en los monitoreos de invierno, se observa una recuperación de la cobertura en M7 con respecto a lo registrado desde M1 a M5. Si bien en nueve transectas la cobertura en M7 es menor que M5 y registros previos, el aumento general en M7 refleja que el aporte de las precipitaciones en el verano de 2019, incidió en una mayor actividad en la vegetación, observada principalmente en los herbazales de *D. spicata*.

En relación a la cobertura muerta, los mayores valores se registran en el herbazal de *S. californicus* (T01, T02 y T03 en Peine) y en un herbazal de *D. spicata* (T20 en Tilopozo). No obstante, esta cobertura muerta no afecta a la cobertura absoluta vegetal en la formación, registrando igualmente coberturas sobre el 100% en los herbazales de *S. californicus* y la formación de *D. spicata* corresponde a una de las transectas con menor variación de cobertura vegetal desde MB0 con los monitoreos de invierno. Por otro lado, el máximo de cobertura que fue registrado, es en la transecta T03 con una cobertura de rastrojos de 84,8%, valor que se asocia principalmente a cobertura de rastrojos por quema producto del incendio/quema ocurrido en el segundo semestre de 2018.

En relación a la riqueza de especies, en general no presenta variaciones importantes entre los monitoreos de invierno o con MB0, manteniéndose el registro de una a cuatro especies por transecta. La mayor variación se registra en la transecta T12 en el subsector La Punta, que registraba tres especies en MB0 y M1, pero ya desde M3, en M5 y M7 solo se ha registrado la especie dominante *S. fruticosa*.

13.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

En esta séptima campaña de monitoreo se registraron 26 especies (2 reptiles, 18 aves y 6 mamíferos). De las 26 especies de fauna detectadas en invierno 2019, 10 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación, de las cuales 6 se consideran amenazadas. En cuanto al origen, 3 de las 26 especies registradas en la campaña son endémicas de Chile, otras 22 especies se clasifican como nativas, mientras que una especie es catalogada como introducida.

Los valores de abundancia de esta campaña de invierno 2019, para reptiles, micromamíferos y para el total de aves son los máximos de todos los monitoreos invernales, lo que se explicaría en parte por el fuerte invierno altiplánico ocurrido en el verano de 2019, que determinó una mayor cobertura vegetal, y por lo tanto, más recursos para la fauna (alimento, refugio). Además, las condiciones de temperatura de este invierno 2019 parecieron también ser más óptimas para la actividad de la fauna.

En la escala de riqueza por campaña estacional, y comparando el registro de las campañas de invierno 2016 a invierno 2019 con la última campaña de invierno de líneas de base anterior (invierno 2014, PMB 2015), se observa que las riquezas totales de invierno de 2016 a invierno

2019 (con rango entre 22 a 28 especies) son superiores a la registrada en julio de 2014, con 17 especies, y 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. Específicamente para las aves, en los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine, la riqueza de especies observada en las estaciones invernales del monitoreo, de 2016 a 2019 (rango entre 11 y 14 especies), es mucho mayor a la observada en invierno de 2014 (PMB, con 7 especies). 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 2019.

En total, considerando el total acumulado para las 4 campañas de monitoreo invernales (2016 a 2019), la riqueza es de 39 especies de vertebrados, con dos especies de reptiles, 31 especies de aves y 6 especies de mamíferos.

Considerando los monitoreos invernales, los tres sectores presentan una riqueza que varía entre 24 especies en el sector de Tilopozo, a 18 especies en el sector de La Punta y La Brava y 19 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, 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 invernal (posterior al histórico), se señala lo siguiente:

De acuerdo a su origen geográfico, tres de las especies registradas son endémicas de Chile, en tanto que otras 35 especies son nativas, y finalmente, una especie es catalogada como introducida.

De las 39 especies de fauna detectadas en los monitoreos de invierno, 12 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 6 especies se encuentran en categoría de conservación listadas en el reglamento de la Ley de Caza, otras 4 especies se encuentran clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES; en tanto que las 2 especies restantes se encuentran clasificadas en alguna de las categorías de conservación no oficiales.

Del total de 12 especies en categoría de conservación, 8 se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro, Vulnerable y Casi amenazada. Por su parte, 4 especies se catalogan sin amenaza (precautorias). El desglose de las categorías de conservación de las especies amenazadas es el siguiente:

- **Reptiles (una especie):** en categoría En peligro, *Liolaemus fabiani* (lagartija de Fabián).
- **Aves (seis especies):** en categoría Vulnerable: *Chroicocephalus serranus* (gaviota andina), *Fulica gigantea* (tagua gigante), *Phoenicoparrus andinus* (parina grande), *Phoenicoarrus jamesi* (parina chica) y *Phoenicopterus chilensis* (Flamenco chileno), y en categoría Casi Amenazada: *Fulica cornuta* (tagua cornuda).
- **Mamíferos (una especie):** en categoría Vulnerable: *Ctenomys fulvus* (tuco-tuco de Atacama).

