



## **Plan de Manejo Biótico**

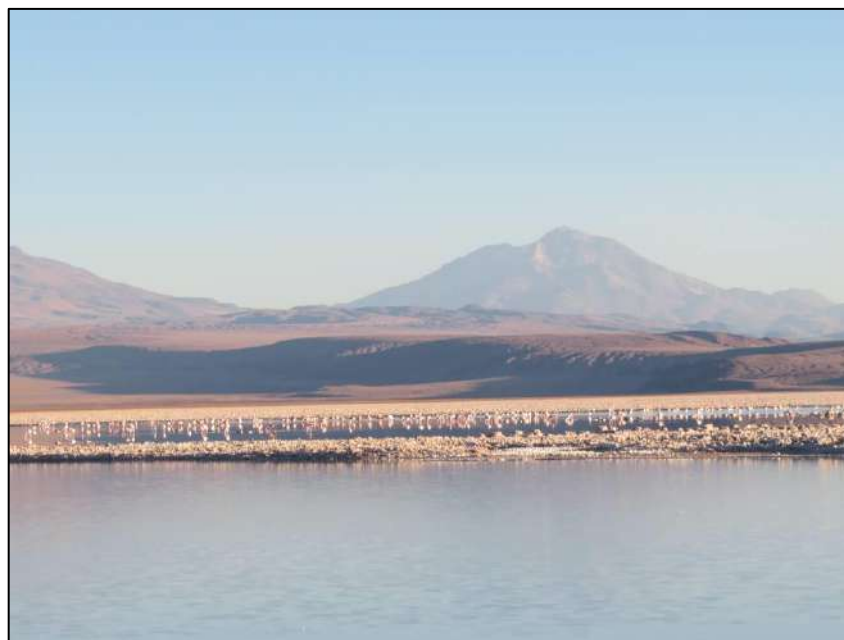
**Proyecto: “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama**

**(RCA N°21/2016)”**

**INFORME ANUAL N°3**

**VOLUMEN 2**

**Monitoreo Invierno 2018 – Verano 2019**



**Región de Antofagasta**

**Agosto de 2019**

**VOLUMEN I****TABLA DE CONTENIDOS**

<b>1</b>	<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>42</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>52</b>
<b>4</b>	<b>ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME</b> .....	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>FLORA Y VEGETACIÓN</b> .....	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>55</b>
5.1.1	COBERTURA Y VEGETACIÓN (COT).....	55
5.1.1.1	Descripción del área de estudio.....	55
5.1.1.2	Ubicación de puntos muestreo.....	57
5.1.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	59
5.1.1.4	Materiales y equipos utilizados.....	62
5.1.1.5	Metodología de muestreo.....	62
5.1.1.6	Metodología de cálculo y análisis.....	68
5.1.1.7	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	71
5.1.2	FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS).....	72
5.1.2.1	Ubicación de puntos muestreo.....	72
5.1.2.2	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	83
5.1.2.3	Materiales y equipos utilizados.....	84
5.1.2.4	Metodología de muestreo.....	84
5.1.2.5	Metodología de cálculo y análisis.....	88
5.1.2.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	90
5.1.3	DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL – MÉTODO DE IMÁGENES SATELITALES - NDVI.....	90
5.1.3.1	Ubicación de sectores para la medición.....	90
5.1.3.2	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	92
5.1.3.3	Materiales y equipos utilizados.....	92
5.1.3.4	Metodología de cálculo y análisis.....	93
5.1.3.5	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	95
<b>5.2</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>99</b>
5.2.1	RESULTADOS COBERTURA Y VEGETACION (COT).....	99
5.2.1.1	Resultados del muestreo campaña de invierno de 2018.....	99
5.2.1.2	Resultados del muestreo campaña de verano de 2019.....	115

5.2.2	RESULTADOS FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS).....	130
5.2.2.1	Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de invierno de 2018.....	130
5.2.2.2	Resultados del muestreo de flora y vegetación campaña de verano 2019 .....	148
5.2.3	RESULTADOS DE DISTRIBUCION Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL - MÉTODO NDVI.....	166
5.2.4	Límites considerados en la evaluación de la flora y vegetación.....	169
<b>6</b>	<b>FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES.....</b>	<b>170</b>
<b>6.1</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>171</b>
6.1.1	Descripción del área de estudio .....	171
6.1.2	Ubicación de puntos muestreo .....	173
6.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales .....	179
6.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	179
6.1.4.1	Tipos de muestreo.....	179
6.1.4.2	Diseño de muestreo .....	179
6.1.4.3	Muestreo de terreno .....	180
6.1.4.4	Procedimiento de muestreo por taxón .....	181
6.1.4.5	Trabajo en gabinete post terreno .....	185
6.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	191
6.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	191
<b>6.2</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>192</b>
6.2.1	Resultados del monitoreo campaña de invierno 2018 .....	192
6.2.1.1	Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres .....	192
6.2.1.2	Análisis por clase.....	197
6.2.1.3	Composición por ambiente.....	205
6.2.1.4	Similitud .....	207
6.2.1.5	Abundancia y Frecuencia .....	209
6.2.1.6	Abundancia por ambiente (Densidad).....	211
6.2.2	Resultados del monitoreo campaña de verano 2019.....	212
6.2.2.1	Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres .....	212
6.2.2.2	Análisis por clase.....	218
6.2.2.3	Composición por ambiente.....	225
6.2.2.4	Similitud .....	228
6.2.2.5	Abundancia y Frecuencia .....	229
6.2.2.6	Abundancia por ambiente (Densidad).....	232
6.2.3	Límites considerados en la evaluación .....	233
<b>7</b>	<b>TAPETES MICROBIANOS.....</b>	<b>234</b>
<b>7.1</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>235</b>

7.1.1	Descripción del Área de Estudio.....	235
7.1.2	Ubicación de Puntos Muestreo.....	235
7.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales .....	237
7.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	237
7.1.5	Materiales y Equipos Utilizados.....	239
7.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	239
<b>7.2</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>240</b>
7.2.1	Resultados Campaña Invierno 2018.....	240
7.2.1.1	Sector Peine .....	245
7.2.1.2	Sector La Punta-La Brava .....	266
7.2.1.3	Sector Tilopozo.....	284
7.2.1.4	Registro de microbialitos y evaporitas, invierno 2018. ....	288
7.2.1.5	Resultados Parámetros fisicoquímicos .....	289
7.2.2	Resultados Campaña Verano 2019.....	291
7.2.2.1	Sector Peine .....	296
7.2.2.2	Sector La Punta-La Brava .....	317
7.2.2.3	Sector Tilopozo.....	334
7.2.2.4	Registro de microbialitos y evaporitas, verano 2019. ....	338
7.2.2.5	Resultados Parámetros fisicoquímicos .....	339
7.2.3	Límites Considerados en la evaluación de Tapetes Microbianos.....	340
<b>8</b>	<b>SUELO O SUSTRATO .....</b>	<b>340</b>
<b>8.1</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>341</b>
8.1.1	Descripción del área de estudio .....	341
8.1.2	Ubicación de puntos muestreo .....	341
8.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales .....	345
8.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	345
8.1.4.1	Metodología in situ .....	345
8.1.4.2	Análisis de laboratorio .....	346
8.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	351
8.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	352
<b>8.2</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>352</b>
8.2.1	Resultados campaña de invierno 2018.....	352
8.2.1.1	Caracterización suelos .....	352
8.2.2	Resultados campaña de verano 2019 .....	383
8.2.2.1	Caracterización suelos .....	383
8.2.3	Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato .....	410

**VOLUMEN II****TABLA DE CONTENIDOS**

<b>9</b>	<b>LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS).....</b>	<b>412</b>
<b>9.1</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>412</b>
9.1.1	Descripción del área de estudio .....	412
9.1.2	Ubicación de puntos muestreo .....	413
9.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales .....	416
9.1.4	Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control.....	417
9.1.4.1	Metodología de muestreo y análisis calidad de agua y sedimentos.....	417
9.1.4.2	Metodología de muestreo flora y fauna acuática .....	419
9.1.5	Materiales y equipos utilizados.....	422
9.1.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	423
<b>9.2</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>424</b>
9.2.1	Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2018 y verano 2019 .....	424
9.2.1.1	Sector Peine .....	424
9.2.1.2	Sector La Punta y La Brava .....	431
9.2.1.3	Sector Tilopozo.....	436
9.2.2	Resultados del muestreo campaña de invierno 2018 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática) .....	441
9.2.2.1	Resultados Calidad de agua .....	441
9.2.2.2	Resultados Calidad de sedimentos.....	445
9.2.2.3	Resultados Biota acuática.....	449
9.2.3	Resultados del muestreo campaña de verano 2019 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática) .....	475
9.2.3.1	Resultados Calidad de agua .....	475
9.2.3.2	Resultados Calidad de sedimentos.....	479
9.2.3.3	Resultados Biota acuática.....	482
9.2.4	Límites considerados en la evaluación de Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos) .....	507
<b>10</b>	<b>AREA DE LAGUNAS .....</b>	<b>509</b>
<b>10.1</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>512</b>
10.1.1	Descripción del área de estudio .....	512
10.1.2	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua .....	515
10.1.3	Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua.....	515

10.1.4	Materiales y equipos utilizados.....	517
10.1.5	Metodología de muestreo y/o medición.....	517
10.1.6	Metodología de análisis de las imágenes satelitales para delimitación de cuerpos de agua.....	518
10.1.6.1	Imágenes de alta resolución – Pleiades-1A.....	518
10.1.6.2	Imagen de resolución media – LANDSAT 8.....	521
10.1.6.3	Procesamiento de las imágenes satelitales.....	522
10.1.6.4	Descripción del Modelo de Clasificación Supervisada de cuerpos de agua.....	523
10.1.6.5	Parámetros espectrales del modelo de clasificación.....	525
10.1.6.6	Umrales y validación del modelo de clasificación.....	526
10.1.6.7	Depuración cartográfica de cuerpos de agua.....	529
10.1.7	Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua.....	530
10.1.8	Fechas de medición.....	531
<b>10.2</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>531</b>
10.2.1	Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....	531
10.2.2	Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar.....	535
10.2.3	Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua.....	538
<b>11</b>	<b>NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS.....</b>	<b>538</b>
<b>11.1</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>539</b>
11.1.1	Área de Estudio.....	539
11.1.2	Ubicación de Puntos de Monitoreo.....	540
11.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables.....	541
11.1.4	Metodología de Muestreo, Medición y Análisis.....	541
11.1.5	Materiales y Equipos utilizados.....	542
11.1.6	Fechas de medición, muestro y/o análisis.....	543
<b>11.2</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>543</b>
11.2.1	Resultados de los registros Abril 2018 a Marzo 2019.....	543
11.2.2	Límites considerados en la evaluación.....	548
<b>12</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>549</b>
<b>12.1</b>	<b>En relación con Flora y Vegetación.....</b>	<b>549</b>
<b>12.2</b>	<b>En relación con Fauna Vertebrados Terrestres.....</b>	<b>577</b>
12.2.1	Representatividad del muestreo.....	577
12.2.2	Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres.....	578
12.2.3	Análisis por clase.....	585
12.2.3.1	Anfibios.....	585
12.2.3.2	Reptiles.....	585

12.2.3.3 Aves.....	586
12.2.3.4 Mamíferos.....	586
12.2.4 Composición por ambiente.....	587
12.2.5 Similitud.....	590
12.2.6 Abundancia y frecuencia (comparación entre campañas).....	592
12.2.7 Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas).....	597
12.2.8 Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres.....	601
12.2.8.1 Riqueza y composición.....	602
12.2.8.2 Abundancia.....	609
<b>12.3 En relación con Tapetes Microbianos.....</b>	<b>623</b>
12.3.1 Análisis Año 3: Monitoreo invierno 2018 y verano 2019.....	623
12.3.2 Análisis evolución inviernos 2016, 2017 y 2018.....	631
12.3.3 Análisis evolución veranos 2017, 2018 y 2019.....	649
12.3.4 Evolución de Parámetros Físico-Químicos.....	668
<b>12.4 En relación con Suelo o Sustrato.....</b>	<b>673</b>
12.4.1 Análisis comparativo campañas M5 (invierno 2018) y M6 (verano 2019).....	674
12.4.2 Análisis comparativo campañas periodos 2016 - 2017 – 2018 - 2019.....	690
<b>12.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos).....</b>	<b>732</b>
12.5.1.1 Comparación Invierno 2018 y Verano 2019.....	734
12.5.1.2 Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo).....	753
<b>12.6 En relación con Área de Lagunas.....</b>	<b>799</b>
12.6.1 Comparación de monitoreos con registros históricos de línea de base.....	799
12.6.1.1 La Punta y La Brava.....	800
12.6.1.2 Peine.....	807
12.6.2 Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....	813
<b>12.7 En relación con Nivel Freático de Lagunas.....</b>	<b>815</b>
12.7.1 Análisis comparativo invierno 2018 y verano 2019.....	815
12.7.2 Análisis comparativo con valores históricos.....	815
12.7.2.1 Nivel freático en Sector La Punta-La Brava.....	815
12.7.2.2 Nivel freático en Sector Peine.....	819
<b>12.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema.....</b>	<b>822</b>
<b>13 CONCLUSIONES.....</b>	<b>883</b>
<b>13.1 En relación con Flora y Vegetación.....</b>	<b>883</b>
<b>13.2 En relación con Fauna Vertebrados.....</b>	<b>885</b>
<b>13.3 En relación con Tapetes Microbianos.....</b>	<b>888</b>
<b>13.4 En relación con Suelo o Sustrato.....</b>	<b>890</b>

---

<b>13.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos).....</b>	<b>896</b>
<b>13.6 En relación con Área Lagunas .....</b>	<b>898</b>
<b>13.7 En relación con Nivel Lagunas .....</b>	<b>899</b>
13.7.1 Para los pozos del Sector la Punta-La Brava, se tiene que: .....	899
13.7.2 Para los pozos del Sector Peine, se tiene que: .....	900
<b>13.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema .....</b>	<b>901</b>
<b>14 REFERENCIAS .....</b>	<b>904</b>
14.1 Flora y Vegetación .....	904
14.2 Fauna Vertebrados Terrestres .....	906
14.3 Tapetes microbianos .....	912
14.4 Suelo o Sustrato.....	913
14.5 Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos).....	914
14.6 Área de las Lagunas .....	918
14.7 Nivel Freático en Lagunas .....	921
<b>15 ANEXOS.....</b>	<b>921</b>



---

**FIGURAS**

---

Figura N° 2-1. Delimitación de las Areas de Estudio del Plan de Manejo Biótico ....	43
Figura N° 2-2. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Area Norte. Sector Soncor y Quelana (Transectas de vegetación azonal).....	47
Figura N° 2-3. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Area Sur. Sector La Punta y La Brava, Peine y Tilopozo .....	48
Figura N° 5-1. Área de estudio para el monitoreo de la vegetación Invierno- 2018 y Verano – 2019 en el Salar de Atacama.....	56
Figura N° 5-2. Localización general de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el área de estudio, Salar de Atacama.	77
Figura N° 5-3. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en los subsectores La Punta y La Brava, Salar de Atacama.....	78
Figura N° 5-4. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Peine, Salar de Atacama. ....	79
Figura N° 5-5. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Aguas de Quelana, Salar de Atacama.....	80
Figura N° 5-6. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Soncor, Salar de Atacama. ....	81
Figura N° 5-7. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Tilopozo, Salar de Atacama. ....	82
Figura N° 5-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama. ....	91
Figura N° 5-9. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Invierno de 2018. ....	104
Figura N° 5-10. 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 2018.....	105

---

Figura N° 5-11. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Invierno de 2018.....	106
Figura N° 5-12. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Verano de 2019. ....	120
Figura N° 5-13. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Verano de 2019.....	121
Figura N° 5-14. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Verano de 2019.....	122
Figura N° 5-15. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 5, en la formación de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> . ....	137
Figura N° 5-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 5, en la formación de herbazal de <i>Juncus balticus</i> . ....	137
Figura N° 5-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 5, en la formación de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus*</i> .....	138
Figura N° 5-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 5, en la formación de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> . .	138
Figura N° 5-19. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 5, en la formación de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> .	139
Figura N° 5-20. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 5, en la formación de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> . .....	139
Figura N° 5-21. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 6, en la formación de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> . ....	155
Figura N° 5-22. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 6, en la formación de herbazal de <i>Juncus balticus</i> . ....	155
Figura N° 5-23. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 6, en la formación de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> .....	156

---

Figura N° 5-24. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 6, en la formación de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> . .	156
Figura N° 5-25. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 6, en la formación de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> .	157
Figura N° 5-26. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 6, en la formación de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> . .....	157
Figura N° 6-1. Área de Estudio Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, y Puntos de Muestreo en tres sectores (líneas discontinuas).....	172
Figura N° 6-2. Localización de Puntos y Tipo de Monitoreo del Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres en el área de estudio. ....	177
Figura N° 6-3. Categorías de conservación de la UICN. ....	187
Figura N° 6-4. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña invierno 2018.....	208
Figura N° 6-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña verano 2019.....	229
Figura N° 7-1. Ubicación puntos de muestreo Tapetes en el área de estudio .....	236
Figura N° 7-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio. .....	238
Figura N° 7-3. Distribución número de capas de tapetes microbianos, invierno 2018. .....	241
Figura N° 7-4. Espesor de tapetes microbianos (valores máximos), invierno 2018. .....	242
Figura N° 7-5. Tipos de Tapetes según zonas macroscópicas de pigmentación en Salar de Atacama. Total área de estudio (A), Sector Peine (B), Sector La Punta-La Brava (C), invierno 2018. ....	243
Figura N° 7-6. Tipo de tapete microbiano en cada punto de monitoreo en el Salar de Atacama, invierno 2018. ....	244
Figura N° 7-7. Distribución número de capas de tapetes microbianos, verano 2019. .....	292
Figura N° 7-8. Espesor de tapetes microbianos (valores máximos), verano 2019.	293

---

Figura N° 7-9. Proporción de tipos de tapetes según zonas macroscópicas de pigmentación en Salar de Atacama (Total área de estudio) (A), Sector Peine (B), Sector La Punta-La Brava (C), verano 2019.....	294
Figura N° 7-10. Proporción de Tipo de tapete microbiano presente en cada punto de monitoreo en el Salar de Atacama, verano 2019.....	295
Figura N° 8-1. Localización original y final de calicatas de monitoreo del componente físico – Suelo en el área de estudio, Salar de Atacama. ....	344
Figura N° 9-1. Ubicación de estaciones de monitoreo de Limnología; Biota acuática, Calidad de Agua y Sedimentos, Salar de Atacama. ....	415
Figura N° 9-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (invierno 2018). .....	452
Figura N° 9-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (invierno 2018). ....	454
Figura N° 9-4. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (invierno 2018). ....	455
Figura N° 9-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (invierno 2018). ....	458
Figura N° 9-6. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (invierno 2018). ....	460
Figura N° 9-7. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (invierno 2018). ....	461
Figura N° 9-8. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Peine (invierno 2018). .....	463
Figura N° 9-9. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2018). ....	465
Figura N° 9-10. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (invierno 2018). .....	468
Figura N° 9-11. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2018). ....	470
Figura N° 9-12. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (invierno 2018). ....	472

---

Figura N° 9-13. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (verano 2019). .....	485
Figura N° 9-14. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (verano 2019).....	487
Figura N° 9-15. Abundancia Relativa fitobentos, Sector Tilopozo (verano 2019). .	489
Figura N° 9-16. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (verano 2019).....	491
Figura N° 9-17. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (verano 2019).....	493
Figura N° 9-18. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (verano 2019).....	495
Figura N° 9-19. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Peine (verano 2019). .....	497
Figura N° 9-20. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2019). ....	499
Figura N° 9-21. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (verano 2019). .....	501
Figura N° 9-22. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2019).....	503
Figura N° 9-23. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2019).....	504
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). ....	514
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 2018. ....	519
Figura N°10-3. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano 2018.....	520
Figura N°10-4. Imagen Landsat 8 (Banda 5) correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2018 (izquierda) y verano 2018 (derecha). ....	521

---

Figura N°10-5. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.	523
Figura N°10-6. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua ( <i>raster</i> ) a polígonos ( <i>shape</i> ).	530
Figura N° 10-7. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades-1A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta y La Brava, agosto – diciembre 2018.	536
Figura N° 10-8. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2018.	537
Figura N° 11-1. Área de Estudio	539
Figura N° 11-2. Puntos de Monitoreo en Sistema La Punta-La Brava y Peine	541
Figura N° 11-3. Variación de niveles en el Sistema Lagunar La Punta-La Brava	547
Figura N° 11-4. Variación de niveles en el Sistema Lagunar Peine.	547
Figura N° 12-1. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M6) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en sector Tilopozo.	563
Figura N° 12-2. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M6) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en sector Aguas de Quelana.	564
Figura N° 12-3. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza por sector.	568
Figura N° 12-4. Cobertura promedio de otros recubrimientos por sector en los monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6.	569
Figura N° 12-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 2019).	591
Figura N° 12-6. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa los periodos en Línea de Base y Monitoreo.	612
Figura N° 12-7. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves	

---

registradas en el sistema hidrológico Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. ....	614
Figura N° 12-8. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema hidrológico La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. ....	617
Figura N° 12-9. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. ....	618
Figura N° 12-10. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema hidrológico Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. ....	619
Figura N° 12-11. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema hidrológico de La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. ....	620
Figura N° 12-12. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de reptiles registradas en el área de estudio. Los valores son ejemplares contabilizados en 25 transectos para cada especie. ....	621
Figura N° 12-13. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de micromamíferos registradas en el área de estudio. Los valores son ejemplares capturados en 9 puntos de muestreo (con un total de 180 trampas por 3 noches). ....	622
Figura N° 12-14. Distribución del número promedio de capas pigmentadas de tapetes microbianos, campañas invierno 2018 y verano 2019. ....	625
Figura N° 12-15. Distribución del número de capas pigmentadas de tapetes microbianos por punto de monitoreo, campañas invierno 2018 y verano 2019. ....	625
Figura N° 12-16. Espesor promedio de tapetes microbianos, campañas invierno 2018 y verano 2019. ....	627

---

Figura N° 12-17. Espesor promedio de tapetes microbianos en Salar de Atacama, según punto de monitoreo, campañas invierno 2018 y verano 2019. ....	628
Figura N° 12-18. Proporción de tipos de Tapetes según zonas macroscópicas de pigmentación en Salar de Atacama (Sector Peine, La Punta-La Brava, Tilopozo), campañas de invierno 2016, 2017, 2018. ....	631
Figura N° 12-19. Distribución del número de capas pigmentadas de tapetes microbianos, en Lagunas monitoreadas, campañas invierno 2016, 2017 y 2018. ....	632
Figura N° 12-20. Distribución del número de capas pigmentadas de tapetes microbianos en Salar de Atacama, según punto de monitoreo. Campañas .....	633
Figura N° 12-21. Espesor promedio de Tapetes en Salar de Atacama, campañas de invierno 2016, 2017, 2018. ....	634
Figura N° 12-22. Proporción de tipos de Tapetes en Sector Peine, según zonas macroscópicas de pigmentación, campañas de invierno 2016, 2017, 2018. ....	635
Figura N° 12-23. Proporción de tipos de Tapetes en Sector La Punta-La Brava, según zonas macroscópicas de pigmentación, campañas de invierno 2016, 2017, 2018. ....	642
Figura N° 12-24. Proporción de tipos de Tapetes en Salar de Atacama, según zonas macroscópicas de pigmentación, campañas de verano 2017, 2018, 2019. ....	650
Figura N° 12-25. Distribución del número de capas pigmentadas de tapetes microbianos, campañas verano 2017, 2018, 2019. ....	651
Figura N° 12-26. Distribución del número promedio de capas pigmentadas de tapetes microbianos, verano 2017, 2018 y 2019 por punto de monitoreo. ....	652
Figura N° 12-27. Espesor promedio de tapetes microbianos, en Lagunas monitoreadas, campañas verano 2017, 2018, 2019. ....	653
Figura N° 12-28. Proporción de tipos de Tapetes según zonas macroscópicas de pigmentación en Sector Peine, campañas de verano 2017, 2018, 2019. ....	654



---

Figura N° 12-29. Proporción de tipos de Tapetes según zonas macroscópicas de pigmentación en Sector La Punta- La Brava, campañas de verano 2017, 2018, 2019.....	660
Figura N° 12-30. Variación de salinidad promedio en Lagunas del Salar de Atacama, 2016-2019.....	669
Figura N° 12-31. Variación de oxígeno en Lagunas del Salar de Atacama, 2016-2019.....	670
Figura N° 12-32. Variación de turbiedad en Lagunas del Salar de Atacama, 2016-2019.....	672
Figura N° 12-33. Variación de pH en Lagunas del Salar de Atacama, 2016-2019.	673
Figura N° 12-34: Resultados análisis laboratorio Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).....	674
Figura N° 12-35: Resultados análisis laboratorio Materia orgánica (%). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6). ....	676
Figura N° 12-36: Resultados análisis laboratorio pH. Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).....	677
Figura N° 12-37: Resultados análisis laboratorio Salinidad ( $\text{mg}/\text{kg}$ ). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6). ....	678
Figura N° 12-38:Resultados análisis laboratorio Conductividad Hidráulica ( $\text{cm}/\text{hr}$ ). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).....	680
Figura N° 12-39: Resultados análisis laboratorio Nitrógeno disponible ( $\text{mg}/\text{kg}$ ). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).....	682
Figura N° 12-40: Resultados análisis laboratorio Potasio disponible ( $\text{mg}/\text{kg}$ ). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).....	683
Figura N° 12-41: Resultados análisis laboratorio Fósforo disponible ( $\text{mg}/\text{kg}$ ). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).....	685
Figura N° 12-42: Resultados análisis de laboratorio Humedad (%). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6). ....	686
Figura N° 12-43: Resultados profundidad Nivel Freático ( $\text{cm}$ ). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).....	689
Figura N° 12-44: Resultados C.E ( $\mu\text{S} /\text{cm}$ ). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava. ....	691

---

Figura N° 12-45: Resultados C.E. ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine. ....	692
Figura N° 12-46: Resultados C.E ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo. ....	694
Figura N° 12-47: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava. ....	696
Figura N° 12-48: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine.....	697
Figura N° 12-49: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5y M6. Sector Tilopozo.....	699
Figura N° 12-50: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava. ....	700
Figura N° 12-51: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine.....	702
Figura N° 12-52: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo. ....	703
Figura N° 12-53: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava. ....	705
Figura N° 12-54: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine. ....	706
Figura N° 12-55: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo. ....	707
Figura N° 12-56: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava.....	709
Figura N° 12-57: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine. ....	710
Figura N° 12-58: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo.....	711
Figura N° 12-59: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava. ....	713
Figura N° 12-60: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine. ....	714

---

Figura N° 12-61: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo. ....	715
Figura N° 12-62. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava. ....	717
Figura N° 12-63: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5y M6. Sector Peine. ....	718
Figura N° 12-64: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo. ....	719
Figura N° 12-65: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava. ....	721
Figura N° 12-66: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine. ....	722
Figura N° 12-67: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo. ....	724
Figura N° 12-68: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava. ....	725
Figura N° 12-69: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine. ....	726
Figura N° 12-70: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo. ....	728
Figura N° 12-71: Profundidad nivel freático (cm). Sectores La Punta-La Brava, Peine y Tilopozo. ....	731
Figura N° 12-72. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	755
Figura N° 12-73. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua in situ, los relacionados con el pH y Cl-a en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	756
Figura N° 12-74. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	759

---

Figura N° 12-75. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua <i>in situ</i> , los relacionados con el pH y Cl-a en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	760
Figura N° 12-76. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	762
Figura N° 12-77. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua <i>in situ</i> , los relacionados con el pH y Cl-a en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	763
Figura N° 12-78. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	765
Figura N° 12-79. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	767
Figura N° 12-80. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano....	768
Figura N° 12-81. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	770
Figura N° 12-82. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	772
Figura N° 12-83. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	774
Figura N° 12-84. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	776
Figura N° 12-85. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	778
Figura N° 12-86. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	780
Figura N° 12-87. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	782
Figura N° 12-88. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	784

---

Figura N° 12-89. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	785
Figura N° 12-90. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.....	787
Figura N° 12-91. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	788
Figura N° 12-92. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	790
Figura N° 12-93. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	793
Figura N° 12-94. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector La Punta-La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	796
Figura N° 12-95. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. ....	798
Figura N°12-96. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava. ....	801
Figura N° 12-97. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 - 2018, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	803
Figura N°12-98. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 - 2018, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8. ....	804
Figura N°12-99. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 - 2018, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	805
Figura N°12-100. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 - 2018, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.	806
Figura N°12-101. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine. ....	807
Figura N° 12-102. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 - 2018, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	809

---

Figura N°12-103. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 - 2018, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8. ....	810
Figura N°12-104. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 - 2018, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	811
Figura N°12-105. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 - 2018, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.....	812
Figura N° 12-106: Variación de niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB .....	817
Figura N° 12-107: Variación de niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB .....	818
Figura N° 12-108: Variación de niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB .....	819
Figura N° 12-109. Variación de niveles Pozo BA-21 – Sector Peine .....	821
Figura N° 12-110. Variación de niveles Pozo BA-22 – Sector Peine .....	822
Figura N° 12-111. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo.....	826
Figura N° 12-112. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1, M2, M3, M4, M5 y M6 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo. ....	828
Figura N° 12-113. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales de los sectores Tilopozo (arriba) y en La Punta y La Brava (abajo).....	830
Figura N° 12-114. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en sector Tilopozo.....	832
Figura N° 12-115. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Juncus balticus</i> , en sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava. ....	833
Figura N° 12-116. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en sector Tilopozo. ....	834
Figura N° 12-117. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en La Punta y La Brava. ....	835
Figura N° 12-118. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorrales de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Sarcocornia fruticosa</i> en sectores Tilopozo y La Punta y La Brava. ....	836

---

Figura N° 12-119. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en los subsectores Tilopozo (arriba) y La Punta y La Brava (abajo). .....	838
Figura N° 12-120. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2019, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava en superficie con vegetación del sector.....	840
Figura N° 12-121. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i> . Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2019, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava.....	840
Figura N° 12-122. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas invernales (diciembre 2016 – marzo 2019) en la superficie con vegetación del sector Tilopozo- La Punta y La Brava. ....	841
Figura N° 12-123. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i> . Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas invernales (diciembre 2016 – marzo 2019) en el sector Tilopozo- La Punta y La Brava. ....	842
Figura N° 12-124. Evaluación interanual de la cobertura activa obtenida del índice NDVI en los monitoreos anuales de verano (post-lluvia) 2017, 2018 y 2019: análisis del nivel de recurrencia en sitios estables y con variabilidad alta dentro de las formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava. ....	844
Figura N° 12-125. Series de tiempo del NDVI Landsat 2009-2019 y evaluación de tendencias interanuales (test Mann-Kendall) en los periodos histórico (previo al proyecto 2009-2016) y total, en formaciones vegetales monitoreadas del sector Tilopozo- La Punta y La Brava. ....	845
Figura N°12-126. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava. ....	847
Figura N° 12-127. Clasificación de estratos según análisis de recurrencia, sector La Punta y La Brava. ....	848
Figura N°12-128. Superficies permanentes y no permanentes, en comparación con mínimo histórico, sector La Punta y La Brava. ....	849

---

Figura N°12-129. Variación temporal de valores de NDWI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector La Punta y La Brava. ....	850
Figura N°12-130. Variación temporal de valores de NDVI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector La Punta y La Brava. ....	852
Figura N° 12-131. Variación Niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB. ....	854
Figura N° 12-132. Variación Niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB. ....	854
Figura N° 12-133. Variación Niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB. ....	855
Figura N° 12-134. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en sector Peine.....	857
Figura N° 12-135. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1, M2, M3, M4, M5 y M6 en el sector Peine.....	859
Figura N° 12-136. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales del sector Peine.....	861
Figura N° 12-137. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en sector Peine. ....	863
Figura N° 12-138. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en sector Peine.....	864
Figura N° 12-139. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en sector Peine. ....	864
Figura N° 12-140. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en el sector Peine.....	865
Figura N° 12-141. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2019, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine en superficie con vegetación del sector.....	867
Figura N° 12-142. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i> . Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-	



---

2019, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine .....	867
Figura N° 12-143. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas invernales (diciembre 2016 – marzo 2019) en la superficie con vegetación del sector Peine. ....	868
Figura N° 12-144. Formación de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> . Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas invernales (diciembre 2016 – marzo 2019) en el sector Peine.....	869
Figura N° 12-145. Variación de distribución de la cobertura de vegetación activa* durante monitoreos de verano 2018 y 2019 en unidades de herbazal de <i>S. californicus</i> en el sector Peine. ....	871
Figura N° 12-146. Series de tiempo del NDVI Landsat 2009-2019 y evaluación de tendencias interanuales (test Mann-Kendall) en los periodos histórico (previo al proyecto 2009-2016) y total, en formaciones vegetales monitoreadas del sector Peine. ....	874
Figura N°12-147. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.....	875
Figura N° 12-148. Clasificación de estratos según análisis de recurrencia, sector La Punta y La Brava. ....	876
Figura N°12-149. Superficies permanentes y no permanentes, en comparación con mínimo histórico, sector Peine. ....	877
Figura N°12-150. Variación temporal de valores de NDWI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector Peine. ....	878
Figura N°12-151. Variación temporal de valores de NDVI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector Peine. ....	880
Figura N° 12-152. Variación Niveles Pozo BA-21 – Sector Peine .....	881
Figura N° 12-153. Variación Niveles Pozo BA-22 – Sector Peine .....	882

---

**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.....	45
Tabla N° 2-2. Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis .....	49
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. ....	50
Tabla N° 5-1. Puntos de validación COT, campaña de invierno 2018 y verano 2019, tercer año de monitoreo. ....	58
Tabla N° 5-2. Estratificación por tipos biológicos y codificación de especies dominantes. ....	60
Tabla N° 5-3. Categorías de altura empleadas para la vegetación.....	60
Tabla N° 5-4. Rango de valores para la cobertura vegetal.....	61
Tabla N° 5-5. Categorías de posición topográfica. ....	61
Tabla N° 5-6. Caracterización del grado de alteración de la vegetación en las formaciones vegetales. ....	61
Tabla N° 5-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno.....	66
Tabla N° 5-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio.....	66
Tabla N° 5-9. Ejemplos de codificación de las unidades vegetales homogéneas según análisis de recubrimiento de suelo y tipo de formación según nomenclatura COT.....	69
Tabla N° 5-10. Ejemplos de la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la codificación de las unidades vegetales (UV).....	69
Tabla N° 5-11. Ejemplos comparativos para la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la nomenclatura COT.....	70
Tabla N° 5-12. Ejemplo de agrupación de formaciones vegetales. ....	70

---

Tabla N° 5-13. Ejemplos de descripción de formaciones vegetales: rangos de altura y de cobertura identificados en las unidades descritas y su mediana (valores recurrentes).....	71
Tabla N° 5-14. Coordenadas de las transectas de monitoreo del Plan de Manejo Biótico del subcomponente Flora y Vegetación, en los sectores de estudio.....	74
Tabla N° 5-15. Formaciones vegetales y número de transectas por sector.....	83
Tabla N° 5-16. Contenido de humedad del suelo.....	86
Tabla N° 5-17. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades - 1A.	93
Tabla N° 5-18. Umbrales de NDVI por formación vegetal y sector de monitoreo. ...	96
Tabla N° 5-19. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2018. ....	100
Tabla N° 5-20. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2018.....	103
Tabla N° 5-21. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio, monitoreo verano de 2019. ....	116
Tabla N° 5-22. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Verano 2019.....	118
Tabla N° 5-23. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.....	130
Tabla N° 5-24. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 5 (invierno 2018), en cada subsector.....	132
Tabla N° 5-25. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 5 (invierno 2018). ....	142
Tabla N° 5-26. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 5 (invierno 2018). ....	145
Tabla N° 5-27. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 5 (invierno 2018).....	147
Tabla N° 5-28. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 5 (invierno 2018). ....	148
Tabla N° 5-29. Resumen de la validación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 6 (verano 2019), en cada subsector. ....	149

---

Tabla N° 5-30. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 6 (verano 2019).....	160
Tabla N° 5-31. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 6 (verano 2019).....	163
Tabla N° 5-32. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, para el Monitoreo 6 (verano 2019).....	165
Tabla N° 5-33. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 6 (verano 2019).....	166
Tabla N° 5-34. Superficies de vegetación activa (NDVI) en base a la COT de verano 2019, por sector. ....	167
Tabla N° 6-1. Ubicación y caracterización de los puntos de monitoreo (PM) de fauna. Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19. ....	174
Tabla N° 6-2. Lista Sistemática de especies de fauna registradas en la quinta campaña de monitoreo (invierno 2018). Se indica además, la presencia (X) en cada sector. ....	193
Tabla N° 6-3. Especies de fauna registradas por ambiente. Quinta campaña de monitoreo (invierno 2018). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.....	206
Tabla N° 6-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Quinta campaña de monitoreo (invierno 2018).....	210
Tabla N° 6-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Quinta campaña de monitoreo (invierno 2018).....	212
Tabla N° 6-6. Lista Sistemática de especies de fauna registradas en la sexta campaña de monitoreo (verano 2019). Se indica además, la presencia (X) en cada sector. ....	214
Tabla N° 6-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Sexta campaña de monitoreo (verano 2019). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector. ....	227
Tabla N° 6-8 Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Sexta campaña de monitoreo (verano 2019).....	231
Tabla N° 6-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Sexta campaña de monitoreo (verano 2019).....	233
Tabla N° 7-1. Puntos de medición Tapetes Microbianos PMB .....	235

---

Tabla N° 7-2. Proporción de tapetes microbianos expuestos y sumergidos. Invierno 2018.....	240
Tabla N° 7-3 Caracterización Tapetes microbianos, invierno 2018.....	245
Tabla N° 7-4. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos en el Punto de Monitoreo S-6A, agosto 2018.....	249
Tabla N° 7-5. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos en el Punto de Monitoreo S-9, agosto 2018.....	251
Tabla N° 7-6. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos en el Punto de Monitoreo SA-25, agosto 2018.....	255
Tabla N° 7-7. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos en el Punto de Monitoreo S-11, Laguna Saladita, agosto 2018.....	258
Tabla N° 7-8. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo I-11, Laguna Interna, agosto 2018.....	261
Tabla N° 7-9. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo I-17, Laguna Interna, agosto 2018.....	263
Tabla N° 7-10. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos Tipo 1 Sector Peine, invierno 2018. ....	264
Tabla N° 7-11. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 Sector Peine, invierno 2018. ....	265
Tabla N° 7-12. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 Sector Peine, invierno 2018. ....	266
Tabla N° 7-13. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo LP-23, Laguna La Punta, agosto 2018. ....	269
Tabla N° 7-14. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo LP-24, Laguna La Punta, agosto 2018. ....	272
Tabla N° 7-15. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo LB-1, Laguna La Brava, agosto 2018. ....	275
Tabla N° 7-16. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo LB-2, Laguna La Brava, agosto 2018. ....	278
Tabla N° 7-17. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo LB-3, Laguna La Brava, agosto 2018. ....	281

---

Tabla N° 7-18. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 Sector La Punta-La Brava, invierno 2018.....	282
Tabla N° 7-19. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 Sector La Punta-La Brava, invierno 2018.....	283
Tabla N° 7-20. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 Sector La Punta-La Brava, invierno 2018.....	284
Tabla N° 7-21. Cuadro resumen del registro visual de Microbialitos y Evaporitas en los Puntos de Monitoreo, Salar de Atacama, agosto 2018. ....	288
Tabla N° 7-22. Parámetros fisicoquímicos de la columna de agua de los Puntos de Monitoreo, invierno 2018.....	290
Tabla N° 7-23. Proporción de tapetes microbianos expuestos y sumergidos. Verano 2019.....	291
Tabla N° 7-24 Caracterización Tapetes microbianos, verano 2019.....	296
Tabla N° 7-25. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos en el Punto de Monitoreo S-6A.....	300
Tabla N° 7-26. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos en el Punto de Monitoreo S-9. ....	303
Tabla N° 7-27. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de Monitoreo SA-25.....	306
Tabla N° 7-28. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos asociados a una base vegetal (Punto SA-25).....	307
Tabla N° 7-29. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo S-11. ....	310
Tabla N° 7-30. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo I-11.....	312
Tabla N° 7-31. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo I-17.....	314
Tabla N° 7-32 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 Sector Peine, verano 2019.....	315
Tabla N° 7-33 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 Sector Peine, verano 2019.....	316

---

Tabla N° 7-34 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 Sector Peine, verano 2019.....	317
Tabla N° 7-35. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo LP-23. ....	320
Tabla N° 7-36. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo LP-24. ....	323
Tabla N° 7-37. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo LB-1. ....	327
Tabla N° 7-38. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo LB-2. ....	329
Tabla N° 7-39. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos del Punto de monitoreo LB-3. ....	331
Tabla N° 7-40. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 Sector La Punta-La Brava, verano 2019. ....	333
Tabla N° 7-41. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 La Punta-La Brava, verano 2019.....	334
Tabla N° 7-42. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 La Punta-La Brava, verano 2019.....	334
Tabla N° 7-43 Cuadro resumen del registro de Microbialitos y Evaporitas en los Puntos de Monitoreo, verano 2019. ....	338
Tabla N° 7-44. Parámetros fisicoquímicos de la columna de agua de los Puntos de Monitoreo, verano 2019. ....	339
Tabla N° 8-1: Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S), originales. Posición final Monitoreos M1 a M6, puntos de muestreo suelo. ....	343
Tabla N° 8-2. Parámetros medidos en subcomponente suelo.....	345
Tabla N° 8-3: Parámetros evaluados y método de análisis. Componente Suelo. ..	347
Tabla N° 8-4: Valores de Materia orgánica (%).....	348
Tabla N° 8-5: Interpretación del pH.....	348
Tabla N° 8-6: Categorías de Salinidad.....	348
Tabla N° 8-7: Niveles de Fosforo (mg/kg) .....	349

---

Tabla N° 8-8: Niveles de Nitrógeno (mg/kg).....	349
Tabla N° 8-9. Niveles de Potasio (mg/kg) .....	349
Tabla N° 8-10. Rangos de conductividad hidráulica (permeabilidad) (cm/h) .....	349
Tabla N° 8-11. Tamaño de partículas que determina la textura del suelo .....	350
Tabla N° 8-12. Clases texturales del suelo. ....	350
Tabla N° 8-13. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 1. Monitoreo invierno 2018. ....	354
Tabla N° 8-14. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 2. Monitoreo invierno 2018. ....	356
Tabla N° 8-15. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 7. Monitoreo invierno 2018. ....	359
Tabla N° 8-16. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 8. Monitoreo invierno 2018. ....	361
Tabla N° 8-17. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 9. Monitoreo invierno 2018. ....	363
Tabla N° 8-18. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 13. Monitoreo invierno 2018. ....	365
Tabla N° 8-19. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 3. Monitoreo invierno 2018. ....	367
Tabla N° 8-20. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 4. Monitoreo invierno 2018. ....	369
Tabla N° 8-21. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 5. Monitoreo invierno 2018. ....	371
Tabla N° 8-22. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 6. Monitoreo invierno 2018. ....	373
Tabla N° 8-23. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 10. Monitoreo invierno 2018. ....	375
Tabla N° 8-24. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 11. Monitoreo invierno 2018. ....	377
Tabla N° 8-25. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 12. Monitoreo invierno 2018. ....	379



---

Tabla N° 8-26. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 14. Monitoreo invierno 2018. ....	381
Tabla N° 8-27. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 1. Verano 2019.....	384
Tabla N° 8-28. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 2. Verano 2019.....	386
Tabla N° 8-29. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 7. Verano 2019.....	388
Tabla N° 8-30. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 8. Verano 2019.....	390
Tabla N° 8-31. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 9. Verano 2019.....	392
Tabla N° 8-32. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 13. Verano 2019.....	394
Tabla N° 8-33. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 3. Verano 2019.....	396
Tabla N° 8-34. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 4. Verano 2019.....	398
Tabla N° 8-35. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 5. Verano 2019.....	400
Tabla N° 8-36. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 6. Verano 2019.....	402
Tabla N° 8-37. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 10. Verano 2019.....	404
Tabla N° 8-38. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 11. Verano 2019.....	406
Tabla N° 8-39. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 12. Verano 2019.....	408
Tabla N° 8-40. Resultados análisis laboratorio. Punto de muestreo S 14. Verano 2019.....	410
Tabla N° 9-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2018 y verano 2019. ....	414