Ninguna de las especies registradas se considera Monumento Natural.

En general, en cuanto a la abundancia, los valores registrados entre las campañas de monitoreo de invierno son similares, como la dominancia (en abundancia y frecuencia) de la lagartija de Fabián entre los reptiles (aunque con los máximos valores en invierno 2019), la mayor abundancia de la parina grande entre las aves, la mayor frecuencia y abundancia del zorro culpeo, el burro y el Tuco tuco de Atacama entre los mamíferos, y la presencia del ratoncito andino y el ratón orejudo amarillo como los micromamíferos más abundantes del trampeo. En particular, en relación a las abundancias totales, éstas son notoriamente diferentes entre los inviernos, siendo mayor en la última campaña de invierno 2019 (39 ejemplares) y menor en invierno 2017 (9 individuos).

En relación a las aves de los sistemas lagunares, la abundancia de todo el monitoreo fue mayor en invierno 2019 (486 individuos) y menor en invierno 2018 (362 ejemplares), destacando la parina grande y el flamenco chileno como las especies más abundantes en las campañas.

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. En general, los valores de abundancia por ambiente de la campaña de invierno 2019, se encuentran dentro de los máximos descritos.

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 humedal pajonal y el matorral. Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal y el área desprovista de vegetación costra salar (sin registro de ejemplares).

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de las cuatro campañas invernales, de las 3 especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en 5 de los 6 ambientes, y con un IDR que varió, entre 0,8% a 11,7%. En cambio, el ratón andino fue registrado en 4 ambientes, variando

entre un IDR de 0,8% a un 21,7%. La yaca del norte solo se registró en la campaña de invierno 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 Base (ej. mayor riqueza de especies, mayores valores de abundancia absoluta, mayor número de flamencos). En relación a los flamencos, la composición de las especies y el patrón de dominancia numérica 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), en el que se observan mayores valores de abundancia en el monitoreo que en la Línea de Base. 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 que en la Línea de Base (lo que está dado particularmente por la parina chica).

13.3 En relación con Tapetes Microbianos

En la campaña invierno 2019, se detectó tapetes en 11 de las 16 estaciones de monitoreo establecidos (68,8%). Además, se observó presencia de tapetes con las Tipologías 1, 2 y 3. Sin embargo, se observó una disminución progresiva de la Tipología 1 (24,5%) versus un aumento en la Tipología 2 (67,3%) y un leve aumento en la Tipología 3 (8,2%).

La Tipología 2, fue predominante en la campaña de invierno 2019, esta condición se encontraría relacionada con la presencia de distintos grupos funcionales y de solo 2 macrozonas pigmentarias, así se puede observar que las capas verdes de la macro-zona subsuperficial, representarían microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (cianobacterias filamentosas y microalgas diatomeas). En la macro-zona intermedia las capas rosado y púrpura, representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos (bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitautótrofos y heterótrofos). En la macro-zona profunda predominaron las capas marrón y en menor medida, púrpura, las cuales representarían a microorganismos quimiheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos, y otras capas verde y amarillo, que corresponderían a microorganismos fotosintéticos, autótrofos anoxigénicos anaerobios, conocidos como bacterias verdes sulfúreas.

En el Sector Peine, estos tapetes presentaron capas comunes subsuperficiales, frecuentemente de color verde y/o naranja; capas intermedias generalmente de color rosado y/o púrpura; y capas siguientes de localización profunda que presentaron tonalidades marrón y/o verde claro. En el Sector La Punta-La Brava, los tapetes presentaron capas subsuperficiales frecuentemente de color naranja y/o verde; capas intermedias color rosado y/o púrpura; y capas profundas con tonalidades de color café y/o verde.

En relación a las características morfológicas de los tapetes microbianos, las lagunas presentan tapetes microbianos con continuidad espacial en relación al área de la estación de monitoreo.

Respecto a Laguna La Brava, en invierno 2019, los tapetes presentaron una textura superficial coriácea y morfología convexa cuando estaban cerca del borde de la laguna (LB-1). Además, se observaron tapetes planos de consistencia blanda (LB-2) con textura principalmente granular. Se destaca en la estación LB-3, la presencia de tapetes localizados en el borde de la laguna, que se caracterizaron por presentar una consistencia blanda y capas subsuperficiales de coloración naranja y verde, seguido de capas color rosado.

Por otro lado, a través de la identificación visual, se sugiere para la campaña invierno 2019 la presencia de evaporitas (LP-24) y de microbialitos (LP-23, LB-1). El sector Tilopozo en la campaña invierno 2019, no registró presencia de tapetes microbianos.