---

Tabla N° 9-2. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de agua. .....	418
Tabla N° 9-3. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de Sedimentos.....	418
Tabla N° 9-4. Escala de tamaño de grano utilizada en base a Wentworth (1922).	419
Tabla N° 9-5. Resumen de metodologías de muestreo de componentes biológicos. .....	420
Tabla N° 9-6. Instrumentos de medición <i>in situ</i> de parámetros del agua.....	422
Tabla N° 9-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática.....	423
Tabla N° 9-8. Fechas de muestreo de cada una de las variables. ....	423
Tabla N° 9-9. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (invierno 2018).	441
Tabla N° 9-10. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2018). ....	442
Tabla N° 9-11. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (invierno 2018). .....	444
Tabla N° 9-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (invierno 2018).....	446
Tabla N° 9-13: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Peine (invierno 2018). ....	447
Tabla N° 9-14. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2018). ....	447
Tabla N° 9-15: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2018). ....	448
Tabla N° 9-16. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2018).....	448
Tabla N° 9-17: Resultados granulométricos de los Sedimentos en Sector Tilopozo (invierno 2018). ....	449
Tabla N° 9-18. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2018). ....	450

---

Tabla N° 9-19. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).....	453
Tabla N° 9-20. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (invierno 2018).....	455
Tabla N° 9-21. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2018).....	457
Tabla N° 9-22. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).....	459
Tabla N° 9-23. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (invierno 2018).....	461
Tabla N° 9-24. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (invierno 2018).....	463
Tabla N° 9-25. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).....	464
Tabla N° 9-26. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo (invierno 2018).....	466
Tabla N° 9-27. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m <sup>2</sup> ) y riqueza en Sector Peine (invierno 2018).....	467
Tabla N° 9-28. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m <sup>2</sup> ) y riqueza en en Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).....	469
Tabla N° 9-29. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m <sup>2</sup> ) y riqueza en Sector Tilopozo (invierno 2018).....	471
Tabla N° 9-30. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (invierno 2018).....	473
Tabla N° 9-31. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (invierno 2018).....	474
Tabla N° 9-32. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (verano 2019).	475
Tabla N° 9-33. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (verano 2019).....	476
Tabla N° 9-34. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (verano 2019). .....	478

---

Tabla N° 9-35. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (verano 2019).....	480
Tabla N° 9-36. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (verano 2019). ....	481
Tabla N° 9-37. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (verano 2019).....	482
Tabla N° 9-38. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (verano 2019). ....	483
Tabla N° 9-39. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2019). ....	486
Tabla N° 9-40. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2019). ....	488
Tabla N° 9-41. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (verano 2019). ....	490
Tabla N° 9-42. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2019). ....	492
Tabla N° 9-43. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2019). ....	494
Tabla N° 9-44. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (verano 2019). ....	496
Tabla N° 9-45. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (verano 2019). ....	498
Tabla N° 9-46. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m <sup>2</sup> ) y riqueza en Sector Peine (verano 2019).....	500
Tabla N° 9-47. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m <sup>2</sup> ) y riqueza en Sector La Punta y La Brava (verano 2019).....	502
Tabla N° 9-48. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m <sup>2</sup> ) y riqueza en Sector Tilopozo (verano 2019). ....	504
Tabla N° 9-49. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (verano 2019).....	505
Tabla N° 9-50. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio.....	506

---

Tabla N°10-1. Resumen de Componentes y Variables .....	510
Tabla N°10-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.....	511
Tabla N°10-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2018, 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.....	516
Tabla N°10-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2018, 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. ....	516
Tabla N°10-5. Características técnicas del sensor Pleiades-1A.....	518
Tabla N°10-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8 .....	521
Tabla N°10-7. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades 1A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2018. ....	527
Tabla N°10-8. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Agosto, 2018.....	532
Tabla N°10-9. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Agosto, 2018.....	532
Tabla N°10-10. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Diciembre, 2018.....	533
Tabla N°10-11. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Diciembre, 2018.....	534
Tabla N° 10-12. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2018 (invierno y verano).....	535

---

Tabla N° 10-13. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2018 (invierno y verano).....	535
Tabla N° 11-1. Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas .....	540
Tabla N° 11-2. Materiales y Equipos.....	542
Tabla N° 11-3. Fechas de Medición del Año .....	543
Tabla N° 11-4. Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava .....	544
Tabla N° 11-5. Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine.....	546
Tabla N° 12-1. Comparación de superficies por recubrimiento de suelo y formaciones vegetales en el monitoreo de verano 2019 respecto al monitoreo de invierno 2018.....	550
Tabla N° 12-2. Variaciones en la cantidad de formaciones descritas por campaña. ....	553
Tabla N° 12-3. Variaciones en los rangos de cobertura COT en transectas, entre invierno 2018 y verano 2019. ....	556
Tabla N° 12-4. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos de Landsat y alta resolución por sector. ....	574
Tabla N° 12-5. Superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas de <i>Schoenoplectus californicus</i> , en relación a los registros históricos de alta resolución. ....	576
Tabla N° 12-6. Lista Sistemática de especies de fauna registradas a lo largo de las 6 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2019). Se indica además, la presencia (X) en cada sector. ....	580
Tabla N° 12-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2019. Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector. ....	588
Tabla N° 12-8. Abundancia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2019. ....	594
Tabla N° 12-9. Frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2019. ....	596

---

Tabla N° 12-10. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 6 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2019).....	599
Tabla N° 12-11. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2019.....	600
Tabla N° 12-12. Comparación de la riqueza de especies (por clase) entre las campañas de estudio de Línea Base, con las campañas de invierno 2016, verano e invierno 2017, verano e invierno 2018, y verano 2019. ....	603
Tabla N° 12-13. Comparación de la riqueza y composición de aves en los sistemas acuáticos del área de estudio, para las campañas históricas del PMB (invierno 2014 y verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2019).....	606
Tabla N° 12-14. Comparación de la riqueza y composición de reptiles y mamíferos en el área de estudio, para las campañas históricas del PMB (abril y julio 2014, verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2019).....	609
Tabla N° 12-15. Comparación de la abundancia de aves en los sistemas lagunares (La Punta-La Brava y Peine), para los periodos de Línea de Base y monitoreo.....	610
Tabla N° 12-16. Comparación de la abundancia de aves en el sistema hidrológico Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), para los periodos de Línea de Base y monitoreo. ....	613
Tabla N° 12-17. Comparación de la abundancia de aves en el sistema hidrológico La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base y monitoreo. ....	615
Tabla N° 12-18 Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector Peine, invierno 2018 y verano 2019.....	624
Tabla N° 12-19. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector La Punta-La Brava, invierno 2018 y verano 2019.....	629
Tabla N° 12-20. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna Salada, invierno 2016, 2017, 2018. ....	636

---

Tabla N° 12-21 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 de Laguna Salada, Saladita e Interna, invierno 2016, 2017, 2018. ....	637
Tabla N° 12-22 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna Saladita e Interna, invierno 2016, 2017, 2018.....	639
Tabla N° 12-23 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 en Sector Peine, invierno 2016, 2017, 2018.....	640
Tabla N° 12-24 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna La Brava, LB-1, LB-2, invierno 2016, 2017, 2018. ....	643
Tabla N° 12-25 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna La Brava, LB-3 invierno 2016, 2017, 2018.....	644
Tabla N° 12-26 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna La Punta, invierno 2016, 2017, 2018.....	645
Tabla N° 12-27 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 de Laguna La Punta, La Brava, Sector Tilopozo, invierno 2016, 2017, 2018.....	647
Tabla N° 12-28 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 de Laguna La Punta, La Brava, Sector Tilopozo, invierno 2016, 2017, 2018.....	648
Tabla N° 12-29. Cuadro resumen del registro de Microbialitos y Evaporitas en los Puntos de Monitoreo, campañas de invierno 2016, 2017 y 2018. ..	649
Tabla N° 12-30 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna Salada, verano 2017, 2018, 2019.....	655
Tabla N° 12-31. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna Saladita e Interna, verano 2017, 2018, 2019. ....	657
Tabla N° 12-32 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 en Laguna Saladita e Interna, verano 2017, 2018, 2019. ....	658
Tabla N° 12-33 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 en Sector Peine, verano 2017, 2018, 2019. ....	659
Tabla N° 12-34 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna La Brava, verano 2017, 2018, 2019.....	662
Tabla N° 12-35 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna La Punta, verano 2017, 2018, 2019.....	664



---

Tabla N° 12-36 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 de Sector La Punta-La Brava, verano 2017, 2018, 2019.....	666
Tabla N° 12-37 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 de Sector La Punta-La Brava, verano 2017, 2018, 2019.....	666
Tabla N° 12-38. Cuadro resumen del registro de Microbialitos y Evaporitas en los Puntos de Monitoreo, campañas de verano 2017, 2018 y 2019. ....	667
Tabla N° 12-39: Resultados análisis de laboratorio textura. Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).....	687
Tabla N° 12-40: Profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6.....	730
Tabla N° 12-41. Resumen de especies detectadas en los sectores Peine, La Punta, La Brava y vegas de Tilopozo en campañas de línea de base y monitoreo.....	791
Tabla N°12-42. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2018 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015). ....	799
Tabla N° 12-43. Consolidado de índices <i>Kappa</i> de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8. ....	814
Tabla N° 12-44. Valores Mínimos y Promedio de la Serie Sector LP-LB.....	816
Tabla N° 12-45. Valores Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine .....	820
Tabla N° 12-46. Valores Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector LP-LB ....	853
Tabla N° 12-47. Valores Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector Peine .....	881

---

**FOTOGRAFÍAS**

---

Fotografía N° 5-1. Ejemplo de estaca en el punto inicial de las transectas de monitoreo en el área del Salar. ....	85
Fotografía N° 5-2. Ejemplos de especies en estado fenológico vigoroso versus especies en estado latente y rastros. ....	87
Fotografía N° 5-3. Ejemplos de condiciones de sustrato definidas para el muestreo en áreas desprovistas de vegetación. ....	88
Fotografía N° 5-4. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Invierno 2018. ....	108
Fotografía N° 5-5. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en invierno 2018.....	112
Fotografía N° 5-6. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio. ....	114
Fotografía N° 5-7. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor. ....	114
Fotografía N° 5-8. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Verano 2019. ....	125
Fotografía N° 5-9. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en verano 2019.....	129
Fotografía N° 5-10. Fisonomía de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en invierno 2018, en distintas transectas de estudio. ....	134
Fotografía N° 5-11. Fisonomía de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en invierno 2018, en transectas de estudio. ....	134
Fotografía N° 5-12. Fisonomía de herbazal de <i>Juncus balticus</i> en invierno 2018, en transectas de estudio. ....	135
Fotografía N° 5-13. Fisonomía de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en invierno 2018, en transectas de estudio. ....	135
Fotografía N° 5-14. Fisonomía de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en invierno 2018, en transectas de estudio. ....	135

---

Fotografía N° 5-15. Fisonomía de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en invierno 2018, en transectas de estudio. ....	136
Fotografía N° 5-16. Fisonomía de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en verano 2019, en distintas transectas de estudio. ....	152
Fotografía N° 5-17. Fisonomía de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en verano 2019, en transectas de estudio.....	152
Fotografía N° 5-18. Fisonomía de herbazal de <i>Juncus balticus</i> en verano 2019, en distintas transectas de estudio. ....	153
Fotografía N° 5-19. Fisonomía de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en verano 2019, en transectas de estudio. ....	153
Fotografía N° 5-20. Fisonomía de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en verano 2019, en transectas de estudio. ....	153
Fotografía N° 5-21. Fisonomía de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en verano 2019, en transectas de estudio. ....	154
Fotografía N° 6-1. Ambientes del área de estudio. A) humedal salar (arriba; izquierda); B) humedal pajonal (arriba, derecha); C) herbazal (centro, izquierda); D) matorral (centro, derecha); E) quebrada (abajo, izquierda) y F) área desprovista de vegetación (abajo, derecha). ..	178
Fotografía N° 6-2. Instalación de cámara trampa con atrayente olfativo. ....	184
Fotografía N° 6-3. Instalación de trampa tipo Sherman cebada y etiquetada. ....	184
Fotografía N° 6-4. Reptiles del área de estudio: lagartija de Constanza (superior) y lagartija de Fabián (inferior). ....	199
Fotografía N° 6-5. Aves del área de estudio: playero de Baird (arriba, izquierda), parina grande (arriba, derecha), blanquillo (abajo, izquierda) y gaviota andina (abajo, derecha). ....	201
Fotografía N° 6-6. Macromamíferos del área de estudio: zorro culpeo. ....	203
Fotografía N° 6-7. Micromamíferos del área de estudio: tuco-tuco de Atacama (superior), y ratón orejado amarillo (inferior).....	204
Fotografía N° 6-8. Sapo espinoso, única especie de anfibio registrada en el área de estudio, en la campaña de verano 2018.....	219
Fotografía N° 6-9. Reptiles del área de estudio: lagartija de Constanza (superior) y lagartija de Fabián (inferior). ....	220

---

Fotografía N° 6-10. Aves del área de estudio: playero de Baird (arriba, izquierda), garza azul (arriba, derecha), chorlo de la puna (abajo, izquierda) y caití (abajo, derecha). .....	222
Fotografía N° 6-11. Macromamífero del área de estudio: zorro chilla.....	224
Fotografía N° 6-12. Micromamíferos del área de estudio: lauchita de pie sedoso (izquierda), yaca del norte (superior, derecha) y ratón andino (inferior, derecha).....	225
Fotografía N° 7-1. Zonación de Tapete microbiano.....	239
Fotografía N° 7-2. Punto de Monitoreo S-5, Laguna Salada, agosto 2018. ....	246
Fotografía N° 7-3. Muestras de sedimento del Punto de Monitoreo S-5, Laguna Salada, agosto 2018. ....	246
Fotografía N° 7-4. Punto de Monitoreo S-6A, Laguna Salada, agosto 2018.....	247
Fotografía N° 7-5. Tapete microbiano en borde planicie expuesta de Laguna Salada, sector S-6A (marca de escala= 3 mm), agosto 2018.....	248
Fotografía N° 7-6. Muestra de borde sumergido, Punto de Monitoreo S-6A, Laguna Salada, agosto 2018. ....	248
Fotografía N° 7-7. Punto de Monitoreo S-9, Laguna Salada, agosto 2018. ....	250
Fotografía N° 7-8. Tapete microbiano en borde superficial de Laguna Salada, Punto S-9 (marca de escala = 3 mm), agosto 2018.....	250
Fotografía N° 7-9. Muestra de borde sumergido, Punto de Monitoreo S-9, Laguna Salada, agosto 2018. ....	251
Fotografía N° 7-10. Punto de Monitoreo SA-25, Laguna Saladita, agosto 2018....	252
Fotografía N° 7-11. Muestras de sedimento del Punto de Monitoreo SA-25, Laguna Saladita, agosto 2018. ....	253
Fotografía N° 7-12. Muestra del borde superficial de Laguna Saladita, Punto de Monitoreo SA-25, (marca de escala = 3 mm), agosto 2018.....	253
Fotografía N° 7-13. Formaciones esferoidales de base vegetal que albergan tapetes microbianos, borde superficial de Laguna Saladita, Punto de Monitoreo SA-25, agosto 2018.....	254

---

Fotografía N° 7-14. Tapete microbiano de base vegetal presente en el borde superficial de Laguna Saladita, Punto de Monitoreo SA-25, (marca de escala: 3 mm) agosto 2018. ....	254
Fotografía N° 7-15. Punto de Monitoreo S-10, Laguna Saladita, agosto 2018. ....	255
Fotografía N° 7-16. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo S-10, Laguna Saladita, agosto 2018. ....	256
Fotografía N° 7-17. Punto de Monitoreo S-11, Laguna Saladita, agosto 2018. ....	257
Fotografía N° 7-18. Tapete microbiano del Punto de Monitoreo S-11, Laguna Saladita (marca de escala = 3 mm), agosto 2018. ....	257
Fotografía N° 7-19. Punto de Monitoreo I-11, Laguna Interna, agosto 2018. ....	259
Fotografía N° 7-20. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo I-11, Laguna Interna, agosto 2018. ....	259
Fotografía N° 7-21. Tapete microbiano en borde sumergido del Punto de Monitoreo I-11, Laguna Interna, agosto 2018 (marca de escala=3 mm). ....	260
Fotografía N° 7-22. Estructuras semejantes a evaporitas observadas en laguna Interna (I-11), agosto 2018. ....	260
Fotografía N° 7-23. Punto de Monitoreo I-17, Laguna Interna, agosto 2018. ....	262
Fotografía N° 7-24. Tapete microbiano sumergido del Punto de Monitoreo I-17, Laguna Interna, agosto 2018). ....	262
Fotografía N° 7-25. Tapete microbiano superficial del Punto de Monitoreo I-17, Laguna Interna, agosto 2018. ....	263
Fotografía N° 7-26. Punto de Monitoreo LP-23, Laguna La Punta, agosto 2018. ...	267
Fotografía N° 7-27. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo LP-23, Laguna La Punta, agosto 2018. ....	268
Fotografía N° 7-28. Tapete microbiano del Punto de Monitoreo LP-23, Laguna La Punta (marca de escala=3 mm), agosto 2018. ....	268
Fotografía N° 7-29. Estructuras semejantes a microbialito observado en laguna La Punta (LP-23), agosto 2018. ....	269
Fotografía N° 7-30. Punto de Monitoreo LP-24, Laguna La Punta, agosto 2018. ...	270
Fotografía N° 7-31. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo LP-24, Laguna La Punta, agosto 2018. ....	271

---

Fotografía N° 7-32. Tapete microbiano del Punto de Monitoreo LP-24, Laguna La Punta, agosto 2018 (marca de escala= 3 mm).....	271
Fotografía N° 7-33. Estructuras semejantes a evaporitas observadas en laguna La Punta (LP-24), agosto 2018. ....	272
Fotografía N° 7-34. Punto de Monitoreo LB-1, Laguna La Brava, agosto 2018. ....	273
Fotografía N° 7-35. Tapete microbiano superficial del Punto de Monitoreo LB-1, Laguna La Brava (marca de escala= 3 mm), agosto 2018. ....	274
Fotografía N° 7-36. Tapete microbiano sumergido del Punto de Monitoreo LB-1, Laguna La Brava, agosto 2018 (marca de escala= 3 mm). ....	274
Fotografía N° 7-37. Estructura semejante a microbialito observado en laguna La Brava (LB-1), agosto 2018. ....	275
Fotografía N° 7-38. Punto de Monitoreo LB-2, Laguna La Brava, agosto 2018. ....	276
Fotografía N° 7-39. Tapete microbiano superficial del Punto de Monitoreo LB-2, Laguna La Brava, agosto 2018. ....	277
Fotografía N° 7-40. Tapete microbiano sumergido del Punto de Monitoreo LB-2, Laguna La Brava, agosto 2018 (marca de escala= 3 mm). ....	277
Fotografía N° 7-41. Punto de Monitoreo LB-3, Laguna La Brava, agosto 2018. ....	279
Fotografía N° 7-42. Tapete microbiano superficial del Punto de Monitoreo LB-3, Laguna La Brava, agosto 2018 (marca de escala=3 mm). ....	279
Fotografía N° 7-43. Tapete microbiano sumergido del Punto de Monitoreo LB-3, Laguna La Brava, agosto 2018 (marca de escala=3 mm). ....	280
Fotografía N° 7-44. Muestra de sedimento en el Punto de Monitoreo LB-3, Laguna La Brava, agosto 2018. ....	280
Fotografía N° 7-45. Punto de Monitoreo TB-1, Tilopozo, agosto 2018. ....	285
Fotografía N° 7-46. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo TB-1, Tilopozo, agosto 2018. ....	285
Fotografía N° 7-47. Punto de Monitoreo TB-2, Tilopozo, agosto 2018. ....	286
Fotografía N° 7-48. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo TB-2, Tilopozo, agosto 2018. ....	286
Fotografía N° 7-49. Punto de Monitoreo TB-3, Tilopozo, agosto 2018. ....	287

---

Fotografía N° 7-50. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo TB-3, Tilopozo, agosto 2018. ....	287
Fotografía N° 7-51. Punto de Monitoreo S-5, Laguna Salada, abril 2019. ....	297
Fotografía N° 7-52. Muestras de sedimento del Punto de Monitoreo S-5, Laguna Salada, abril 2019. ....	298
Fotografía N° 7-53. Punto de Monitoreo S-6A, Laguna Salada, abril 2019. ....	299
Fotografía N° 7-54. Muestra de sedimento en Punto de Monitoreo S-6A, Laguna Salada, abril 2019. ....	299
Fotografía N° 7-55. Tapete microbiano en Punto de Monitoreo S-6A, Laguna Salada, abril 2019 (marca de escala= 3 mm). ....	300
Fotografía N° 7-56. Punto de Monitoreo S-9, Laguna Salada, abril 2019. ....	301
Fotografía N° 7-57. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo S-9, Laguna Salada, abril 2019. ....	302
Fotografía N° 7-58. Tapete microbiano en Punto de Monitoreo S-9, Laguna Salada (marca de escala=4 mm) abril 2019. ....	302
Fotografía N° 7-59. Punto de Monitoreo SA-25, Laguna Saladita, abril 2019. ....	304
Fotografía N° 7-60. Formaciones esferoidales de base vegetal en Punto de Monitoreo SA-25, Laguna Saladita, abril 2019. ....	304
Fotografía N° 7-61. Muestras de sedimentos del Punto de Monitoreo SA-25, Laguna Saladita, abril 2019. ....	305
Fotografía N° 7-62. Muestra del borde superficial del Punto de Monitoreo SA-25, Laguna Saladita, abril 2019 (marca de escala= 2 mm). ....	305
Fotografía N° 7-63. Tapete microbiano de base vegetal presente en el Punto de Monitoreo SA-25, Laguna Saladita (marca de escala= 2 mm), abril 2019. ....	306
Fotografía N° 7-64. Punto de Monitoreo S-10, Laguna Saladita, abril 2019. ....	307
Fotografía N° 7-65. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo S-10, Laguna Saladita, (marca de escala= 2 cm), abril 2019. ....	308
Fotografía N° 7-66. Punto de monitoreo S-11, Laguna Saladita, abril 2019. ....	309
Fotografía N° 7-67. Muestra de sedimento del punto de monitoreo S-11, Laguna Saladita, abril 2019. ....	309

---

Fotografía N° 7-68. Tapete microbiano del punto de monitoreo S-11, Laguna Saladita, abril 2019 (marca de escala= 2 mm). .....	310
Fotografía N° 7-69. Punto de Monitoreo I-11, Laguna Saladita, abril 2019.....	311
Fotografía N° 7-70. Tapete microbiano del Punto de Monitoreo I-11, Laguna Saladita (marca de escala= 2 mm), abril 2019. ....	312
Fotografía N° 7-71. Punto de Monitoreo I-17, Laguna Interna, abril 2019. ....	313
Fotografía N° 7-72. Tapete microbiano sumergido en Punto de Monitoreo I-17, Laguna Interna (marca de escala = 5 mm), abril 2019. ....	314
Fotografía N° 7-73. Punto de Monitoreo LP-23, Laguna La Punta, abril 2019.....	318
Fotografía N° 7-74. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo LP-23, Laguna La Punta (marca de escala= 2 mm), abril 2019.....	319
Fotografía N° 7-75. Tapete microbiano del Punto de Monitoreo LP-23, Laguna La Punta (marca de escala= 3 mm), abril 2019.....	319
Fotografía N° 7-76. Estructuras semejantes a microbialitos observado en laguna La Punta (LP-23), abril 2019. ....	320
Fotografía N° 7-77. Punto de Monitoreo LP-24, Laguna La Punta, abril 2019.....	321
Fotografía N° 7-78. Tapete microbiano superficial del Punto de Monitoreo LP-24, Laguna La Punta (marca de escala = 3 mm), abril 2019. ....	322
Fotografía N° 7-79. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo LP-24, Laguna La Punta, abril 2019.....	322
Fotografía N° 7-80. Estructura semejante a evaporita observado en laguna La Punta (LP-24), abril 2019. ....	323
Fotografía N° 7-81. Punto de Monitoreo LB-1, Laguna La Brava, abril 2019.....	324
Fotografía N° 7-82. Muestra de sedimento en Punto de Monitoreo LB-1, Laguna La Brava (marca escala= 5 mm) abril 2019.....	325
Fotografía N° 7-83. Tapete microbiano superficial en Punto de Monitoreo LB-1, Laguna La Brava (marca de escala= 3 mm), abril 2019. ....	325
Fotografía N° 7-84. Tapete microbiano sumergido en Punto de Monitoreo LB-1, Laguna La Brava (marca de escala=4 mm), abril 2019. ....	326
Fotografía N° 7-85. Estructura semejante a microbialito observado en laguna La Brava (LB-1), abril 2019. ....	326



---

Fotografía N° 7-86. Punto de Monitoreo LB-2, Laguna La Brava, abril 2019.....	327
Fotografía N° 7-87. Tapete microbiano sumergido del Punto de Monitoreo LB-2, Laguna La Brava, (marca de escala= 3 mm) abril 2019. ....	328
Fotografía N° 7-88. Tapete microbiano superficial del Punto de Monitoreo LB-2, Laguna La Brava, (marca de escala= 3 mm) abril 2019. ....	328
Fotografía N° 7-89. Punto de Monitoreo LB-3, Laguna La Brava, abril 2019.....	330
Fotografía N° 7-90. Tapete microbiano sumergido del Punto de Monitoreo LB-3, Laguna La Brava, abril 2019. ....	330
Fotografía N° 7-91. Tapete microbiano superficial del Punto de Monitoreo LB-3, Laguna La Brava (escala de marca=2 mm), abril 2019. ....	331
Fotografía N° 7-92. Punto de Monitoreo TB-1, Tilopozo, abril 2019. ....	335
Fotografía N° 7-93. Muestra de sedimento en Punto de Monitoreo TB-1, Tilopozo, abril 2019. ....	335
Fotografía N° 7-94. Punto de Monitoreo TB-2, Tilopozo, abril 2019. ....	336
Fotografía N° 7-95. Punto de Monitoreo TB-3, Tilopozo, abril 2019. ....	337
Fotografía N° 7-96. Muestra de sedimento del Punto de Monitoreo TB-3, Tilopozo, abril 2019. ....	337
Fotografía N° 8-1. Materiales utilizados para extraer muestras de suelo para conductividad hidráulica (permeabilidad). ....	351
Fotografía N° 8-2. Vista general punto de muestreo S 1. Monitoreo invierno 2018. ....	353
Fotografía N° 8-3. Vista general perfil punto de muestreo S 1, Monitoreo invierno 2018.....	355
Fotografía N° 8-4. Vista general punto de muestreo S 2. Monitoreo invierno 2018. ....	355
Fotografía N° 8-5. Vista general perfil punto de muestreo S 2, Monitoreo invierno 2018.....	357
Fotografía N° 8-6. Vista general punto de muestreo S 7. Monitoreo invierno 2018. ....	358
Fotografía N° 8-7. Vista general perfil punto de muestreo S 7, Monitoreo invierno 2018.....	359

---

Fotografía N° 8-8. Vista general punto de muestreo S 8. Monitoreo invierno 2018. .....	360
Fotografía N° 8-9. Vista general perfil punto de muestreo S 8, Monitoreo invierno 2018.....	361
Fotografía N° 8-10. Vista general punto de muestreo S 9. Monitoreo invierno 2018. .....	362
Fotografía N° 8-11. Vista general perfil punto de muestreo S 9. Monitoreo invierno 2018.....	363
Fotografía N° 8-12. Vista general punto de muestreo S 13. Monitoreo invierno 2018. .....	364
Fotografía N° 8-13. Vista general perfil punto de muestreo S 13, Monitoreo invierno 2018.....	365
Fotografía N° 8-14. Vista general punto de muestreo S 3. Monitoreo invierno 2018. .....	366
Fotografía N° 8-15. Vista general perfil punto de muestreo S 3, Monitoreo invierno 2018.....	367
Fotografía N° 8-16. Vista general punto de muestreo S 4, Monitoreo invierno 2018. .....	368
Fotografía N° 8-17. Vista general perfil punto de muestreo S 4, Monitoreo invierno 2018.....	369
Fotografía N° 8-18. Vista general punto de muestreo S 5. Monitoreo invierno 2018. .....	370
Fotografía N° 8-19. Vista general perfil de suelo punto de muestreo S 5, Monitoreo invierno 2018. ....	371
Fotografía N° 8-20. Vista general calicata punto de muestreo S 5, nivel freático subsuperficial a 4 cm. Monitoreo invierno 2018.....	372
Fotografía N° 8-21. Vista general punto de muestreo S 6. Monitoreo invierno 2018. .....	372
Fotografía N° 8-22. Vista general perfil punto de muestreo S 6, Monitoreo invierno 2018.....	374
Fotografía N° 8-23. Vista general punto de muestreo S 10. Monitoreo invierno 2018. .....	374

---

Fotografía N° 8-24. Vista general perfil punto de muestreo S 10, Monitoreo invierno 2018.....	376
Fotografía N° 8-25. Vista general punto de muestreo S 11. Monitoreo invierno 2018. ....	376
Fotografía N° 8-26. Vista general perfil punto de muestreo S 11. Monitoreo invierno 2018.....	378
Fotografía N° 8-27. Vista general punto de muestreo S 12. Monitoreo invierno 2018. ....	378
Fotografía N° 8-28. Vista general perfil punto de muestreo S 12, Monitoreo invierno 2018.....	380
Fotografía N° 8-29. Vista general punto de muestreo S 14. Monitoreo invierno 2018. ....	380
Fotografía N° 8-30. Vista general perfil punto de muestreo S 14, Monitoreo invierno 2018.....	382
Fotografía N° 8-31. Vista general punto de muestreo S 1. Verano 2019. ....	383
Fotografía N° 8-32. Vista general perfil punto de muestreo S 1. Verano 2019. ....	384
Fotografía N° 8-33. Vista general punto de muestreo S 2. Verano 2019. ....	385
Fotografía N° 8-34. Vista general perfil punto de muestreo S 2. Verano 2019. ....	386
Fotografía N° 8-35. Vista general punto de muestreo S 7. Verano 2019. ....	387
Fotografía N° 8-36. Vista general perfil punto de muestreo S 7. Verano 2019. ....	388
Fotografía N° 8-37. Vista general punto de muestreo S 8. Verano 2019. ....	389
Fotografía N° 8-38. Vista general perfil punto de muestreo S 8. Verano 2019. ....	390
Fotografía N° 8-39. Vista general punto de muestreo S 9. Verano 2019. ....	391
Fotografía N° 8-40. Vista general perfil punto de muestreo S 9. Verano 2019. ....	392
Fotografía N° 8-41. Vista general punto de muestreo S 13. Verano 2019. ....	393
Fotografía N° 8-42. Vista general perfil punto de muestreo S 13. Verano 2019. ....	394
Fotografía N° 8-43. Vista general punto de muestreo 3 (S 3). Verano 2019. ....	395
Fotografía N° 8-44. Vista general perfil punto de muestreo S 3. Verano 2019. ....	396

---

Fotografía N° 8-45. Vista general perfil punto de muestreo S 4. Verano 2019. ....	397
Fotografía N° 8-46. Vista general perfil punto de muestreo S 4. Verano 2019. ....	398
Fotografía N° 8-47. Vista general punto de muestreo S 5. Verano 2019. ....	399
Fotografía N° 8-48. Vista general perfil punto de muestreo S 5. Verano 2019. ....	400
Fotografía N° 8-49. Vista general punto de muestreo S 6. Verano 2019. ....	401
Fotografía N° 8-50. Vista general perfil punto de muestreo S 6. Verano 2019. ....	402
Fotografía N° 8-51. Vista general punto de muestreo S 10. Verano 2019. ....	403
Fotografía N° 8-52. Vista general perfil punto de muestreo S 10. Verano 2019. ...	404
Fotografía N° 8-53. Vista general punto de muestreo S 11. Verano 2019. ....	405
Fotografía N° 8-54. Vista general perfil punto de muestreo S 11. Verano 2019. ...	406
Fotografía N° 8-55. Vista general punto de muestreo S 12. Verano 2019. ....	407
Fotografía N° 8-56. Vista general perfil punto de muestreo S 12. Verano 2019. ...	408
Fotografía N° 8-57. Vista general punto de muestreo S 14. Verano 2019. ....	409
Fotografía N° 8-58. Vista general perfil punto de muestreo S 14. Verano, 2019. ..	410
Fotografía N° 9-1. Ubicación de las estaciones TB-1 (izquierda) y TB-2 (derecha) de acuerdo al Plan de Manejo Biótico (PMB, 2015), sin presencia de cuerpos de agua. ....	416
Fotografía N° 9-2. Estación S-9. Campaña de Invierno 2018 y Verano 2019. a. y c. Panorámica de la estación y b y d. Sustrato fino, bajo flujo y profundidad .....	425
Fotografía N° 9-3. Estación S-5. Campaña Invierno 2018. a. Panorámica de la estación. b. Hidrófita sumergida. Campaña Verano 2019. c. Panorámica de la estación. d. Parche de hidrófita <i>Ruppia</i> y sustrato fino. ....	426
Fotografía N° 9-4. Estación S-10. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Parche de hidrófita <i>Ruppia</i> y sustrato fino. Campaña Verano 2019. c. Vista panorámica de la estación. d. Sustrato fino. ....	427
Fotografía N° 9-5. Estación SA-25. Campaña Invierno 2018 y Verano 2019. a. y c. Vista panorámica de la estación en invierno. b. y d. Parche de la hidrófita <i>Ruppia</i> en línea de costa y sustrato fino. ....	428

- Fotografía N° 9-6. Estación I-11. Campaña Invierno 2018 y Verano 2019. a. y c. Vista panorámica de la estación. b. y d. Sustrato fino. .... 429
- Fotografía N° 9-7. Estación I-17. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino. Campaña Verano 2019. c y d. Vista panorámica de la estación. .... 430
- Fotografía N° 9-8. Estación LB-1. Campaña Invierno 2018 .a. y b. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.y Campaña Verano 2019 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas..... 431
- Fotografía N° 9-9. Estación LB-2. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y costra salina. Campaña Verano 2019. c. Vista panorámica de la estación y d. Especie emergente (Helófitas: *Triglochin concinna*). .... 432
- Fotografía N° 9-10. Estación LB-3. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófitas. Campaña Verano 2019. c. y d. Vista panorámica de la estación y afluyente. .... 433
- Fotografía N° 9-11. Estación LP-23. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche *Sarcocornia fruticosa* y *Puccinellia frigida* (helófitas). Campaña Verano 2019. c. Vista panorámica de la estación y d. Parche helófitas *S. fruticosa*, y *T. concinna*. .... 434
- Fotografía N° 9-12. Estación LP-24. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino. Campaña Verano 2019. c. Vista panorámica y parche de helófitas *Sarcocornia fruticosa* en línea de costa d. Sustrato fino. .... 435
- Fotografía N° 9-13. Estación TB-1. Campaña Invierno 2018 a. Vista panorámica de la estación y b. Presencia de un burro muerto en la poza. Campaña Verano 2019 c. Vista panorámica de la estación, *Z. palustris* y lamas sobre el espejo de agua y d. Parche *Zannichellia palustris* (hidrófitas) con lamas de microalgas bajo el agua. .... 437
- Fotografía N° 9-14. Estación TB-2. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico y de la helófitas *Schoenoplectus californicus*. b. Se observó baja disponibilidad de agua. Campaña Verano 2019. c. y d. Vista panorámica de la estación 100% cubierta de *S. californicus* y sin disponibilidad de agua. .... 438
- Fotografía N° 9-15. Estación TB-3. Campaña Invierno 2018 a. Vista panorámica de la estación, presencia de hidrófitas dentro de la poza y helófitas en la

línea de costa. b. Presencia de peces del género *Gambusia*.y  
Campaña Verano 2019 c. Vista panorámica de la estación y d.  
Presencia de *Schoenoplectus californicus* en línea de costa. .... 440

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

Este acápite corresponde a las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos de invierno 2018 y verano de 2019, para el subcomponente ambiental **flora y fauna acuática, calidad de aguas y sedimentos**, o Limnología, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Manejo Biótico comprometido en la RCA N°21/2016 del Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama de la empresa Albemarle, ubicado en la Región de Antofagasta.

Las variables ambientales que caracterizan esta componente de Limnología y que son objeto de seguimiento, corresponden a: variables físicas y químicas de agua y sedimentos, además de las variables comunitarias asociadas a fitobentos, fitoplancton, zoobentos, zooplancton y plantas vasculares acuáticas (macrófitas) según lo establecido en la RCA del Proyecto.

Los periodos reportados en el presente informe, corresponden tanto al monitoreo semestral de invierno 2018, el que se desarrolló en terreno entre los días 22 y 24 de agosto de 2018, como a los resultados del monitoreo semestral de verano, realizado entre el 02 y 04 de abril de 2019. Esta actividad de seguimiento fue llevada a cabo por **Cedrem Consultores Limitada** por encargo del Titular del Proyecto.

Los objetivos específicos para esta componente de monitoreo son:

- Evaluar la calidad de agua superficial de los puntos de muestreo.
- Evaluar la calidad de sedimentos en los puntos de muestreo.
- Evaluar el estado de la comunidad de fitobentos en los puntos de muestreo.
- Evaluar el estado de la comunidad de fitoplancton en los puntos de muestreo.
- Evaluar el estado de la comunidad de zoobentos en los puntos de muestreo.
- Evaluar el estado de la comunidad de zooplancton en los puntos de muestreo.
- Evaluar el estado de la comunidad de plantas vasculares acuáticas (macrófitas) en los puntos de muestreo.

### 9.1 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 9.1.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el Salar de Atacama, el cual se encuentra ubicado en el altiplano de la región de Antofagasta. Corresponde a una cuenca endorreica, cuya superficie alcanza los 15.620 km<sup>2</sup>, flanqueada en todo su extensión por cordones cordilleranos, lo que determina que el agua que precipita en ella escurre superficial o

subterráneamente hasta la parte baja de la hoya, donde se localiza el Salar propiamente tal. En términos climáticos, la cuenca del Salar de Atacama está bajo la influencia del tipo climático Desértico Marginal de Altura (CADE-IDEPE 2004), mientras que de acuerdo al régimen hídrico, se encuentra dentro de la zona denominada Árida Estepárica Fría de Altura, caracterizada por una estación de lluvias estivales que va de diciembre a marzo, un régimen térmico extremadamente frío y registro de heladas durante todo el año (Santibáñez et al. 2008).

Los salares son considerados altamente homogéneos, con grandes extensiones de superficie carentes de expresiones evidentes de vida. Sin embargo, en algunos sectores, el afloramiento de agua desde el acuífero o un nivel freático cercano a la superficie, da lugar a la formación de ecosistemas lagunares y posibilita el desarrollo de ecosistemas de vegas y ecosistemas salinos, otorgándole al sistema, al menos localmente, un alto grado de heterogeneidad. Estos ecosistemas son también altamente heterogéneos espacial y temporalmente en respuesta a gradientes ambientales, de salinidad en el caso de las lagunas, y de humedad y salinidad en el caso de las vegas y ecosistemas salinos (Plan de Manejo Biótico del Proyecto, Adenda 5, Anexo 2).

El área de estudio incluye tres sectores bien definidos, Sector Peine que incluye al complejo lagunar formado por Salada, Saladita e Interna, Sector La Punta-La Brava formado por las lagunas La Punta y La Brava, y finalmente el Sector Tilopozo donde se ubica un par de lagunas profundas y un afloramiento de agua (**Figura N° 9-1**).

### 9.1.2 Ubicación de puntos muestreo

Se analizan *in situ* 14 puntos de monitoreo, distribuidos en los sistemas lagunares Sector Peine conformado por Laguna Salada, Laguna Saladita y Laguna Interna y Sector Laguna La Brava, Laguna La Punta y Sector Tilopozo. Los puntos de monitoreo y sus coordenadas se presentan en la **Tabla N° 9-1** y su ubicación en **Figura N° 9-1**.

Cabe destacar que el PMB, señala 12 estaciones, no obstante, con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos y en función de recomendación de los especialistas, se sumaron voluntariamente desde el primer año de monitoreo dos nuevas estaciones, una estación de muestreo en el sector La Brava y una en sector Tilopozo. Lo anterior, ya fue previamente informado en los Informes Anuales N°1 y N°2 del PMB.



**Tabla N° 9-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2018 y verano 2019.**

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	<b>LB-3***</b>	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	<b>TB-3***</b>	577.705	7.369.524	577.705	7.369.524

\* En el Sector Peine, puntualmente la estación S-9 fue desplazada a la orilla opuesta del curso de agua, con el fin de facilitar la ejecución de toma de muestras y levantamiento de datos en terreno.

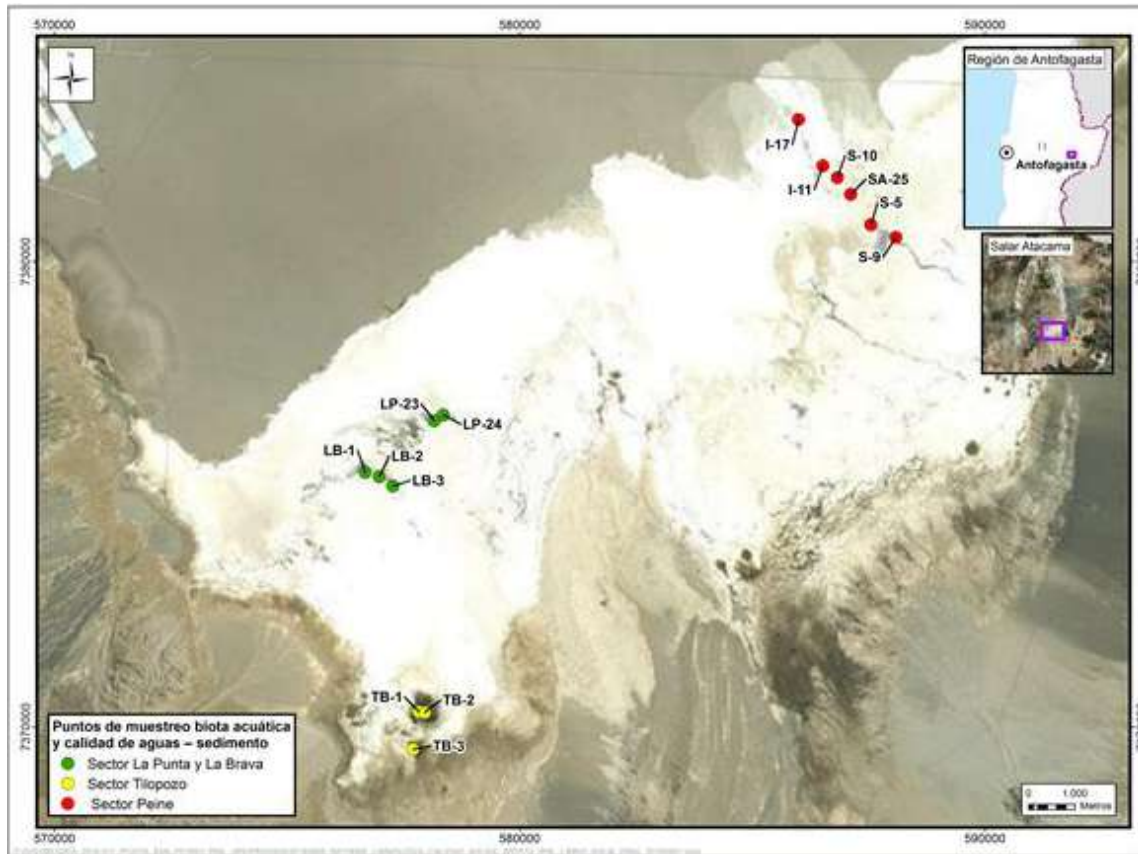
\*\* En el sector Tilopozo, se debió modificar la ubicación de las estaciones TB-1 y TB-2 debido a que las coordenadas de la ubicación inicial no estaban asociadas a cuerpos de agua (Ver **Figura N° 9-1**).