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia mayoritaria de Tipología 2, se puede indicar que las fluctuaciones de la conductividad, la salinidad, el oxígeno disuelto y la turbiedad en estos sistemas, producto de una mayor intensidad en las precipitaciones en el Salar de Atacama, ha provocado el anegamiento de las lagunas aumentando las salinidades, ha disminuido el oxígeno disuelto en Peine (Laguna Interna), y por otro lado se ha observado la disminución de los niveles hídricos y la retrotracción del espejo de agua en otros sectores (La Brava), cuyos efectos en su conjunto podrían estar afectando las tasas de fotosíntesis y la diversidad de tipologías de los tapetes microbianos.

En relación a la evolución histórica de los tapetes respecto de la estructura de pigmentación en tapetes microbianos, se observa la presencia de las tres tipologías de tapetes en invierno 2016, 2017, 2018 y 2019. Sin embargo, la ocurrencia de estas tipologías presenta variaciones en cuanto a proporción, en invierno 2019.

La Tipología 1 se observó en las cuatro campañas de invierno. Se destaca, sin embargo, la disminución de tapetes Tipología 1 en invierno 2019 respecto a las campañas previas, lo cual se relaciona con la detección principalmente de tapetes con estructura de tapetes de Tipología 2 en Laguna Salada, Interna, La Punta y La Brava.

Entre las campañas de invierno, se han distinguido principalmente 3 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, los cuales predominan en Laguna La Brava (LB-1); 3) Tapetes planos, de textura superficial mucilaginosa, consistencia blanda, granular, detectados especialmente en Laguna La Brava (LB-2). Estas morfologías, si bien se han mantenido entre campañas de invierno, han sido más frecuentes en 2017 y 2019.

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, en invierno 2016, 2017, 2018, y 2019, se sigue detectando la presencia de microbialitos en el Sector La Punta-La Brava, en la estación LB-1 y la estación LP-23. En cambio para las evaporitas, se sugiere la presencia en invierno 2018 para el Sector Peine en Laguna Interna (I-11) y Sector La Punta-La Brava, Laguna La Punta (LP-24). En invierno 2019, se observó presencia de evaporitas solo en el Sector La Punta- La Brava (LP-24).

13.4 En relación con Suelo o Sustrato

En cuanto al monitoreo de invierno 2019, se puede indicar que se logró monitorear todos los puntos de monitoreo y sus parámetros comprometidos en la RCA 21/2016.

Se indica, que 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), los cuales se caracterizan por ser altamente heterogéneos debido a su origen mineralógico distinto, determinando una alta variabilidad de los suelos, incluso a una escasa distancia entre dos puntos de monitoreos.

Para los suelos del área de estudio se determinaron en total 9 clases **texturales** considerando los 4 monitoreos invernales, presentándose 5 de éstas en los monitoreos M1 y M7, 7 en M3 y 8 en M5, correspondiendo a arcillosa, (muy fina); areno francosa (gruesa), arenosa (muy gruesa), franca (media), franco arcillo arenosa, franco arcillo limosa y franco arcillosa (moderadamente finas), franco arenosa (moderadamente gruesas) y franco limosa (fina).

Para el área de estudio, y considerando los 4 monitoreos invernales, la conductividad eléctrica varía entre **654,6** y **34.900** $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los suelos **no salinos**, como **extremadamente salinos** son muy escasos para el área, en ella predominan principalmente los suelos **ligeramente salinos**, **salinos** y **muy salinos**.

En general, en el área de estudio se observa una importante variabilidad en los resultados de la conductividad eléctrica para los mismos puntos en los diferentes monitoreos. A pesar de esta variabilidad, en el sector de **La Punta-La Brava** existe un aumento en la conductividad eléctrica en los monitoreo M3 y M5, al igual que en M7 y en este último se caracteriza por presentar una variabilidad menor, situación similar se presenta en **Peine** y **Tilopozo**.

La **materia orgánica** para el área de estudio varía desde porcentajes inferiores a 0,1% hasta un 37,1%, observándose una tendencia general para M7 en donde todos los puntos denotan un aumento de la M.O. en este último monitoreo al compararlo con la M.O. en campañas anteriores.

En el área de estudio (**Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo**), en general para M1, M3 y M5 se observa importantes variaciones en los porcentajes determinados para los puntos en los diferentes monitoreos, destacando que tanto los puntos con las mayores concentraciones como los mínimos, corresponden a los mismo muestreos y en general la disponibilidad varía de **muy baja** a **baja**, las categorías **normal, alta** y **muy alta** no son frecuente. En cambio, en M7 la categoría **muy alta** es la de mayor frecuencia, y las restantes muy escasa e incluso no se determinaron suelos con categoría **muy baja**.

En términos generales, para los 3 primeros monitoreos estivales 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 mayor porcentaje de materia orgánica, se presentan en general en áreas con abundante cobertura vegetal, principalmente del tipo herbácea y 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 presentar vegetación superficial, el contenido de materia orgánica en profundidad es muy alto, lo que debe a la presencia en profundidad de abundantes restos vegetales, mineralizados, correspondiendo a antiguas vegas enterradas por fenómenos naturales.

En M7, los puntos con menores contenidos de materia orgánica presentan las características indicadas anteriormente respecto a vegetación y textura, pero existen otros que con similares atributos presentan altos valores en materia orgánica, por lo que se requiere de más datos para determinar si es una tendencia en el área o sólo una condición en particular.

El **pH** del área de estudio, varía entre 7,4 y 9,19 (**medianamente básico a alcalino**), siendo los suelos de mayor frecuencia los de pH **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino**, y las restantes categorías muy poco frecuentes.

En el sector de **La Punta-La Brava**, en general el pH del suelo presenta una leve disminución numérica en M5 respecto a M1, al igual que M3 y en M7 los valores son superiores sólo en algunos puntos, esto determina que sólo en un reducido número de puntos se modifique la categoría entre monitoreos. Mientras que, en **Peine**, el pH del suelos determinado para M3, M5 y M7 en general es más ácido que respecto a M1, incluso la mayoría de ellos cambia de categoría.

En el sector de **Tilopozo**, el pH de los puntos asociados a los monitoreos M1 a M3 es similar en términos de categoría, y en M5 se observa una acidificación de los suelos con algunos de

los puntos cambiando de categoría. En cambio, en M7 se observa un aumento en el pH de la mayoría de los puntos con valores similares a las 2 primeras evaluaciones.

En general para el área de estudio aun cuando se observan variaciones numéricas en la mayoría de los monitoreos, estas generan pocos cambio en la categoría de pH del suelo, excepto en un reducido número de puntos, donde éste es más ácido comparado con los monitoreos anteriores, esto indica una relativa estabilidad del área de estudio para este parámetro, y la variaciones numérica de los puntos son por efecto en la heterogeneidad del sustrato.

La concentración de **sales solubles** para el área, varía entre 3.150 y 110.896 mg/kg. dependiendo del sector. Se observa una importante variación de los valores de los puntos de muestreo entre monitoreos. En general para **La Punta-La Brava, Peine y Tilopozo**, los menores valores se observaron en M1 y M5, aumentando en M3 y M7, destacando que la mayoría de los puntos de muestreo aumentan el contenido de sales solubles, respecto a M1.

La **permeabilidad** 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, pero con una velocidad de infiltración del agua dominante de **alta a muy alta**, siendo las permeabilidades más bajas muy escasas en todos los sectores.

Respecto al **nitrógeno disponible**, en el área de estudio la concentración de este macroelemento varía entre 1 a 55 mg/kg. En general se puede señalar, que el nitrógeno aumentó para casi todos los puntos en esta campaña M7, comparado con todas las campañas previas desde M1 a M7.

En el sector **La Punta-La Brava**, el nitrógeno disponible en los monitoreos M1, M3 y M5 en la mayoría de los puntos es **muy bajo** y la categoría **baja** se presenta en un solo punto (S 5-2). En cambio, en **Peine** dominan los suelos con disponibilidad **muy baja** en los monitoreos M1, M3 y M5, pero las categorías superiores presentan una mayor frecuencia que en el sector anterior, destacando que en M7 las categorías **media** y **alta** son dominantes, y en Tilopozo la totalidad de puntos de muestreo se encuentran en las categorías **media** y **alta**.

En cuanto al **potasio** disponible y de acuerdo a los resultados de los monitoreos, en el área se presentan valores muy variables, tanto a nivel de sector como también de punto de muestreo, con valores que varían entre 237,0 y 8.763,0 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** la disponibilidad es mayoritariamente **alta** y en menor proporción **adecuada** para M1, M3 y M5, y en M7 en la mayoría de los suelos el potasio es **adecuado** y en un reducido número de muestreos es **alto**. En **Tilopozo** es mayoritariamente **alto**, con algunos puntos donde éste es **adecuado**.

El contenido de **fósforo disponible** para el área presenta valores entre 1 y 299 mg/kg. Para el área de estudio, no se observa una similitud entre los valores de los puntos de muestreo entre monitoreos.

En el sector de **La Punta-La Brava**, en la mayoría de los puntos de muestreo del monitoreo M1 la disponibilidad de este macroelemento es **muy baja**, observándose un fuerte incremento en M3, para luego disminuir en M5 y M7, pero sin alcanzar los valores del primer monitoreo.