\*\*\*Estación Voluntaria

Fuente: Elaboración propia.

Se destacan en negrita en la **Tabla N° 9-1**, las dos estaciones correspondientes a **LB-3** en La Brava y **TB-3** en Tilopozo, realizadas voluntariamente desde el inicio del plan de seguimiento ambiental biótico, por parte del Titular del Proyecto, con el objetivo de tener una mejor representatividad de los sistemas evaluados, así como procurar un permanente acceso a los puntos de monitoreo.

**Figura N° 9-1. Ubicación de estaciones de monitoreo de Limnología; Biota acuática, Calidad de Agua y Sedimentos, Salar de Atacama.**



Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía N° 9-1. Ubicación de las estaciones TB-1 (izquierda) y TB-2 (derecha) de acuerdo al Plan de Manejo Biótico (PMB, 2015), sin presencia de cuerpos de agua.**

**Ubicación original TB-1**



**Ubicación original TB-2**



Fuente: Elaboración propia.

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

Para evaluar el estado y evolución de la calidad de agua y sedimentos se establecieron los siguientes parámetros:

En agua: temperatura, pH, conductividad eléctrica, salinidad, turbiedad, oxígeno disuelto, clorofila "a" (fitoplancton y perifiton), alcalinidad parcial, alcalinidad total, bicarbonato, carbonatos, cloruro, nitrato, nitrito, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total Kjeldhal, fósforo total, ortofosfato, sulfato, aceites y grasas;

En sedimentos: carbono orgánico total, fósforo total, materia orgánica, nitrógeno total Kjeldhal, potencial redox y granulometría.

Algunos parámetros si bien no están comprometidos en el PMB, se analizaron y se informan sus registros, como los parámetros de alcalinidad parcial y total, por ser requisito básico para medir otros como carbonatos y bicarbonatos, que sí son parte del monitoreo. El parámetro turbiedad se incorpora, ya que fue evaluado como requerimiento para descripción de tapetes microbianos.

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

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

### 9.1.4.1 Metodología de muestreo y análisis calidad de agua y sedimentos

En cada una de las estaciones visitadas se evaluaron parámetros *in situ* correspondientes a temperatura, pH, turbiedad y oxígeno disuelto en el agua. También, se colectan muestras de agua y sedimentos para su posterior análisis en laboratorio acreditado como ETFA, a cargo de la empresa ANAM S.A. (Análisis Ambientales S.A.). Cabe mencionar, que los certificados de análisis emitidos por la ETFA señalada, correspondientes a invierno 2018 y verano 2019, se presentan en el formato ETFA requerido por la SMA (RES. 1194/2015). (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos\_Calidad de Agua y Anexo Limnología\_Sedimentos**).

Para la evaluación de las variables *in situ*, se calibran diariamente los sensores a utilizar con las soluciones del fabricante y siguiendo las instrucciones del mismo. Además, los sensores son ubicados en la columna de agua, de manera de evitar la alteración del registro en el agua, debido a la actividad propia del muestreo biológico o de sedimentos (agitación de agua, resuspensión de sedimentos, etc.). Por la misma razón, las muestras de agua colectadas para analizar en laboratorio son tomadas aguas arriba o antes de la toma de muestras biológicas o de sedimento.

Las muestras de agua son colectadas en frascos apropiados para su transporte (según serie de normas NCh 411 para el muestreo de aguas crudas y residuales), los cuales son proporcionados por el laboratorio de análisis junto a los fijadores respectivos para las muestras que lo requirieren. Los frascos con las muestras de agua son transportados en cajas de material aislante de temperatura, rellenos con hielo en escarcha, y enviados directamente al laboratorio de manera de que las muestras sean analizadas dentro de los plazos o *holding time* requeridos. Todas las cajas incluyen un frasco testigo para corroborar la temperatura.

El muestreo de sedimentos consiste en colectar una porción de sustrato sumergido en contenedores específicos para ello en cada una de las estaciones evaluadas, cuidando de no contaminar la muestra con agentes externos. Estas muestras son debidamente etiquetadas, almacenadas y transportadas hasta su posterior análisis en el laboratorio, procurando no realizar contaminación cruzada entre las distintas muestras (según serie de normas NCh 411 para el muestreo de aguas crudas y residuales).

Las metodologías y unidades de medida utilizadas para el análisis de las variables físicas y químicas de agua son las señaladas en la **Tabla N° 9-2**.

**Tabla N° 9-2. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de agua.**

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Temperatura	°C	SM 2550 B
pH	pH	ME-029-2007
Conductividad específica	μS/cm	SM 2510B (2005)
Salinidad	gr/Kg	SM 2510B (2012)
Turbiedad	UNT	ME-03-2007
Oxígeno disuelto	mg/L	Potenciométrico
Clorofila "a" (Fitoplancton)	ug/L	SM 10200-H2c (2012)
Clorofila "a" (Perifiton)	mg chl-a/m <sup>2</sup>	SM 10300-C7 (2012)
Alcalinidad Parcial (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	SM 2320B (2012)
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	SM 2320B (2012)
Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	SM 2320B (2005)
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	SM 2320B (2005)
Cloruro (Cl)	mg/L	ME-28-2007
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	ME-16-2007
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	ME-17-2007
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	SM 4500-NH3 F (2005)
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	SM 4500-Norg B-C
Fósforo Total	mg/L	SM 4500-P E(2005)
Ortofosfato	mgP/L	SM 4500-P E (2005)
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/L	EPA 375.4 (1978)
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	SM 5220B (2005)

Fuente: Elaboración propia.

Las metodologías y unidades de medida utilizadas para el análisis de las variables físicas y químicas de sedimentos son las señaladas en **Tabla N° 9-3**.

**Tabla N° 9-3. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de Sedimentos.**

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	TMECC 05,07
Fosforo Total (P)	mg/Kg	SM3120B
Materia Orgánica	%	TMECC 05,07

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	INIA 2000
Potencial Redox	mV	SM 2580B

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico se indica realizar un análisis de granulometría para cada estación. Los resultados granulométricos se clasifican según la escala de Wentworth (1922), la cual cataloga los sedimentos según el tamaño de grano. En la **Tabla N° 9-4** se muestran las categorías de la escala que son utilizadas para caracterizar los sedimentos, que van desde limo a grava muy fina. Las estadísticas para la obtención del diámetro medio de grano y el grado de selección por estación, se realizan con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0 (Blott & Pye, 2001).

**Tabla N° 9-4. Escala de tamaño de grano utilizada en base a Wentworth (1922).**

Tamaño de grano (mm)	Clasificación
4	Grava Muy Fina
2	Arena Muy Gruesa
1	Arena Gruesa
0,5	Arena Media
0,25	Arena Fina
0,125	Arena Muy Fina
0,063	Limo

Fuente: Blott & Pye (2001)

#### **9.1.4.2 Metodología de muestreo flora y fauna acuática**

El muestreo de flora y fauna acuática se realiza utilizando como referencia dos documentos internacionales de metodologías, debido a que en Chile aún no se cuenta con metodologías estandarizadas dictadas por la autoridad. Los documentos referidos corresponden a “Metodologías para el establecimiento del estado ecológico según la DMA (Directiva Marco del Agua) de la Confederación Hidrológica del Ebro” perteneciente al ministerio de Medio Ambiente de España y las metodologías de examinación biológica definidas por la Asociación de Salud Pública Americana de Estados Unidos (APHA)

mediante su publicación de “Métodos estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales”. Las referencias se resumen en la **Tabla N° 9-5**.

**Tabla N° 9-5. Resumen de metodologías de muestreo de componentes biológicos.**

Componente	Metodología	
	APHA <sup>1</sup>	DMA <sup>2</sup>
Fitoplancton	SM10200C / SM10200F	Protocolo de muestreo y análisis para Fitoplancton
Fitobentos	SM10300B / SM10200F	Protocolo de muestreo y análisis para Microalgas Bentónicas
Zooplancton	SM10200B / SM10200G	Protocolo de muestreo y análisis para Zooplancton
Zoobentos	SM10500B / SM10500C	Protocolo de muestreo y análisis para macroinvertebrados bentónicos
Macrófitas	SM10400B / SM10400C	Protocolo de muestreo y análisis para plantas vasculares acuáticas

<sup>1</sup> APHA: Standard Methods (2012). <sup>2</sup> DMA: Directiva Marco del Agua (2005).

Para llevar a cabo el muestreo de flora y fauna acuática, se contó con la autorización de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura a través RES. EXT. N°159/2018. El documento se presenta en Anexo “**Permiso de Pesca de Investigación en Anexo Limnología y Tapetes Microbianos\_Calidad de Agua**” de este Informe Anual N°3.

El muestreo fue realizado por especialistas de **Limnológica Estudios Ambientales EIRL.**, autorizada para llevar a cabo actividades de pesca de investigación de recursos hidrobiológicos en el área de estudio. A continuación se describen las metodologías particulares usadas para cada una de las comunidades.

- **Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas):** En cada punto de seguimiento (n=3), se identificó visualmente las plantas vasculares y se estimó la abundancia relativa o cobertura (%) de cada especie o grupo de especies utilizando un cuadrante de 50X50 cm. Las plantas que no fue posible identificar *in situ* fueron herborizadas y transportadas a laboratorio, y enviadas a especialistas botánicos para su posterior identificación. Se clasificaron las plantas acuáticas en base a la bibliografía disponible: Pereira & Parra (1984), Ramírez et al (1982), Vila et al. 2006 y Rodríguez & Dellarossa 1998.
- **Fitobentos:** La estimación de la riqueza y abundancia de la flora bentónica (fitobentos), se realizó mediante el recuento bajo microscopio óptico. Se obtuvo 2 muestras representativas, desde los primeros centímetros del sedimento, tomando 1 mm<sup>3</sup> por muestra con una jeringa-core de 5 mL. El método de análisis consistió en obtener alícuotas de dichas muestras para preparaciones microscópicas, las cuales

fueron analizadas en relación con la riqueza taxonómica y recuento de microalgas presentes (Wetzel&Likens, 1991). La identificación de las diatomeas y de los otros grupos del fitobentos se realizaron utilizando las claves de Prescott (1970), Rivera (1983), Krammer&LangeBertalot (1986, 1991), Simonsen (1987), Parra et al. (1982a, 1982b, 1982c y 1983), Pereira & Parra, 1984, Round et al. (1996), Rumrich et al. (2000) y Lange-Bertalot (2001).

- **Fitoplancton:** La obtención de muestras fitoplanctónicas se hizo semestralmente en duplicado, colectando directamente 500 mL de agua de los sistemas en botellas plásticas. El agua colectada fue fijada con solución Lugol, para evitar descomposición previa a su análisis en laboratorio. Las muestras fueron preparadas y analizadas al microscopio, determinando la riqueza y abundancia de las microalgas presentes (Wetzel&Likens 1991). La identificación de las diatomeas y de los otros grupos del fitoplancton se realizó utilizando las claves de Prescott (1970), Rivera (1983), Krammer&LangeBertalot (1986, 1991), Simonsen (1987), Parra et al. (1982a, 1982b, 1982c y 1983), Pereira & Parra, 1984, Round et al. (1996), Rumrich et al. (2000) y Lange-Bertalot (2001).
- **Zoobentos:** La estimación de la composición y abundancia de la fauna bentónica se realizó mediante el recuento directo por grupo de organismos. Esto se midió en muestras en duplicado por punto de monitoreo obtenidas con un core de 0,004 m<sup>2</sup> las que fueron preservadas en alcohol al 70%. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo la lupa, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos se realizó en base a los trabajos de Bertrand (1995), Lopretto & Tell (1995), Merrit & Cummins (1996), Lugo-Ortiz & MacCafferty (1995-1999), Fernández & Domínguez (2001), Domínguez et al. (2006).
- **Zooplancton:** La estimación de la composición y abundancia de la comunidad zooplanctónica se realizó obteniendo muestras representativas del plancton, utilizando una red o tamiz dotado con una malla N°10 (110 µm). Las muestras se tomaron en duplicado y se realizó extrayendo un volumen conocido de agua superficial con un contenedor graduado, para posteriormente ser filtrado en el tamiz o red. Cada muestra fue preservada en alcohol al 70% de concentración final. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo la lupa en una cámara BOGOROW, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos zooplanctónicos se realizó en base a los trabajos de Araya & Zuñiga (1985) y Pennak (1989).

Para cada componente o ensamble biológico de la biota acuática (fitobentos, fitoplancton fauna bentónica y zooplancton) se realizó un análisis comunitario, estimándose la



abundancia, riqueza de *taxa*, diversidad de *taxa* y equidad para cada punto de muestreo: La diversidad biológica de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y su cálculo se realizó en base a todos los organismos presentes en las muestras según la expresión:

$$H'(nits) = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln p_i$$

Donde, S = número de especies y  $p_i$  = 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 determinó la homogeneidad de las abundancias de especies en la muestra a través del índice de equidad ( $J'$ ), de acuerdo a la expresión:

$$J' = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde,  $H'$  = índice de Shannon-Wiener,  $H'_{max}$  = valor máximo teórico de  $H'$  y S = número de especies.

El valor de este índice se encuentra acotado entre 0 y 1, tendiendo a uno en comunidades donde los *taxa* están representados de forma equitativa.

### 9.1.5 Materiales y equipos utilizados

Los materiales, equipos e instrumentos utilizados se indican en la **Tabla N° 9-6** y **Tabla N° 9-7**.

**Tabla N° 9-6. Instrumentos de medición *in situ* de parámetros del agua**

Análisis	Referencias del Método
Temperatura (°C)	Medidor pH/ORP/t° HANNA 9126
pH	Medidor pH/ORP/t° HANNA 9126
Oxígeno disuelto (mg/L)	Medidor de Oxígeno Disuelto HANNA 914604
Turbiedad	Turbidímetro HACH

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 9-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática.**

Componente	Instrumento/fijador
Fitobentos	Cepillo para superficies duras (25 cm <sup>2</sup> ) y Jeringa-core de 5 mL para superficies blandas. Fijador Lugol
Fitoplancton	Frascos de 500 mL. Fijador Lugol
Zoobentos	Core de 0,004 m <sup>2</sup> para sistemas lénticos. Fijador alcohol*.
Zooplancton	Tamiz de 110 micrones. Fijador alcohol*.

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

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

La campaña de monitoreo correspondiente a invierno de 2018 se realizó entre las fechas 22 y 24 de agosto de 2018, días en los cuales se visitaron las estaciones y se tomaron tanto las muestras de agua y sedimentos, como aquellas correspondientes a biota. Mientras que, la de verano tuvo lugar entre los días 02 y 04 de abril de 2019. En la **Tabla N° 9-8** se presenta el detalle de las fechas de visita por sector y obtención de muestras para cada variable evaluada en los monitoreos respectivos.

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

Componente	Variable	Fecha toma muestra					
		Sector Peine		Sector La Punta y La Brava		Sector Tilopozo	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Agua	Temperatura	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	pH	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Conductividad	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Salinidad	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Turbiedad	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Oxígeno disuelto	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Clorofila "a" en Fitoplancton	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Clorofila en Perifiton	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Alcalinidad Parcial (CaCO <sub>3</sub> )	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019

Componente	Variable	Fecha toma muestra					
		Sector Peine		Sector La Punta y La Brava		Sector Tilopozo	
	Cloruro (Cl)	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Nitrato (N-NO3-)	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Nitrito (N-NO2-)	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Nitrógeno amoniacal (NH4+)	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Fosforo Total	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Ortofosfato	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Sulfato (SO4-2)	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Aceites y Grasas (A y G)	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
Sedimento	Carbono Orgánico Total (COT)	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Fosforo Total (P) M.S.	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Materia Orgánica	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Nitrógeno Total Kjeldahl	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Potencial Redox	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
Biota	Fitobentos	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Fitoplancton	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Zoobentos	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Zooplancton	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019
	Macrófitas	23-08-2018	03-04-2019	22-08-2018	04-04-2019	24-08-2018	02-04-2019

Fuente: Elaboración propia.

## 9.2 RESULTADOS

### 9.2.1 Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2018 y verano 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 y en las campañas de invierno 2018 y verano 2019.

#### 9.2.1.1 Sector Peine

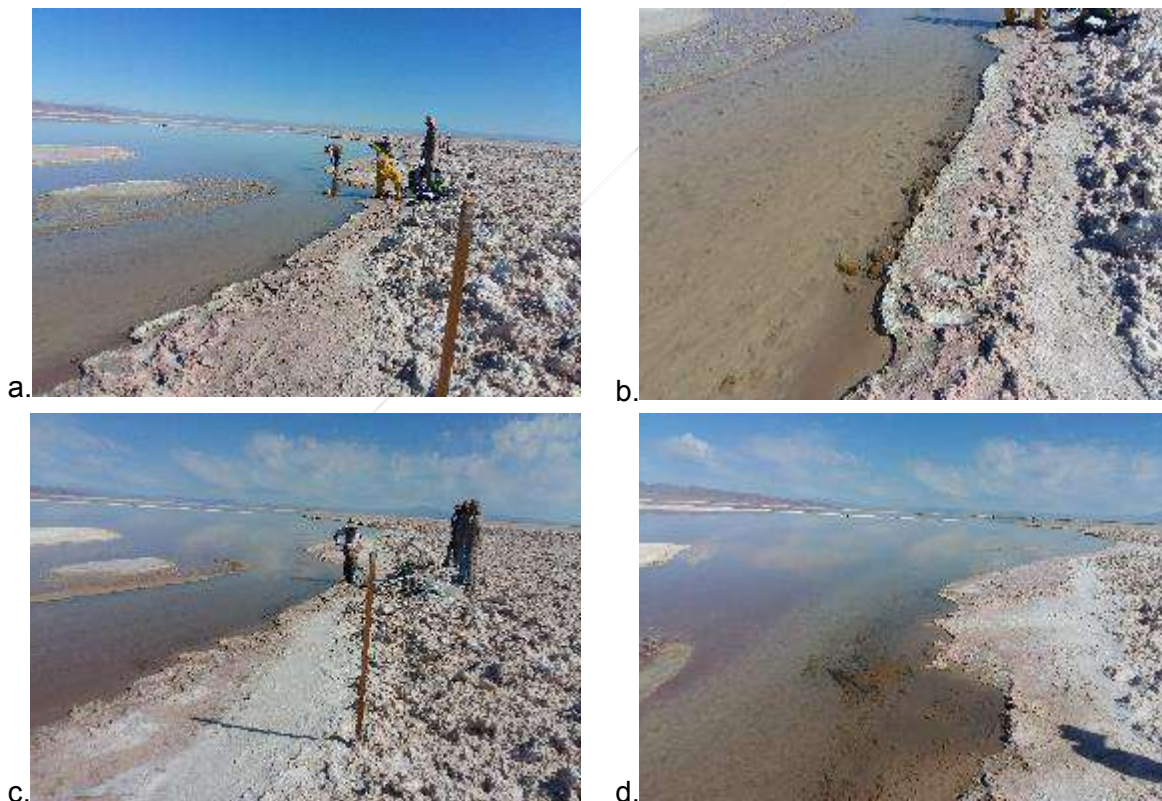
El Sector Peine fue monitoreado en seis estaciones de muestreo, de las cuales dos se encuentran emplazadas en la laguna Salada (S-9 y S-5), dos en la laguna Saladita (S-10 y SA-25) y dos estaciones ubicadas en laguna Interna (I-11 e I-17) (ver **Tabla N° 9-1** y **Figura N° 9-1**).

- Estación S-9

La estación S-9 se ubica en un afluente dentro de la laguna Salada, a una altura geográfica de 2307 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 69 m en invierno y verano, de profundidad baja observada en ambas campañas la que osciló entre 10,16 y 9,33 cm.

El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, con olor a sustrato orgánico, con un flujo bajo y con aguas transparentes entre periodos de muestreo. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas helófitas, ni vegetación ribereña en invierno ni en verano. Respecto a las plantas acuáticas hidrófitas estas solo fueron detectadas en periodo de verano (ver **Fotografía N° 9-2**).

**Fotografía N° 9-2. Estación S-9. Campaña de Invierno 2018 y Verano 2019. a. y c. Panorámica de la estación y b y d. Sustrato fino, bajo flujo y profundidad**



Fuente: Elaboración propia.

- Estación S-5

La estación S-5 corresponde a un sector somero de laguna Salada, ubicada a una altura geográfica aproximadamente de 2306 msnm, con un ancho de sección estimado de 93 m en invierno y verano, de profundidad baja observada en ambas campañas la que osciló entre 8,6 y 10,3 cm. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y sustrato orgánico, sin flujo y con aguas ligeramente turbias a transparentes según el periodo de muestreo. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin vegetación ribereña (**Fotografía N° 9-3**).