Mientras que, en el sector de **Peine** en M1 la mayoría de los muestreos presenta una concentración **muy baja** de fósforo, y en M3 se observa un aumento en la concentración en la mitad de los puntos, y que en los monitoreos M5 y M7 la mayoría de los puntos presentan concentraciones **baja** y **media**, y con un bajo número de puntos donde ésta es **alta** y **muy alta**. Igual situación se presenta en **Tilopozo**.

Respecto a la **humedad**, ésta varía entre 1% y 79,1% y en términos generales los porcentajes de humedad son similares entre los monitoreos para los 3 sectores, aun cuando existe una variación entre los mismos puntos para los diferentes monitoreos, esta no es amplia. Estos cambios en la humedad para los mismos puntos en los diferentes monitoreos, están definidos principalmente por el tipo de suelo, específicamente número y tamaño de los poros (textura), debido a la heterogeneidad de los materiales que lo constituyen y a los procesos formativos del suelo.

Para el área de estudio tanto en M1 como en M5 y M7, se detectó **nivel freático** a profundidad de trabajo en 9 puntos, número que descendió a 8 en M3. En el sector **La Punta-La Brava** en un punto (S 3) el nivel freático aumentó su profundidad en cada monitoreo, situación opuesta a la presentada por S 6, en los restantes puntos S 5 y S 4, ésta es fluctuante, esta última condición se presenta en los puntos del sector de **Peine** (S 11 y S 14), como también en **Tilopozo**, donde el punto S 9 (M3) no se detectó agua a profundidad de trabajo y que en los monitoreos siguientes nuevamente se observó a profundidad similar a la determinada en M1. En general, se puede señalar que M7 presenta niveles de agua más someros (menores profundidades) que la condición de invierno de años previos, en los puntos S 6 (La Brava), S 14 (Peine) y S 13 (Tilopozo). En M3 el nivel de agua se presentó a menor profundidad en los restantes puntos, y en M1 igual condición se presenta en S 5 (La Punta), S 3 (La Punta) y S 11 (Peine). En general esta situación se presenta en M5 al compararse con M7.

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 invernales, no existiendo una relación entre los resultados de éstos y los diferentes monitoreos realizados.

13.5 En relación con Limnología

Referente a la calidad de agua, los resultados tanto para el invierno 2019 como las anteriores campañas de invierno del PMB, indican que si bien hubo diferencias en algunos parámetros respecto a los registros de LB, tales diferencias pueden deberse a cambios propios de la variación natural del sistema y no necesariamente a la operación del proyecto, considerando que los rangos de LB para inviernos tuvieron en general una variación estrecha.

El análisis calidad de sedimentos contó con sólo una campaña de LB previa de referencia (verano 2015), por lo que las diferencias entre el actual registro y la LB, estarían sujetos a la variación natural de los sistemas acuáticos que contienen sedimentos salinos ricos en sulfatos y yeso.

Los análisis de granulometría a las muestras colectadas en este último monitoreo de invierno 2019, no se pudieron llevar a cabo debido a factores técnicos explicados por la ETFA encargada de los análisis (ANAM S.A.).

En cuanto a las comunidades de fitobentos, fitoplancton y zooplancton en invierno 2019, se registraron riquezas dentro del rango de la LB del PMB. Respecto de las abundancias, disminuyeron considerablemente en la actual campaña. Las fluctuaciones de la conductividad y la salinidad en estos sistemas, producto del aumento de las precipitaciones en el salar (2018 y 2019), sumado a la disminución de los niveles hídricos y la retrotracción del espejo de agua en algunos sectores (La Brava) y el anegamiento con altas salinidades en otros (Laguna Interna), podrían estar afectando las tasas de fotosíntesis y la diversidad microalgal y zooplanctónica, repercutiendo en las abundancias de estos componentes.

Respecto al zoobentos en invierno 2019, las riquezas y abundancias corresponden a lo descrito en los monitoreos previos y se asume que *Heleobia* sp. encontrada en Tilopozo, correspondería a *H. atacamensis*, descrita en la literatura para ese sector. Esta especie se encuentra en categoría “En peligro Crítico” según el DS 52/2014 (MMA).

Los resultados de este monitoreo invierno 2019, mostraron algunas variaciones respecto a los monitoreos previos y los límites de referencia de la LB, por lo que la continuidad de estas evaluaciones permitirá evidenciar patrones de las dinámicas naturales y detectar eventuales cambios en los sistemas en estudio.

13.6 En relación con Área de Lagunas

De acuerdo con los resultados obtenidos en el **invierno de 2019** en base a las imágenes de alta resolución, se calcularon superficies lagunares correspondientes a 52,8 ha para el sector de La Punta y La Brava y 86,7 ha para el sector Peine. Así mismo, desde imágenes de media

resolución para invierno de 2019, se calculó una superficie de 53,8 ha para La Punta y La Brava y de 85,1 ha para Peine.

De acuerdo con las superficies resultantes del presente monitoreo, se indica que éstas se encuentran dentro de los límites de seguimiento establecidos, y por sobre los registros mínimos históricos, considerando el criterio indicado 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”*.

Se agrega a lo anterior que, desde imágenes de alta resolución, el sector de La Punta y La Brava presenta en este invierno 2019 una menor superficie que el invierno de 2018 y mayor que los inviernos de 2017 y 2016, este último correspondiente a la fase de construcción. Respecto del sector de Peine, éste presenta en invierno 2019 la mayor superficie registrada de todo el monitoreo, lo que va en directa relación con el llenado esporádico de laguna Interna como efecto del recién pasado invierno altiplánico.

Desde imágenes de media resolución, en el sector La Punta y La Brava, la superficie de invierno de 2019 es mayor a invierno 2017 y menor a los inviernos 2016 y 2018. En tanto, el sector Peine, en invierno de 2019 presenta una superficie menor a invierno 2016 y agosto 2017, pero mayor al invierno de 2018.

En cuanto a la validación del modelo, los mayores ajustes se presentan en los valores *Kappa* de verano para el sector de La Punta y La Brava debido a que los sectores con humedad y cuerpos de agua someros son menores, por lo tanto la precisión de la validación de terreno respecto del modelo aumentan su concordancia; mientras que para el Sector de Peine este efecto ocurre en invierno, lo que se relaciona con que este sistema presenta bordes muy definidos que se llenan en invierno, dependiendo de la intensidad de los efectos del invierno altiplánico, y en verano que esta también la “temporada seca”, la dinámica del sistema presenta más zonas húmedas y cuerpos de agua más someros aunque dentro de estos bordes, disminuyendo así la concordancia de los valores de validación de terreno en relación al modelo.

13.7 En relación con Niveles freáticos en Sector Lagunas

Del monitoreo de niveles en los 5 puntos comprometidos como parte del PMB, en los Sistemas de Lagunas: 3 puntos La Punta-La Brava, y 2 puntos en Peine, se puede concluir que de los valores registrados para esta campaña, con frecuencia mensual, para el período abril-septiembre 2019, los valores registrados se encuentran por sobre los valores históricos con excepción del pozo BA-16, en el mes de abril 2019.

13.7.1 Para los pozos del Sector la Punta-La Brava, se tiene que:

En particular, para este semestre invierno 2019, se puede indicar para cada pozo lo siguiente:

- El pozo BA-05, presenta niveles de invierno 2019 todos por sobre el mínimo histórico, rango de los niveles similares a inviernos pasados, con niveles mínimos registrados (2019) mas bajos que los mínimos de años anteriores (2016, 2017 y 2018), con un mínimo de 2.300,139 ms.n.m, registrado en la primera medida de abril 2019. Sin embargo, posterior a esta fecha, todos los niveles suben, retomando el ciclo de invierno.
- El pozo BA-07, presentó niveles de la campaña invierno 2019 con registros muy por sobre los valores históricos. Con un valor mínimo en la temporada de 2300,031 ms.n.m en el mes de abril. Este pozo, el cual se ubica en un borde de laguna, se observa un efecto de ascenso de nivel en este invierno 2019 que alcanza un máximo de 2300,098 ms.n.m en junio 2019, mas elevado que los inviernos anteriores y además una mayor diferencia de ascenso que el observado en los otros 2 pozos BA-05 y BA-16.
- Para el pozo BA-16, la condición de niveles se presenta un poco distinta, con valores medidos en marzo 2019 que llegan a un mínimo de 2.300,816 ms.n.m, registrado en la primera medida de abril 2019. Despues de esta fecha, todos los niveles suben y vuelven a bajar, retomando el ciclo de invierno. Pese a este comportamiento los valores de mayo a septiembre se presentan por sobre el mínimo histórico.

13.7.2 Para los pozos del Sector Peine, se tiene que:

En particular, para este semestre, se puede indicar para cada pozo lo siguiente:

- El pozo BA-21, los valores de invierno 2019 se encuentran por sobre el mínimo histórico. Considerando los valores mínimos de la serie, los registros indican para la temporada invierno 2019 valores mayores a éstos y mayores a los niveles medidos durante el invierno pasado 2018, registrando un máximo de 2300,162 ms.n.m en abril y mínimo de 2300,120 ms.n.m en agosto.
- Para el pozo BA-22, la serie para el semestre abril – sept 2019, también por sobre el mínimo histórico, presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus

niveles, con comportamiento para el semestre abril – sept 2019 de rango de valores similares a abril-septiembre 2018, pero menores niveles que los de invierno 2016 y 2017. Los últimos valores de niveles del pozo BA-22, se presentan muy estables, casi parejos con cota de 2300,292 ms.n.m para septiembre 2019.