**Fotografía N° 9-3. Estación S-5. Campaña Invierno 2018. a. Panorámica de la estación. b. Hidrófita sumergida. Campaña Verano 2019. c. Panorámica de la estación. d. Parche de hidrófita *Ruppia* y sustrato fino.**

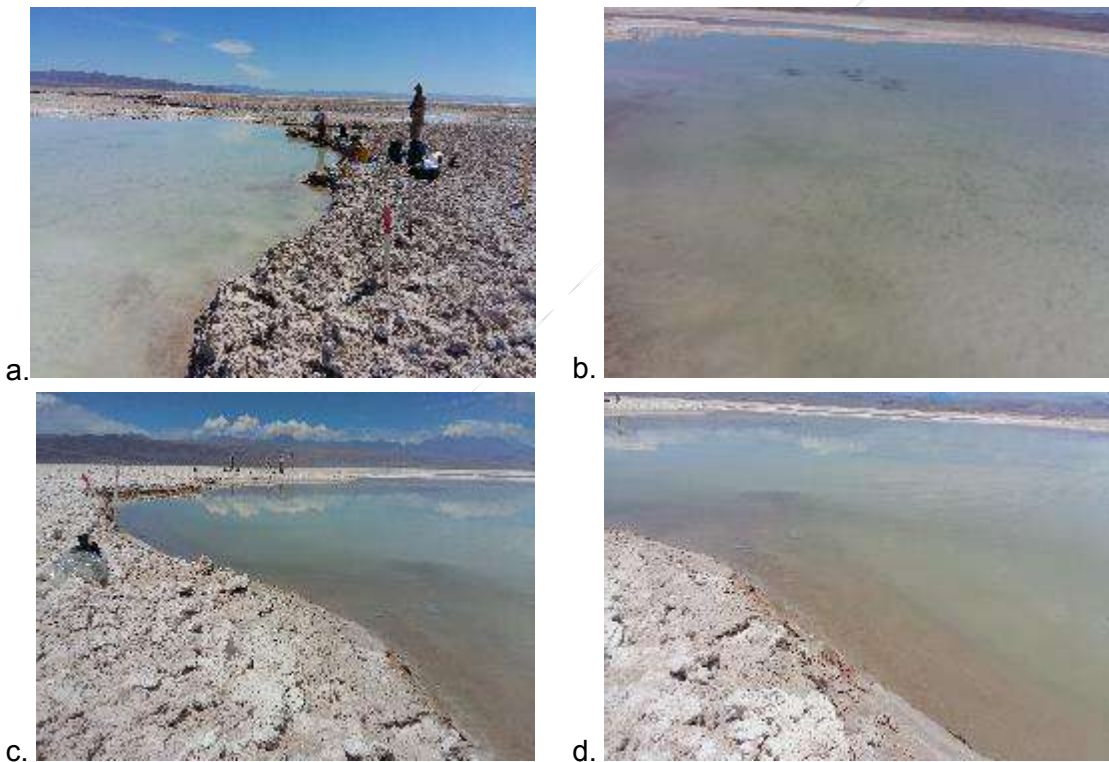


Fuente: Elaboración propia.

- Estación S-10

La estación S-10 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2309 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 39 m en invierno y verano, de profundidad baja observada en ambas campañas la que osciló entre 18,3 y 19,3 cm. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y orgánico, con un flujo nulo y con aguas ligeramente turbias. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida en el centro de la laguna, sin vegetación ribereña (**Fotografía N° 9-4**).

**Fotografía N° 9-4. Estación S-10. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Parche de hidrófita *Ruppia* y sustrato fino. Campaña Verano 2019. c. Vista panorámica de la estación. d. Sustrato fino.**



Fuente: Elaboración propia.

- Estación SA-25

La estación SA-25 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2307 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 315 m en invierno y verano, de profundidad baja observada en ambas campañas la que osciló entre 10,5 y 14,7 cm. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y orgánico, sin flujo y con aguas ligeramente turbias en ambos periodos de muestreo. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin vegetación ribereña (**Fotografía N° 9-5**).

**Fotografía N° 9-5. Estación SA-25. Campaña Invierno 2018 y Verano 2019. a. y c. Vista panorámica de la estación en invierno. b. y d. Parche de la hidrófita *Ruppia* en línea de costa y sustrato fino.**

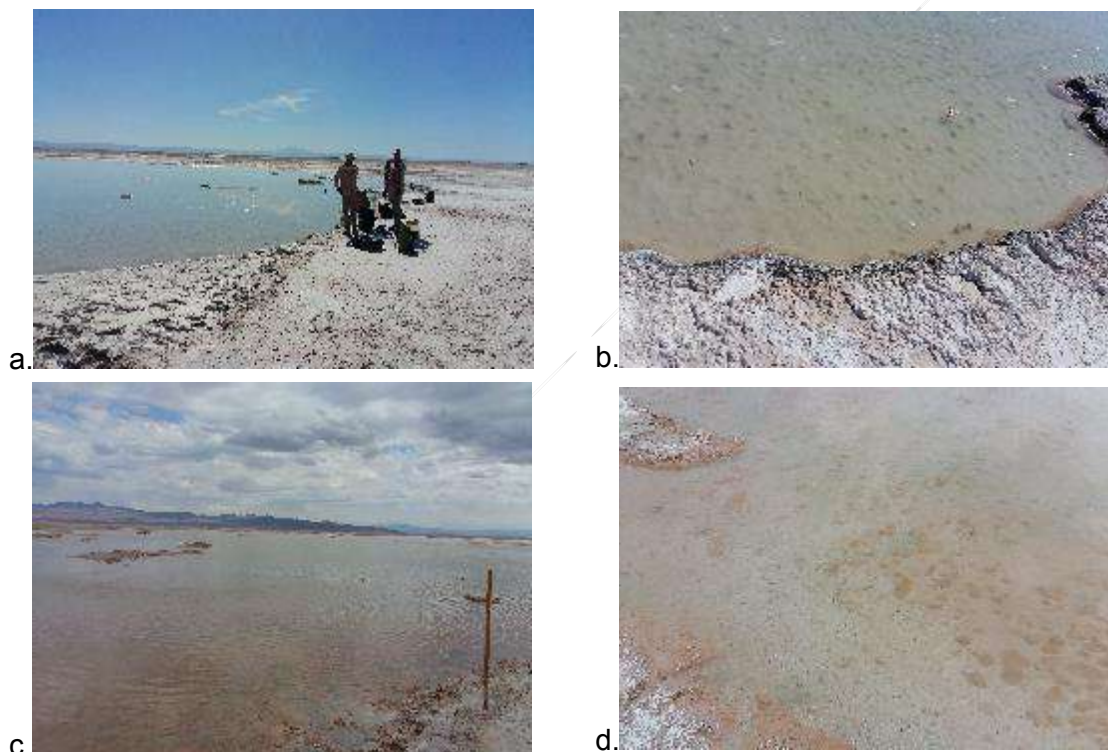


Fuente: Elaboración propia.

- Estación I-11

La estación I-11 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2303 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 288 m en invierno y verano, y de profundidad variable en ambas campañas la que osciló entre 9,2 y 35,0 cm. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y orgánico, con un flujo de nulo y con aguas ligeramente turbias a transparentes entre periodos de muestreo. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 9-6**).

**Fotografía N° 9-6. Estación I-11. Campaña Invierno 2018 y Verano 2019. a. y c. Vista panorámica de la estación. b. y d. Sustrato fino.**



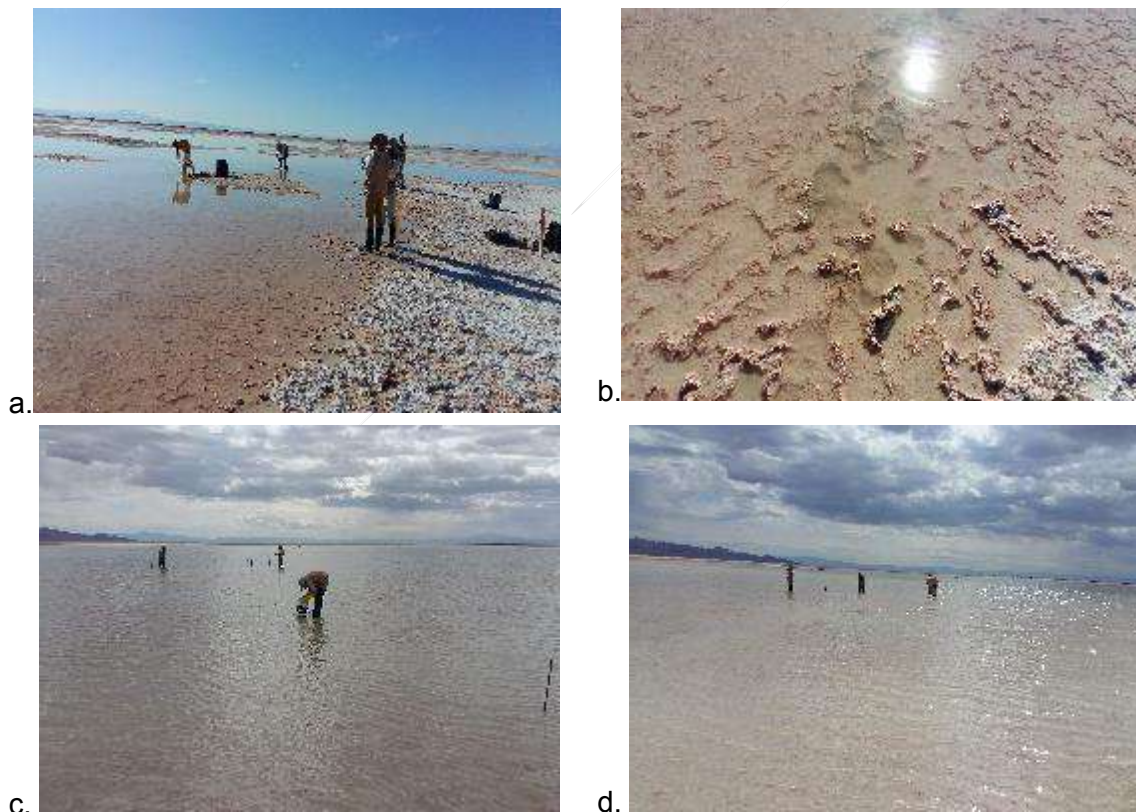
Fuente: Elaboración propia.



- Estación I-17

La estación I-17 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2312 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 430 m en invierno y verano, y de profundidad baja y variable la que osciló entre 9,0 y 36,0 cm entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y orgánico, sin flujo y con aguas ligeramente turbias y transparentes entre periodos de muestreo. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 9-7**). Cabe mencionar que en el periodo de verano 2019, la estación presentó un significativo aumento del espejo de agua y de la profundidad de la columna de agua.

**Fotografía N° 9-7. Estación I-17. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino. Campaña Verano 2019. c y d. Vista panorámica de la estación.**



Fuente: Elaboración propia.

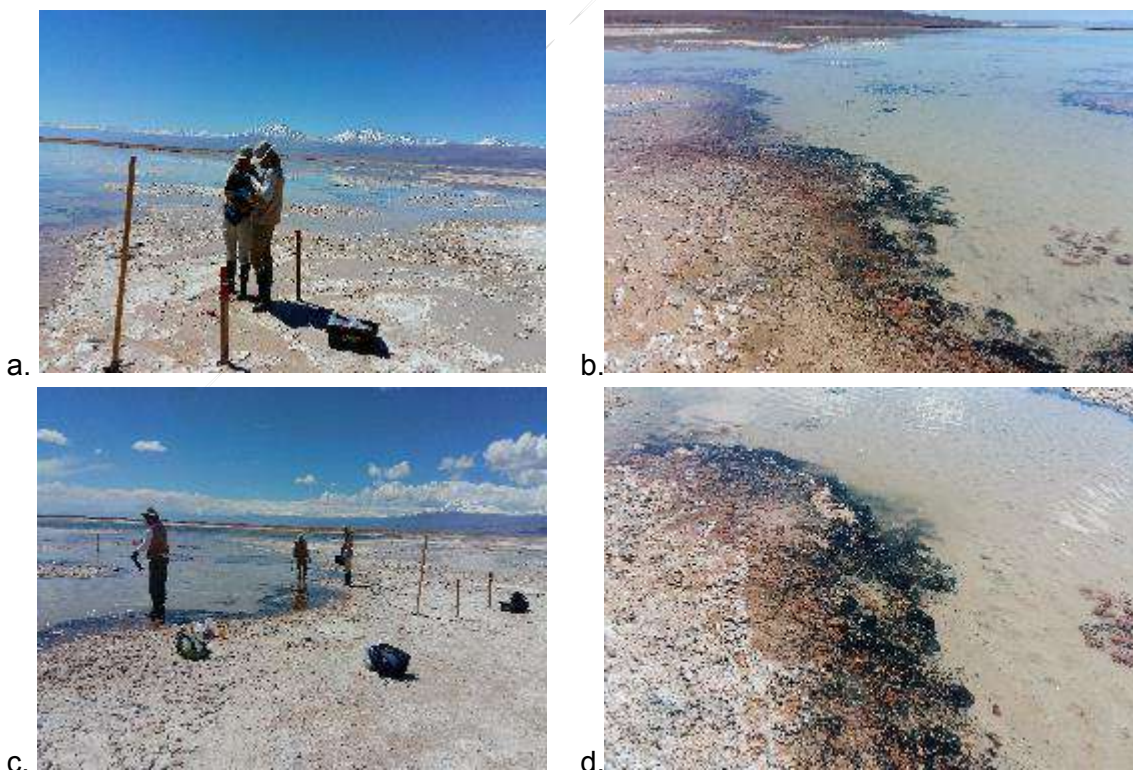
### 9.2.1.2 Sector La Punta y La Brava

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** y **Figura N° 9-1**).

- Estación LB-1

La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2311 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 268 m en invierno y verano, y de profundidad variable la que osciló entre 22,6 y 20,2 cm entre periodos de muestreo. 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 ligeramente turbias a transparentes entre periodos de muestreo. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 9-8**).

**Fotografía N° 9-8. Estación LB-1. Campaña Invierno 2018 .a. y b. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.y Campaña Verano 2019 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas.**

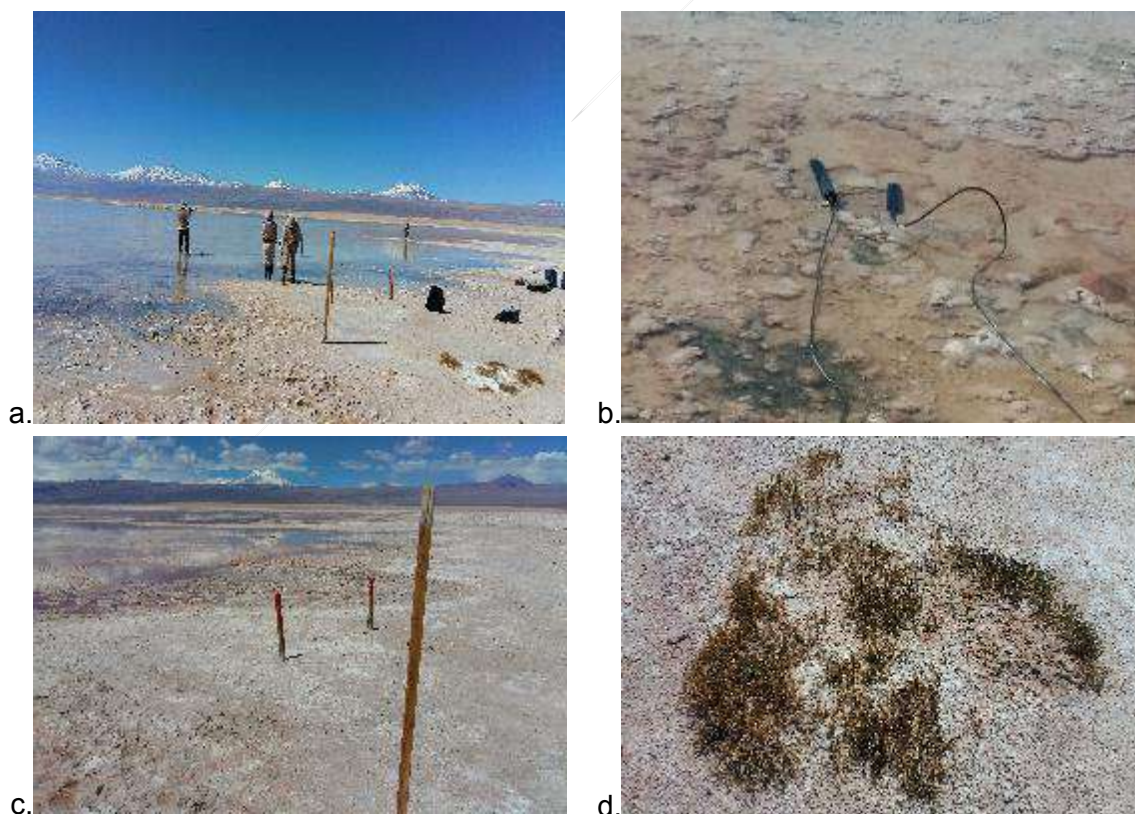


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LB-2

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2313 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 252 m en invierno y verano, y de profundidad baja la que osciló entre 9,6 y 7,0 cm entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y orgánico, con presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas transparentes entre periodos de muestreo. La estación de muestreo presentó una especie emergente correspondiente a una helófito (**Fotografía N° 9-9**). Se observó en la campaña de verano 2019, una disminución en el área del espejo de agua y en la profundidad de la laguna.

**Fotografía N° 9-9. Estación LB-2. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y costra salina. Campaña Verano 2019. c. Vista panorámica de la estación y d. Especie emergente (Helófito: *Triglochin concinna*).**



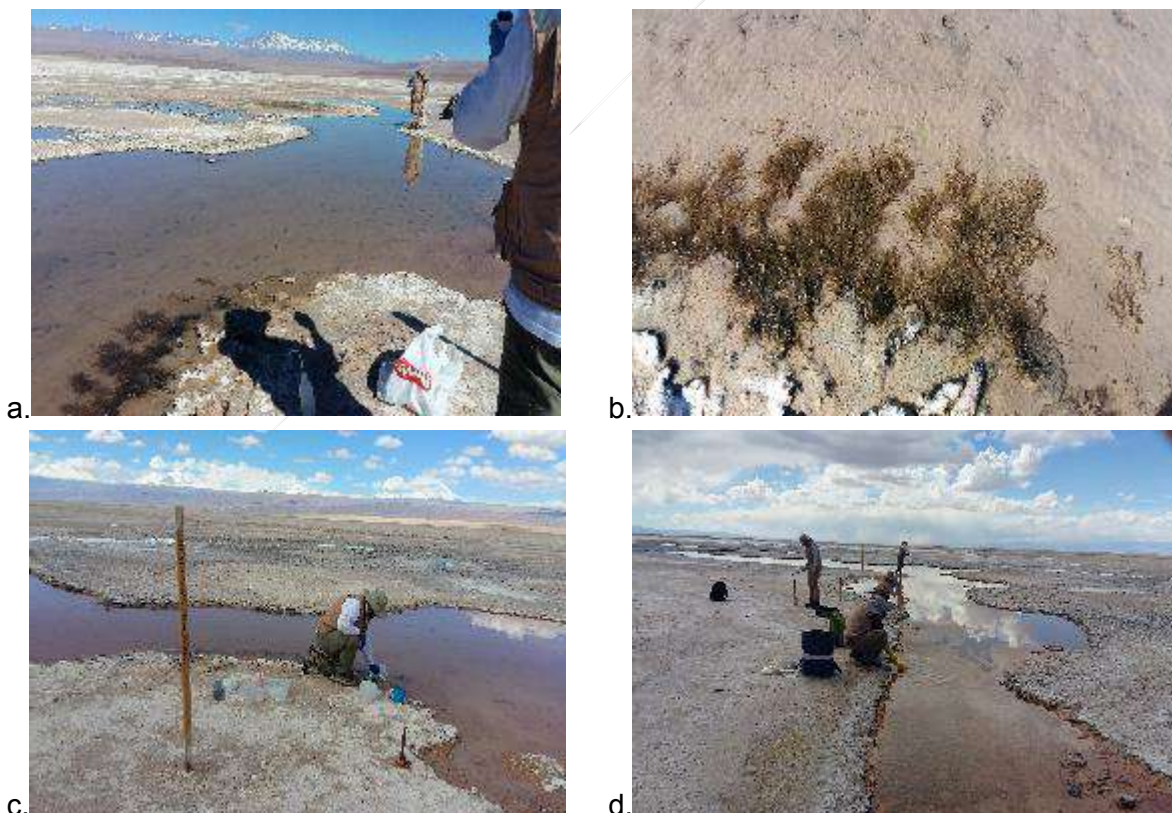
Fuente: Elaboración propia.

- Estación LB-3

La estación LB-3 se encuentra ubicada en la desembocadura de un afluente a la laguna La Brava correspondiendo a una estación de muestreo voluntaria, adicional a las comprometidas en el PMB.

La estación se ubica a una altura geográfica de 2314 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 13 m en invierno y verano, y de profundidad baja y variable la que osciló entre 7,5 y 4,2 cm entre periodos de muestreo. El tipo de sustrato corresponde a sedimento fino y orgánico, con un flujo bajo a sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó plantas acuáticas hidrófitas senescentes y en la campaña de verano 2019 se observó una disminución en el espejo de agua de la laguna y en la profundidad de la columna de agua (**Fotografía N° 9-10**).

**Fotografía N° 9-10. Estación LB-3. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófita. Campaña Verano 2019. c. y d. Vista panorámica de la estación y afluente.**

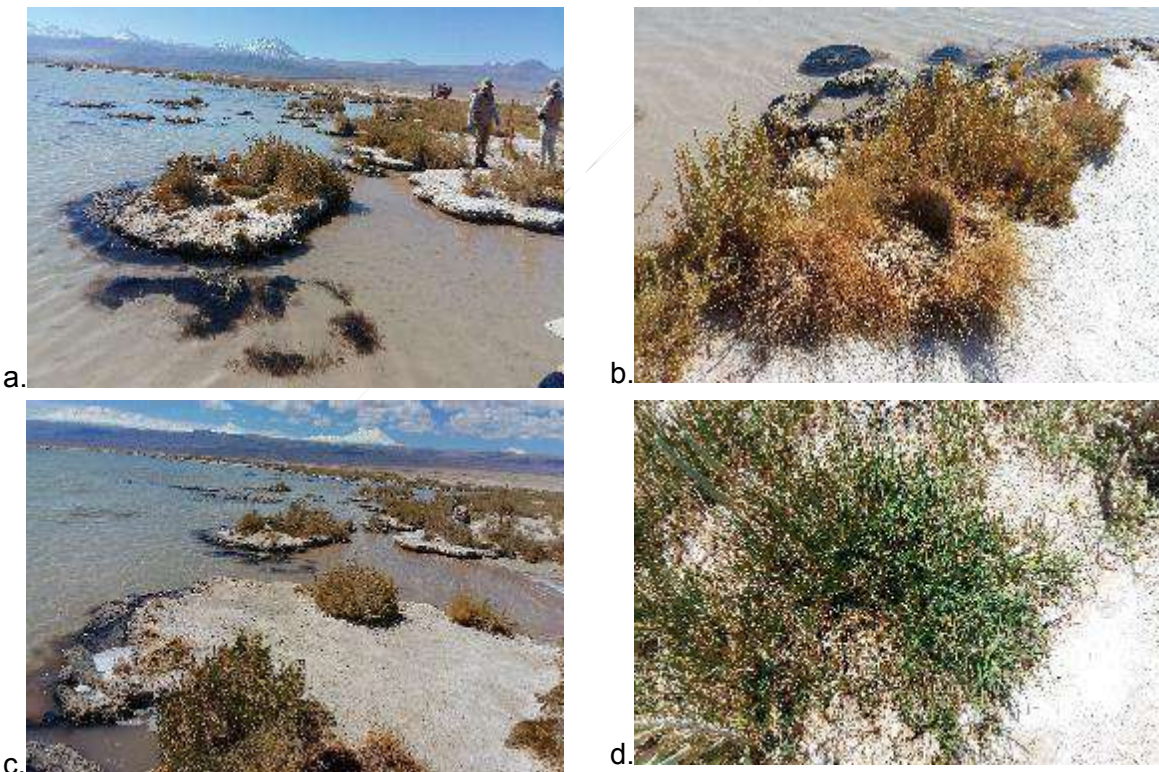


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-23

La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2308 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 140 m en invierno y verano, y de profundidad baja la que osciló entre 21,0 y 17,3 cm entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino y orgánico, aunque se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa se observó un nulo flujo en la laguna, y con aguas transparentes a ligeramente turbias en ambos periodos de muestreo. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas (*Ruppia*) y tres especies de helófitas en ribera. Presencia de microbialitos y evaporitas al interior de la laguna (**Fotografía N° 9-11**).

**Fotografía N° 9-11. Estación LP-23. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche *Sarcocornia fruticosa* y *Puccinellia frigida* (helófitas). Campaña Verano 2019. c. Vista panorámica de la estación y d. Parche helófitas *S. fruticosa*, y *T. concinna*.**

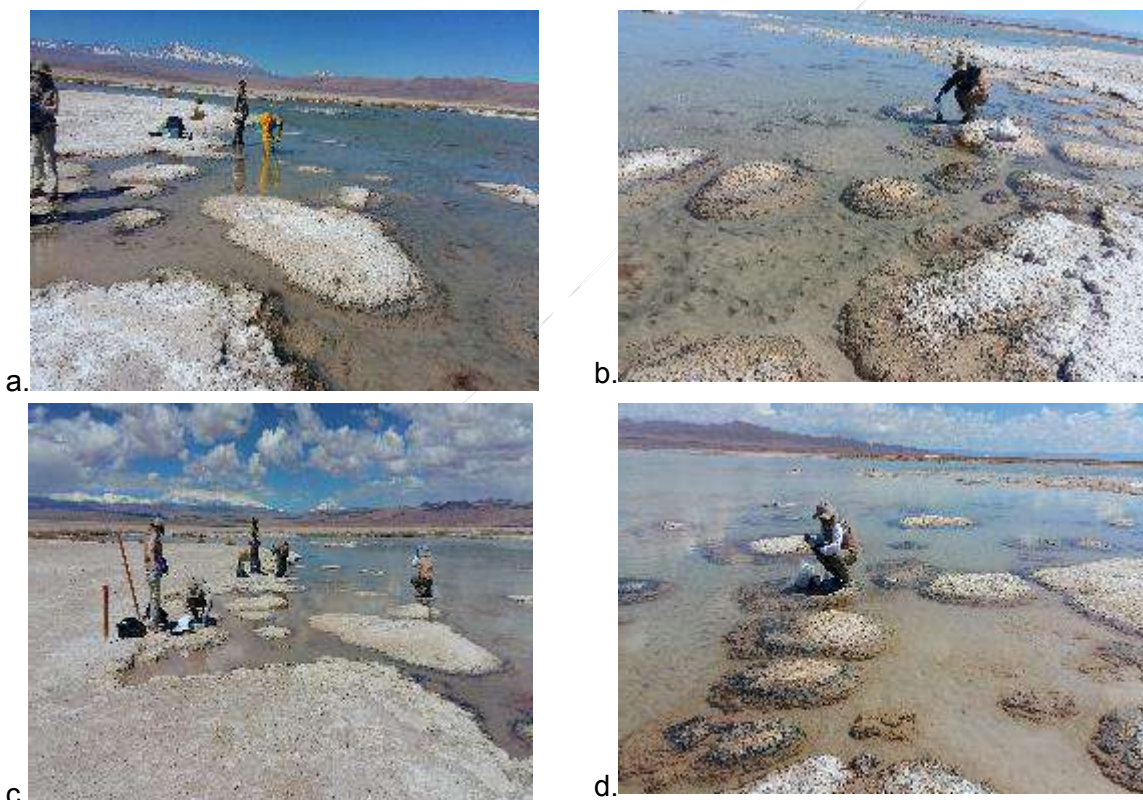


Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-24

La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2306 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 473 m en invierno y verano, y de profundidad baja y variable, la que osciló entre 21,3 y 29,0 cm entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo y con aguas transparentes en ambos periodos de muestreo. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas (*Ruppia*) y helófitas en ribera. Presencia de microbialitos y evaporitas al interior de la laguna (**Fotografía N° 9-12**).

**Fotografía N° 9-12. Estación LP-24. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino. Campaña Verano 2019. c. Vista panorámica y parche de helófitas *Sarcocornia fruticosa* en línea de costa d. Sustrato fino.**



Fuente: Elaboración propia.

### 9.2.1.3 Sector Tilopozo

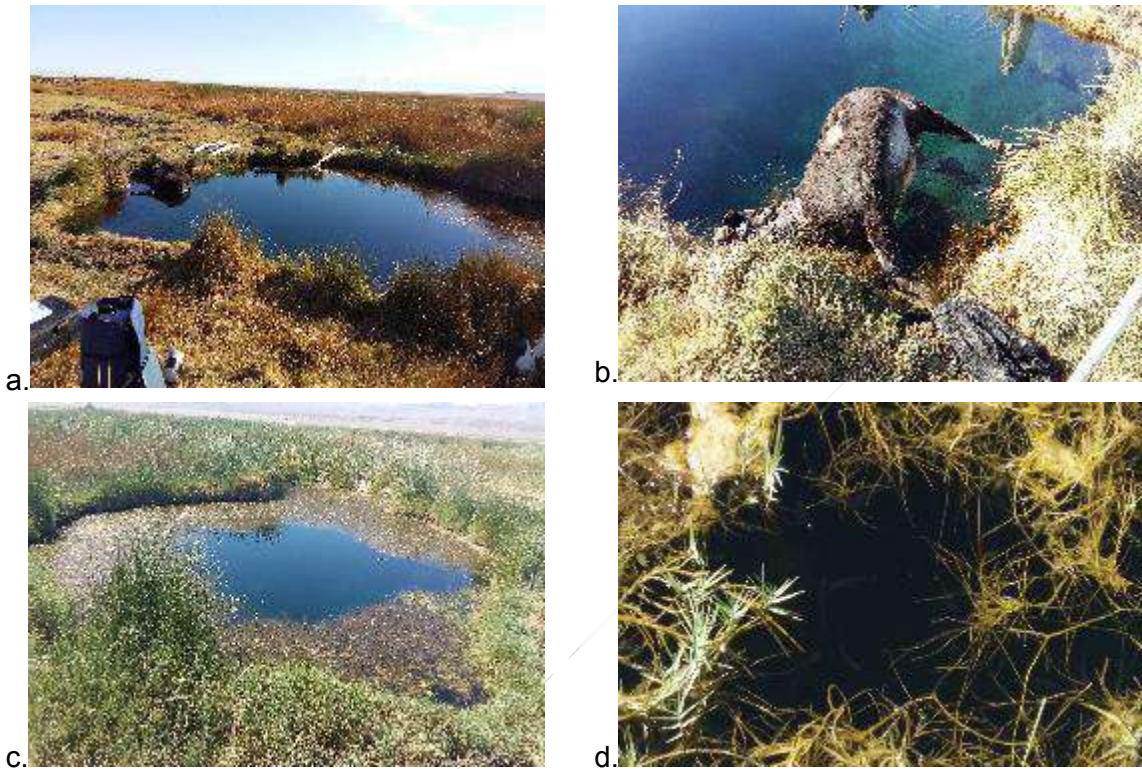
Este Sector corresponde al área denominada vegas de Tilopozo y en ella se ubican tres estaciones de muestreo, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos con pozas profundas, mientras que TB-2 corresponde a un sistema somero tipo pajonal hídrico (ver **Tabla N° 9-1** y **Figura N° 9-1**).

- Estación TB-1

La estación TB-1 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2312 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado de 9,15 m en invierno y verano, y de profundidad de 150 cm en ambos periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento fino, sin flujo, y con aguas transparentes en ambos periodos de muestreo.

Además, en esta estación se observó un canal aledaño de 97 cm de ancho; con especies emergentes (helófitas) principalmente de los géneros *Schoenoplectus* y *Distichlis* y lamas de microalgas flotantes en el canal, se observó también la presencia de peces del género *Gambusia*, taxón introducido y sin categoría de conservación según RCE (2012). Cabe destacar que, la poza presenta más de un 50% de hidrófitas sumergidas (*Zannichellia palustris*) y lamas de microalgas que crecen sobre y entre dichas plantas, condición observada en ambas campañas de muestreo (**Fotografía N° 9-13**). Por último, cabe destacar que en ambas campañas invierno y verano, se detectó ganado (burros) pastoreando el lugar y en la campaña de invierno un burro muerto dentro de la poza.

**Fotografía N° 9-13. Estación TB-1. Campaña Invierno 2018 a. Vista panorámica de la estación y b. Presencia de un burro muerto en la poza. Campaña Verano 2019 c. Vista panorámica de la estación, *Z. palustris* y lamas sobre el espejo de agua y d. Parche *Zannichellia palustris* (hidrófita) con lamas de microalgas bajo el agua.**



Fuente: Elaboración propia.



- Estación TB-2

La estación TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico, ubicado a una altura geográfica de 2312 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado de 16,3 x 22,0 m en invierno y en verano, y de profundidad de 16,3 y 6,56 cm entre periodos de muestreo. En la campaña de invierno 2018, el sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, detritos y materia orgánica particulada fina, sin flujo, y con aguas muy turbia. Respecto de la campaña de verano 2019, no fue posible en este monitoreo obtener registro, dado que la estación de monitoreo estaba completamente cubierta por plantas helófitas. Además en la presente campaña, se observó la estación de muestreo sin agua y cubierta en un 100% por especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Schoenoplectus* (**Fotografía N° 9-14**).

En la estación se observaron especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Juncus* y lamas de microalgas flotantes, también se detectó la presencia de peces del género *Gambusia*, taxón introducido y sin categoría de conservación según RCE (2012) Cabe señalar que, la campaña de invierno 2018 la estación se observaron especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Juncus* y lamas de microalgas flotantes. Cabe señalar que, en la presente campaña la estación se encontró cubierta en un 100% por especies emergentes (helófitas).

**Fotografía N° 9-14. Estación TB-2. Campaña Invierno 2018. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico y de la helófito *Schoenoplectus californicus*.**

**b. Se observó baja disponibilidad de agua. Campaña Verano 2019. c. y d. Vista panorámica de la estación 100% cubierta de *S. californicus* y sin disponibilidad de agua.**



a.



b.



Fuente: Elaboración propia.

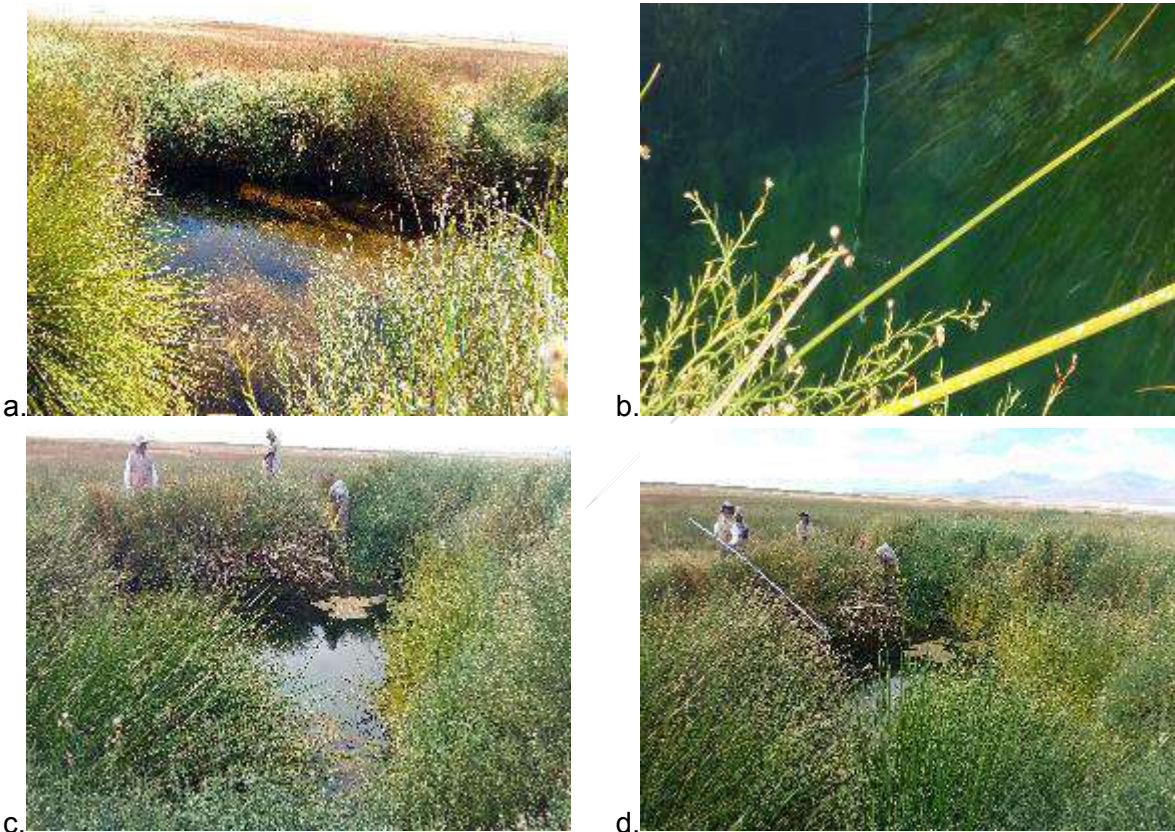
- Estación TB-3

La estación TB-3 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2312 msnm aproximadamente, con un ancho de sección aproximado de 8,22 y 7,45 m en invierno y verano, y de profundidad de 200 cm en ambos periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento fino, detrito y materia orgánica particulada fina, sin flujo, y con aguas ligeramente turbias a transparentes según el periodo de muestreo.

En la estación se detectaron especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Schoenoplectus* y la hidrófita *Zannichellia palustris*, se observó también la presencia de peces del género *Gambusia*, taxón introducido y sin categoría de conservación según RCE (2012) (Fotografía N° 9-15). En ambas campañas 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.

Cabe destacar que la estación TB-3, es una estación de carácter voluntario, adicional a las comprometidas en el PMB, debido a que permite complementar la información entregada por las otras estaciones de muestreo. En el área aledaña a esta estación se ubica una bomba de agua de Minera Albemarle.

**Fotografía N° 9-15. Estación TB-3. Campaña Invierno 2018 a. Vista panorámica de la estación, presencia de hidrófitas dentro de la poza y helófitas en la línea de costa. b. Presencia de peces del género *Gambusia*.y Campaña Verano 2019 c. Vista panorámica de la estación y d. Presencia de *Schoenoplectus californicus* en línea de costa.**



Fuente: Elaboración propia.

## 9.2.2 Resultados del muestreo campaña de invierno 2018 (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 2018 de los parámetros de calidad de agua evaluados en las diferentes estaciones por cada sector de estudio. Los certificados de laboratorio se presentan en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos\_Calidad de Agua**.

#### 9.2.2.1.1 Resultados Sector Peine

**Tabla N° 9-9. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (invierno 2018).**

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Max LB (*)	Salada		Saladita		Interna	
					S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Temperatura (**)	°C	-	4,8	33,6	6,4	10,1	13,8	19	21,9	23
pH (**)	U	-	6,13	8,6	8	8,5	8,4	8,4	8,3	8,3
Conductividad eléctrica	µS/cm	1	25350	235000	31010	41640	41640	42230	43650	47170
Salinidad	g/kg	1	8,7	66,5	15	20	20	21	21	23
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	2,34	11,2	7,2	5,4	5,2	5,1	4,6	5,5
Turbiedad	UNT	0,07	3	152	4,7	16	13	8,7	16	7,9
Clorofila "a" en Fitoplancton	ug/L	0,02	0	18,2	1,25	1,52	4,67	1,69	2,37	1,62
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m <sup>2</sup>	-	-	-	0,08	0,06	0,14	0,07	0,08	0,05
Alcalinidad Parcial (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	-	-	<3	12	<3	<3	<3	<3
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	51	1564,7	266	216	216	207	195	193
Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	91,26	1908,07	265,867	191,417	215,668	207,185	194,61	193,213
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	<5	139,54	<1	24,75	<1	<1	<1	<1
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	2	8494	194099	9818	13600	13696	13694	13975	15433
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,6	<0,15	21,2	1,1	0,7	0,8	0,7	0,8	1
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,001	0,00036	<0,5	0,001	0,004	0,002	0,001	0,002	0,001
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0,009	0,044	1,31	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	0,018	<0,009
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	<0,1	8,66	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,018	<0,01
Fósforo Total (PT)	mg/L	0,0004	<0,05	7,125	0,027	0,038	0,085	0,024	0,019	0,037
Ortofosfato (PO <sub>4</sub> )	mg/L	-	0,1	6,7	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO <sub>4</sub> -2)	mg/L	0,39	845	14970	883,9	2203,6	2009,2	2108,8	2019,8	2567,8

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Max LB (*)	Salada		Saladita		Interna	
					S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	619	<4	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en estas estaciones del sector durante toda la Línea Base. (\*\*) Parámetros registrados *in situ*. **Nota 1:** En los Informes Anuales 1 y 2 se presenta un valor máximo de LB de Clorofila "a" de 18.200 ug/L, correspondientes a 18,2 mg/L según lo reportado en el documento Anexo 2 Plan de Manejo Biótico (2015). Se actualiza la unidad y orden de valor correctos para su comparación. **Nota 2:** Los parámetros están escritos tal cual aparecen en los informes de ensayo de laboratorio.

En el sector Peine en el invierno 2018 (**Tabla N° 9-9**) los resultados en general se encuentran en los rangos propios de sistemas acuáticos salinos, es decir, alta conductividad específica (entre 31.010  $\mu\text{S/cm}$  y 47.170  $\mu\text{S/cm}$ ) y salinidades elevadas (entre 15 y 23 g/Kg) incrementándose de laguna Salada a laguna Interna, asociadas principalmente al contenido de sales como cloruros (entre 9.818 mg/L y 15.433 mg/L). Las temperaturas se presentan acorde con la profundidad de estos cuerpos de agua, oscilando entre 6,4 y 23 °C. El pH se presenta alcalino sin mayor variación entre estaciones de muestreo, obteniéndose valores entre 8,0 y 8,5, los cuales se corresponden con los obtenidos para los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato. El sulfato por su parte, tuvo valores de concentración entre 883,9 y 2.567,8 mg/L, registrándose el máximo en la estación I-17 en laguna Interna.

Respecto al oxígeno disuelto, este mostró un rango de 4,6 y 7,2 mg/L entre las estaciones del Sector Peine, la turbiedad valores entre 4,7 y 16 UNT y la clorofila "a" en fitoplancton presentó valores entre 1,25 y 4,67  $\mu\text{g/L}$ .

#### 9.2.2.1.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

**Tabla N° 9-10. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).**

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura (**)	°C	-	6,8	26,3	11	9	15,6	22,3	24,6
pH (**)	U	-	7,77	8,38	8,4	8,5	8,1	8,2	6
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	1	22300	149500	26360	34240	80110	80920	30360
Salinidad	g/kg	1	22,7	36,3	13	17	40	40	15
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	2,69	9,72	4	4,6	2,7	4,2	8,3
Turbiedad	UNT	0,07	1,3	31,4	3,1	1	1,9	4,7	6,2

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" en Fitoplancton	ug/L	0,02	0	31,9	2,78	0,24	0,25	1,02	20,9
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m <sup>2</sup>	-	-	-	0,17	<0,02	<0,02	0,02	0,64
Alcalinidad Parcial (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	-	-	<3	6	<3	<3	<3
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	268	806	361	386	410	435	293
Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	240	311,1	360,977	374,051	410,278	434,529	292,514
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	53,86	307,5	<1	11,576	<1	<1	<1
Cloruro (Cl-)	mg/L	2	12071	58199	7788	9481	26286	27230	8798
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> -)	mg/L	0,6	<0,046	0,245	0,9	1,7	2,6	3,8	0,6
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> -)	mg/L	0,001	<0,0002	<0,5	0,004	0,002	0,003	0,006	0,006
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0,009	<0,01	0,268	<0,009	0,084	0,306	0,026	0,017
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	<0,1	3,19	<0,01	0,084	0,306	0,026	0,048
Fósforo Total (PT)	mg/L	0,0004	<0,05	3,77	0,15	0,155	0,38	0,087	0,395
Ortofosfato (PO <sub>4</sub> )	mg/L	-	0,255	3,29	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO <sub>4</sub> -2)	mg/L	0,39	1385	7261	1798	1573,3	3983,8	4695,7	2864,1
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	749	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en estas estaciones del sector durante toda la Línea Base. (\*\*) Parámetros registrados *in situ*. **Nota 1:** En los Informes Anuales 1 y 2 se presenta un valor máximo de LB de Clorofila "a" de 31.900 ug/L, correspondientes a 31,9 mg/L según lo reportado en el documento Anexo 2 Plan de Manejo Biótico (2015). Se actualiza a unidad y orden de valor correctos para su comparación. **Nota 2:** Los parámetros están escritos tal cual aparecen en los informes de ensayo de laboratorio.