14 REFERENCIAS

14.1 Flora y Vegetación

- ANEXO 2, ADENDA 5 EIA, APÉNDICE B. DEL PROYECTO RWL 2015. “*Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua*”. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada. Región de Antofagasta, 10-2015.
- AHUMADA, M. y L. Faúndez. Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la ecorregión Altiplánica (SVAHT). Santiago, Chile: Unidad de Asuntos Públicos Corporativos, Servicio Agrícola y Ganadero, 2009.
- BLACKMAN, G. E. (1935). *A study by statistical methods of the distribution of species in grassland associations*. Annals of Botany, 49(196), 749-777.
- CEDREM Consultores & RWL. Informe ejecutivo. Monitoreo de flora y vegetación: Seguimiento de transectas de vegetación azonal en el salar de Atacama para el Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium. Santiago, Chile, 2016a.
- CEDREM Consultores & RWL. Informe ejecutivo. Determinación espacio temporal de cuerpos de agua en Salar de Atacama para el Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium. Santiago, Chile, 2016b.
- CHANDER G., B. Markham, D. Helder. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment, Volume 113, Issue 5, 893-903 pp. 2009.
- CHUVIECO E. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. España: Ariel Ciencia. 594 pp. 2002.
- CONAF, Corporación Nacional Forestal, Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), Universidad Austral de Chile (UACH), Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) y Universidad Católica

- de Temuco (UCT). Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Santiago, Chile. 1999.
- CONAF, Corporación Nacional Forestal. Guía de Evaluación Ambiental. Criterios para la participación de CONAF en el SEIA. Santiago, Chile. 2014.
- DEGANO, C. (1999). Respuestas morfológicas y anatómicas de *Tessaria absinthioides* (Hook. et Arn.) DC. a la salinidad. Rev. Brasil. Bot. Sao Paulo, 22, 357-363.
- ETIENNE, M. & Prado, C. Descripción de la vegetación mediante la Cartografía de Ocupación de Tierras (COT). Conceptos y Manual de uso práctico. [Publicaciones Misceláneas N° 10]. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, Escuela de Agronomía. 1982
- FONT QUER, P. Diccionario de Botánica. Barcelona-Buenos Aires, España-Argentina. 1965.
- GAJARDO, R. Vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile. Editorial Universitaria, 1994.
- GODRON, M., P. Daget & L. Emberger. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Paris, France: Centre National de la recherche scientifique. 1968.
- GONZAGA, C. (2014). Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador. Universidad Nacional de La Plata, Ecuador.
- GOODALL, D. W. (1952). Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. Australian Journal of Biological Sciences, 5(1), 1-41.
- GREIG-SMITH, P. (1983). *Quantitative plant ecology* (Vol. 9). Univ of California Press.
- JULIÁ, C., Montecinos, S. y Maldonado, A. Características climáticas de la región de Atacama, Capítulo 3 en Libro Rojo de flora nativa y de los sitios prioritarios para la conservación: Región de Atacama. Eds. F.A. Squeo, G. Arancia y J.R. Gutierrez. Ediciones Universidad de la Serena, La Serena Chile. 2008. 3: 25-42.
- 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.

- MMA, Ministerio de Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y Dirección General de Aguas (DGA). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Santiago, 2011.
- MUELLER-DUMBOIS, D y H. ElleMBERG. Aims and methods of vegetation ecology. John Willey, Nueva York, 1974. 547 p.
- RAHMAN, M y A. Islam. *NDVI derived sugarcane area identification and crop condition assessment*. University of Rajshahi Bangladesh, Dept. of Geography and Environmental Studies, 1995.
- RAMSAR. Documento informativo Ramsar No. 1. Ramsar, Iran, 1971. Consultado en septiembre de 2016 del sitio web: <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007sp-01.pdf>
- SATELLITE IMAGING Corporation. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A. Consultado en 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 zoología*, 40, 1-342.
- Martínez, D. & González, G. (2005). *Las aves de Chile. Nueva guía de campo*. Santiago, Chile: Ediciones del naturalista.

- Muñoz-Pedrerros, A. (2010). *Huellas y signos de mamíferos de Chile*. Valdivia, Chile: Ediciones CEA.
- Muñoz-Pedrerros, A. & Yáñez, J. (2009). *Mamíferos de Chile* (2ª. Ed.). Valdivia, Chile: Ediciones CEA.
- Núñez, H., Maldonado, V. & Pérez, R. (1997). Reunión de trabajo con especialistas de herpetología para categorización de especies según estados de conservación. *Noticiario mensual Museo Nacional de Historia Natural*, 329, 12-19.
- Pincheira-Donoso, D. & Núñez, H. (2005). *Las especies chilenas del género Liolaemus. Taxonomía, sistemática y evolución*. Santiago, Chile: Atenas.
- Pincheira-Donoso, D., Scolaro, J.A. & Sura, P. (2008). *A monographic catalogue on the systematics and phylogeny of the South American iguanian lizard family Liolaemidae (Squamata, Iguania)*. Auckland, NZ: Magnolia press.
- PMB 2015, Anexo 2, Adenda 5 EIA, Apéndice B Proyecto RWL 2015. "Plan de Manejo Biótico". Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta. Informe técnico. Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada.
- Podani, J. (2000). *Introduction to the exploration of multivariate biological data*. Leiden: Backhuys.
- Rottman, J. & López-Callejas, M.V. (1992). *Estrategia Nacional de Conservación de Aves. Serie Técnica 1*. Santiago, Chile: SAG, División de Protección de los Recursos Naturales Renovables.
- Rudran, R., Kunz, T.H., Southwell, C., Jarmann, P. & Smith, A.P. (1996). Chapter 6. Observational techniques for nonvolant mammals. En D.E. Wilson, F.R. Cole, J.D. Nichols, R. Rudran & M.S. Foster (Eds.). *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals* (pp.81-104). Washington, DC, EEUU: Smithsonian.
- Spotorno, A.E. & Patton, J.L. (2015). Superfamily Chinchilloidea Bennett. En J.L. Patton., U.F.J, Pardiñas. & G, D'Elía (Eds.), *Mammals of South America. Volume 2: Rodents* (pp.762-783). Chicago, IL, 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

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

BURNE R, L Moore. 1987. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaios*, 241-254.

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.

MADIGAN M, Martinko J, Dunlap P, Clark D. 2009. *Brock Biología de los Microorganismos*. 12th ed. Pearson Educación. Madrid, España. 1259 p.

GERARDI M, LYTLE B. 2015. *Purple and Green Sulfur Bacteria. The Biology and Troubleshooting of Facultative Lagoons*, First Edition. United States, New Jersey. 215p.

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

RODRÍGUEZ-ARANDA J, SANZ-MONTERO M. 2015. Tapices microbianos: los organismos que fabrican estromatolitos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23: 208-219.

GUEDES A, Amaro H, Malcata F. 2011. Microalgae as Sources of Carotenoids. *Marine Drugs*, 9: 625-644.

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.

14.4 Suelo o Sustrato

CADE-IDEPE, 2004. Cuenca Salar de Atacama: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. MOP, Dirección General de aguas.

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.

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. (2011). Estrategias reproductivas y tipos de desarrollo en especies endémicas del género *Heleobia* Stimpson, 1865 (Caenogastropoda: Cochliopidae) de Chile. *Amici Molluscarum* (Número especial): 67-71.

- 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., Hubbart, M. & Nieto, C. (2006). Aquatic Biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America. PENSOF, Sofia, Moscow. 646 pp.
- Farías, M. E., Contreras, M., Rasuk, M. C., Kurth, D., Flores, M. R., Poiré, D. G., Novoa, F. & Visscher, P. T. (2014). Characterization of bacterial diversity associated with microbial mats, gypsum evaporites and carbonate microbialites in thalassic wetlands: Tebenquiche and La Brava, Salar de Atacama, Chile. *Extremophiles*, 18(2), 311–329.
- Fernandez, A., Rasuk, M., Visscher, P., Contreras, M., Novoa, F., Poire, D., Patterson, M., Ventosa, A. & Farias, M. (2016). Microbial diversity in sediment ecosystems (evaporites domes, microbial mats, and crusts) of Hypersaline Laguna Tebenquiche, Salar de Atacama, Chile. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1–18.
- Fernández, H. R. & Dominguez, E. (2001). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán - Facultad de Ciencias Naturales y Instituto Miguel. Lillo. 282p.
- González, E. & Watling, L. (2003). Two new species of *Hyaella* from Lake Titicaca, and redescription of four others in the genus (Crustacea: Amphipoda). *Hydrobiologia* 497: 181–204.
- Javor, B., (1989). *Hypersaline Environments: Microbiology and Biogeography*. Springer-Verlag Berlin, Germany, 328 pp.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. (1986). Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, G. Fischer, Jena.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. (1991). Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, G. Fischer, Jena *Süßwasserflora von Mitteleuropa Bd. 2/3: Stuttgart, Gustav Fischer Verlag*

- Lange-Bertalot, H. (2001). *Navicula sensu stricto*, 10 genera 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 En relación con Área de 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 II, 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 II, diciembre de 2018.

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 normalised 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

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, 2019. Seguimiento Ambiental Hídrico, a través del Informe Anual N°3 del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico, comprobante SMA Cód. 80760 de fecha 29 marzo 2019.

15 ANEXOS

El conjunto de Anexos asociados al Informe Semestral N°7 del Plan de Manejo Biótico, se entregan separados y de forma individual al presente documento.