Los resultados de calidad de agua obtenidos durante el monitoreo de invierno 2018 para el sector La Punta y la Brava (**Tabla N° 9-10**), son propios de lagunas salinas, como alta conductividad específica (entre 26.360 y 80.920  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y elevadas salinidades (entre 13 y 40 g/Kg). La variación de estos parámetros son asociados principalmente al contenido de sales como los cloruros (entre 7.788 y 27.230 mg/L). Las estaciones LB-1 y LB-2 (Laguna La Brava) presentan el mayor contenido de sales comparado con el resto de las estaciones monitoreadas, indicado por los altos valores de conductividad específica, salinidad, cloruro y sulfato. La estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de la Laguna La Brava, mostró valores menores de los parámetros relacionados a la conductividad y las sales en comparación a LB-1 y LB-2, pero sin dejar de ser salina (conductividad de 30.360  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y salinidad de 15 g/Kg). En el caso de Laguna La Punta, también se obtuvieron conductividades y salinidades altas, con valores entre 26.360 y 34.240  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 13 y 17 g/Kg, respectivamente.

Las altas temperaturas estuvieron acorde con la profundidad de estos cuerpos de agua (9,0 a 24,6 °C) y un pH por lo general alcalino (a excepción de la estación LB-3) con

valores que son correspondientes con los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato.

El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 2,7 y 8,3 mg/L, observándose el mayor valor en LB-3 (afluente de La Brava). La turbiedad mostró un rango variable entre 1,0 y 6,2 UNT y la clorofila "a" en fitoplancton mostró un rango amplio con valores que oscilaron entre 0,24 y 20,9 µg/L (mayor en LB-3). Los compuestos nitrogenados (nitrito, amoniaco y NKT), se observaron iguales o menores a 0,306 mg/L, incluso algunos se encontraron bajo el límite de detección. En el caso del nitrato este presentó valores sobre 2,5 mg/L en LB-1 y LB-2. Respecto al fósforo total su concentración máxima fue de 0,395 mg/L y en el caso del sulfato, los valores fluctuaron entre 1.573,3 y 4.695,7 mg/L, observándose las mayores concentraciones de estos parámetros en LB-1 y LB-2.

#### 9.2.2.1.3 Resultados Sector Tilopozo

**Tabla N° 9-11. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (invierno 2018).**

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Temperatura (*)	°C	-	24,9	6,7	25,3
pH (*)	U	-	7	7,7	7,1
Conductividad eléctrica	µS/cm	1	4291	4481	4206
Salinidad	g/kg	1	2	2	2
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	2,9	4,8	3,2
Turbiedad	UNT	0,07	1,1	35	2,1
Clorofila "a" en Fitoplancton	ug/L	0,02	<0,02	47,22	15,69
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m <sup>2</sup>	-	<0,02	1,43	0,95
Alcalinidad Parcial (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	<3	<3	<3
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	348	381	351
Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	345,009	380,737	350,897
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	<1	<1	<1
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	2	1326	1286	1252
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,6	4,2	<0,6	4,4
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,001	0,002	0,008	0,007
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0,009	0,03	0,025	0,04
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	0,03	0,025	0,04

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Fósforo Total (PT)	mg/L	0,0004	0,128	0,206	0,124
Ortofosfato (PO <sub>4</sub> )	mg/L	-	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO <sub>4</sub> -2)	mg/L	0,39	268	307	321,1
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (\*) Parámetros registrados *in situ*. **Nota:** Los parámetros están escritos tal cual aparecen en los informes de ensayo de laboratorio.

El sector de Tilopozo no posee registros de línea de base dentro del Plan de Monitoreo Biótico, por lo que los resultados no los incluyen. Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo en invierno 2018 (**Tabla N° 9-11**), muestran un sistema de vegas en general mucho menos salino que los otros sectores, con valores más bajos en conductividad (entre 4.206 y 4.481  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), salinidad (2 g/Kg) y cloruro (1.252 a 1.326 mg/L). El pH fue neutro (7,0 a 7,7), correspondiente con los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato. Las temperaturas fueron altas para TB-1 y TB-3 (24,9 y 25,3 °C, respectivamente) y baja para TB-2 (6,7 °C).

El oxígeno disuelto en este sector presentó valores en concentración entre 2,9 y 4,8 mg/L, siendo mayores en TB-1 y TB-3, lo cual se corresponde en general con las altas temperaturas que permiten una menor solubilidad de gases. Por otro lado, la turbiedad mostró un rango de valores entre 1,1 y 35 UNT y la clorofila “a” en fitoplancton presentó un rango amplio de valores entre <0,02 y 47,22  $\mu\text{g}/\text{L}$ .

Por su parte el nitrato fluctuó entre <0,6 y 4,4 mg/L (mayor en TB-1 y TB-3), mientras que el resto de los compuestos nitrogenados (nitrito, amoníaco y NKT), tuvieron valores iguales o menores a 0,04 mg/L. En el caso del fósforo, las concentraciones oscilaron entre 0,124 y 0,206 mg/L, los valores de ortofosfato fueron todos menores a 0,5 mg/L, mientras que el sulfato varió entre 268 y 321,1 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 2018. Los informes de ensayo de laboratorio respectivos, se presentan en el **Anexo Limnología\_Sedimentos**.



## 9.2.2.2.1 Resultados Sector Peine

En la **Tabla N° 9-12**, se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2018 del Sector de Peine.

**Tabla N° 9-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (invierno 2018).**

Parámetro	Unidad	LD	Min LB (*)	Máx LB (*)	Salada		Saladita		Interna	
					S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	3	43	64,0	62,2	71,0	56,5	77,4	62,4
Fósforo Total (P)	mg/Kg	0,5	34	78	246,97	277,21	186,34	178,55	148,12	28,47
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	0,149	5,355	3,9	2,1	4,7	1,2	3,2	1,6
Materia Orgánica	%	0,28	0,5	7,4	11,04	10,72	12,25	9,74	13,35	10,76
Potencial Redox	mV	-	-160	46,4	-355,4	-345,8	-356,4	-190,1	-334,6	-267,3

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector en verano 2015, que fue la única campaña de la Línea Base donde se analizaron sedimentos. LD: Límite de detección.

La concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica en los sedimentos variaron de 56,5 a 77,4 g/Kg y de 9,7 a un 13,4 %, respectivamente, registrándose los valores más altos en la estación I-11 (laguna Interna). Estos parámetros variaron de manera similar entre las estaciones, al igual que el nitrógeno total Kjeldahl contenido en los sedimentos, variando de 1,2 a 4,7 g/Kg, pero en este caso con su máximo registro en SA-25 (laguna Saladita). Respecto al fósforo total, este osciló entre 28,5 y 277,2 mg/Kg, observándose una disminución en la concentración de este parámetro desde laguna Salada a laguna Interna. Referente al potencial óxido-reducción, los valores registrados muestran que en todas las estaciones se presentaron sedimentos con características reductoras con valores entre -356,4 y -190,1 mV.

Respecto de los análisis granulométricos del sector de Peine en invierno 2018 (**Tabla N° 9-13**), los resultados mostraron que el diámetro medio de grano obtenido, estuvo comprendido entre *arena fina* y *arena media* (de 0,232 a 0,382 mm de diámetro medio estimado), con un grado de selección de *Pobrementemente seleccionado* a *Muy pobrementemente seleccionado*. Tales grados de selección implican que la composición granulométrica de los sedimentos presentó varios tipos de tamaño de arena y limo, pero principalmente *arena fina* a *arena media* en Laguna Salada y Laguna Saladita y con *arena media* de mayor diámetro en Laguna Interna.

**Tabla N° 9-13: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Peine (invierno 2018).**

Estación	Diámetro medio		Grado de selección	
	(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
S-5	0,287	Arena Media	0,0043	Muy pobremente seleccionado
S-9	0,287	Arena Media	0,0036	Pobremente seleccionado
SA-25	0,232	Arena Fina	0,0060	Muy pobremente seleccionado
S-10	0,279	Arena Media	0,0041	Muy pobremente seleccionado
I-11	0,382	Arena Media	0,0043	Muy pobremente seleccionado
I-17	0,318	Arena Media	0,0033	Pobremente seleccionado

Fuente: Elaboración propia.

## 9.2.2.2.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 9-14** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para campaña invierno 2018 del Sector de La Punta – La Brava.

**Tabla N° 9-14. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).**

Parámetro	Unidad	LD	Min LB	Max LB	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	22	48	68,3	79,2	89,3	74,0	126,3
Fosforo Total (P)	mg/Kg	0,5	8	55	115,94	118,56	148,21	73,8	169,3
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	1,596	6,351	4,25	5,1	5,2	4	4,5
Materia Orgánica	%	0,28	3,9	8,2	11,78	13,66	15,39	12,75	21,77
Potencial Redox	mV	-	-161,6	-61	-324,6	-378,4	-361,8	-371,4	-373,8

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector en verano 2015, que fue la única campaña de la Línea Base donde se analizaron sedimentos. LD: Límite de detección.

La concentración de carbono orgánico total y el porcentaje de materia orgánica variaron de 68,3 a 126,3 g/Kg y de 11,8 a un 21,8%, respectivamente, registrándose los valores más altos en la estación LB-3 (La Brava) y los más bajos en la estación LP-23 (La Punta). Por su parte el nitrógeno total Kjeldahl presentó su valor máximo y mínimo en la laguna La Brava (5,2 g/Kg en LB-1 y 4 g/Kg en LB-2). Respecto al fósforo total, este varió entre 73,8 y 169,3 mg/Kg, observándose 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

valores que indican un ambiente reductor en los sedimentos con valores entre -378,4 y -324,6 mV.

Respecto a la granulometría (**Tabla N° 9-15**), en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos tanto en LP-23 como en LP-24, correspondieron a *arena fina* (entre 0,212 y 0,227mm, respectivamente), con un grado de selección *Muy pobremente seleccionado* en ambos casos. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano estuvo comprendido de *arena media* (0,285 mm) a *arena muy gruesa* (1,01 mm), con grados de selección en todas las estaciones de *Pobremente seleccionado*.

**Tabla N° 9-15: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).**

Estación	Diámetro medio		Grado de selección	
	(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
LP-23	0,212	Arena Fina	0,0044	Muy pobremente seleccionado
LP-24	0,227	Arena Fina	0,0050	Muy pobremente seleccionado
LB-1	1,010	Arena Muy Gruesa	0,0031	Pobremente seleccionado
LB-2	0,923	Arena Gruesa	0,0032	Pobremente seleccionado
LB-3	0,285	Arena Media	0,0040	Pobremente seleccionado

Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.2.2.3 Resultados Sector Tilopozo

**Tabla N° 9-16. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (invierno 2018).**

Parámetro	Unidad	LD	TB-1	TB-2	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	119,4	288,5	67,0
Fosforo Total (P)	mg/Kg	0,5	794,26	896,11	649,75
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	7	11,2	3,4
Materia Orgánica	%	0,28	20,59	49,74	11,55
Potencial Redox	mV	-	-299,6	-302,9	-321,7

Fuente: Elaboración propia. LD: Límite de detección.

Los resultados de calidad en sedimentos de la campaña invierno 2018 en el Sector Tilopozo (**Tabla N° 9-16**) mostraron valores de carbono orgánico total (COT) de 67 a 288,5 g/Kg y de materia orgánica de 11,6 a un 49,7%, siendo los más altos los registrados en TB-2. El fósforo total presentó altos registros con valores entre 896,1 mg/Kg (TB-2) y 649,8 mg/Kg (TB-3). El nitrógeno total Kjeldahl, por su parte, varió entre 3,4 (TB-3) y 11,2

g/Kg (TB-2) y el potencial Redox en todas las estaciones indicó que los sedimentos presentan características reductoras con valores entre -321,7 y -299,6 mV.

Los resultados granulométricos para el sector de Tilopozo en esta campaña (**Tabla N° 9-17**), muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones correspondieron a *arena fina* en TB-1 y TB-3 (0,150 y 0,236 mm, respectivamente) y a *arena media* en TB-2 (0,367 mm), con grados de selección de *Pobrementemente seleccionado* a *Muy pobrementemente seleccionado*.

**Tabla N° 9-17: Resultados granulométricos de los Sedimentos en Sector Tilopozo (invierno 2018).**

Estación	Diámetro medio		Grado de selección	
	(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
TB-1	0,150	Arena Fina	0,0041	Muy pobrementemente seleccionado
TB-2	0,367	Arena Media	0,0044	Muy pobrementemente seleccionado
TB-3	0,236	Arena Fina	0,0037	Pobrementemente seleccionado

Fuente: Elaboración propia.

### 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 2018 estuvo compuesta por 19 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 8 géneros en la estación I-17 y 12 géneros en las estaciones S-5 y S-9 respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas en Peine, fluctuó entre 959,4 cel/cm<sup>2</sup> en S-10 (laguna Saladita) y 10635,0 cel/cm<sup>2</sup> en SA-25 (laguna Saladita) (**Tabla N° 9-18**).

La comunidad que presentó una diversidad mayor es la estación S-10 con 2.01 nits/ind, ubicada en la laguna Saladita, mientras que en la estación de Interna (I-17), se registró el menor valor de diversidad con 0,85 nits/ind (**Tabla N° 9-18**). Respecto de la equidad, se

observó que el mayor valor lo presentó la estación S-10 y el menor la estación SA-25 (laguna Saladita).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2018, se observó que las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Navicymbula*; *Nitzschia* y *Navicula* (Figura N° 9-2).

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector Peine para la campaña invierno 2018.

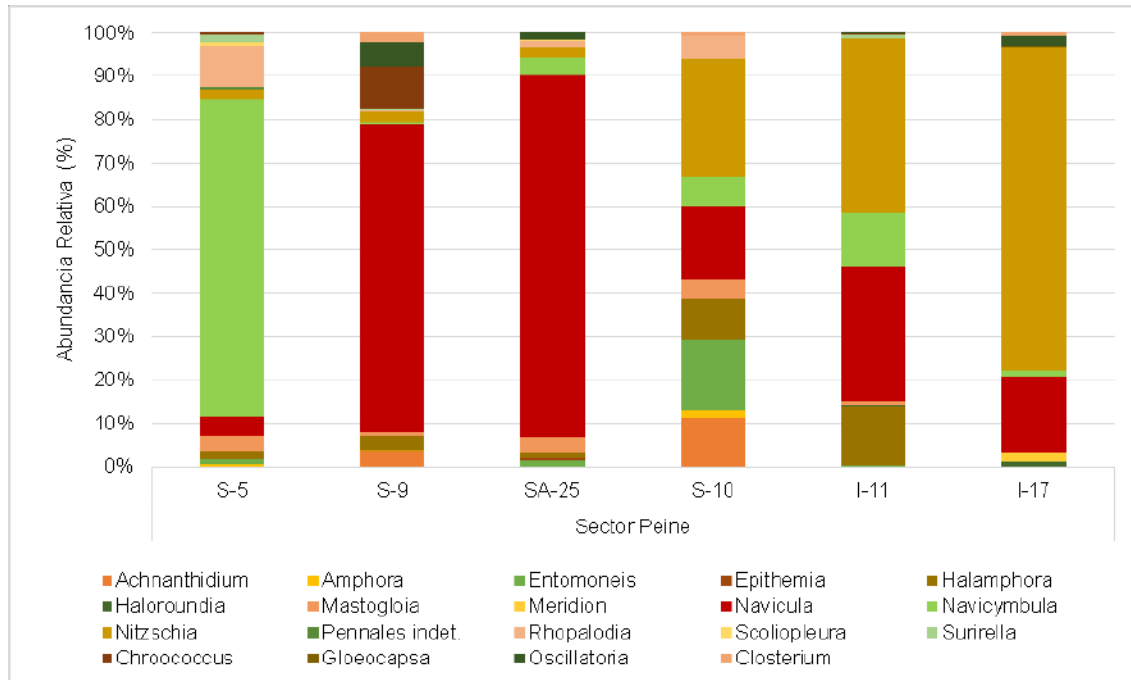
**Tabla N° 9-18. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2018).**

Clase	Orden	Familia	Géneros	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnanthesiaceae	<i>Achnantheidium</i>		244,8		108,2		
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	10,5	17,5	17,6	16,6		
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	23,5		142,4	155,2	20,6	
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Epithemia</i>			54,5			
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	32,8	227,3	103,8	91,5	676,0	
	Mastogloiales	Achnanthesiaceae	<i>Haloroundia</i>					20,6	34,1
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	70,6	75,6	388,9	43,8	61,3	
	Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Meridion</i>						59,4
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	86,5	5020,4	8902,3	161,0	1567,4	510,9
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Navicymbula</i>	1404,5	41,4	409,9	63,6	635,6	42,1
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	44,6	179,1	276,2	260,1	2050,7	2181,0
	Pennales		Pennales indet.	8,7					
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	187,0	20,7	142,4	51,2		
Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>	16,1		33,4				
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	31,0	18,9			30,9		
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	8,7	684,0			20,6	
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>						6,8
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>		391,5	163,5		10,2	69,4
Conjugatophyceae	Desmidiiales	Closteriaceae	<i>Closterium</i>		160,2		8,3		20,4
<b>Límites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Inv-18</b>					
<b>Abundancia total (cel/cm<sup>2</sup>)</b>		<b>46,8</b>	<b>61190,4</b>	<b>1924,5</b>	<b>7081,4</b>	<b>10635,0</b>	<b>959,4</b>	<b>5093,8</b>	<b>2924,1</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>2</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>8</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,11</b>	<b>1,16</b>	<b>0,77</b>	<b>2,01</b>	<b>1,42</b>	<b>0,85</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,45</b>	<b>0,47</b>	<b>0,32</b>	<b>0,87</b>	<b>0,62</b>	<b>0,41</b>

Fuente: Elaboración propia. LB: Línea base. (\*)Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor mínimo de LB corresponde a 46,8 cel/cm<sup>2</sup> considerando campañas de invierno y verano LB, y no al presentado en el Informe Anual 2, con un valor de 13 cel/cm<sup>2</sup>. Respecto del valor máximo corresponde a 61190,4 cel/cm<sup>2</sup> y no a 6787 cel/cm<sup>2</sup>. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.



**Figura N° 9-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (invierno 2018).**



Fuente: Elaboración propia

#### 9.2.2.3.1.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de invierno 2018 estuvo compuesta por 24 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 6 y 14 géneros en las estaciones LB-1 (laguna La Brava) y en LP-23 (laguna La Punta) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 117,1 cel/cm<sup>2</sup> en LP-23 (laguna La Punta) y 1.126,7 cel/cm<sup>2</sup> en LB-1 (laguna La Brava) (**Tabla N° 9-19**).

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-1), se registró los menores valores de dichos parámetros (**Tabla N° 9-19**).

El gráfico de abundancia relativa (**Figura N° 9-3**), presenta los *taxa* dominantes durante la campaña de invierno 2018, en él se observa que las mayores representatividades estuvieron representadas por las diatomeas *Amphora*, *Navicula* y *Nitzschia*, además de la cianofícea *Oscillatoria*.

Al observar la abundancia por clase, se observa que la clase ampliamente dominante en el fitobentos en la campaña de invierno 2018 corresponde a Bacillariophyceae.

**Tabla N° 9-19. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros.  
Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).**

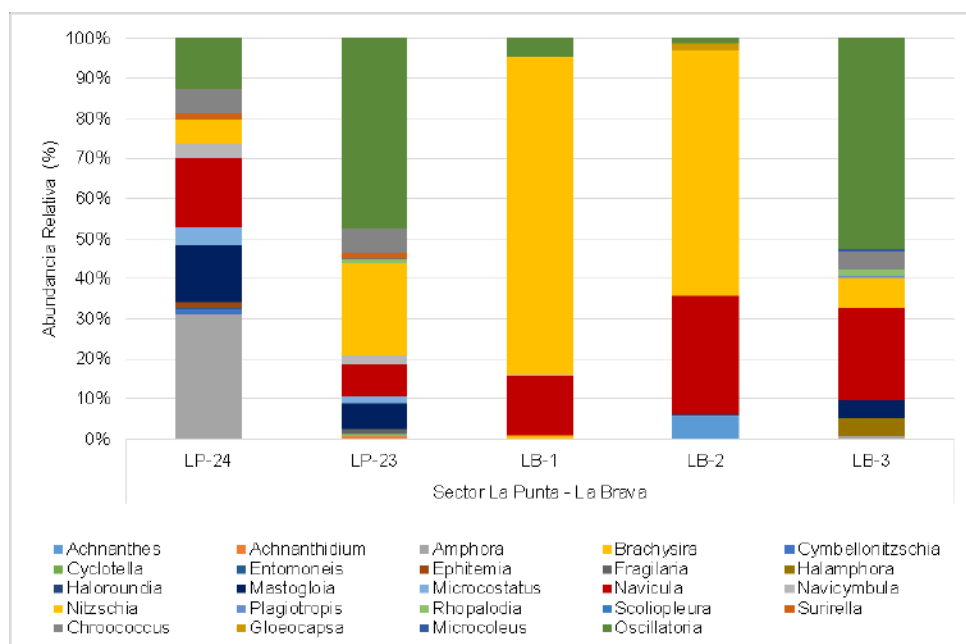
Clase	Orden	Familia	Géneros	Estaciones				
				Sector La Punta - La Brava				
				LP-24	LP-23	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Achnanthes</i>				51,1	
	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Achnantheidium</i>		0,9			0,6
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	180,1	0,6	0,5	2,1	1,5
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>			8,4		
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cymbellonitzschia</i>	6,1				
	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>		0,3			
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	2,0				
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Ephitemia</i>	8,1				
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>		1,2			
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>					14,3
	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Haloroundia</i>				2,1	
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	82,5	7,2			13,9
	Naviculales	Naviculales incertae sedis	<i>Microcostatus</i>	25,2	2,1			
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	99,6	9,4	170,5	258,3	71,6
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Navicymbula</i>	21,2	2,5	0,5		0,3
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	33,3	27,3	893,9	540,6	23,1
	Naviculales	Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>					1,5
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>		0,8			4,6
	Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>		0,4			
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	10,1	1,5			0,3	
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	35,2	7,2			14,2
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>				15,2	
	Oscillatoriales	Microcoleaceae	<i>Microcoleus</i>					1,5
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	72,5	55,6	52,9	11,2	163,5
	<b>Límites LB (*)</b>	<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Inv-18</b>				
	<b>Abundancia total (cel/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>15,8</b>	<b>88792,8</b>	<b>575,8</b>	<b>117,1</b>	<b>1126,7</b>	<b>880,6</b>	<b>311,1</b>
	<b>Riqueza de géneros (S)</b>	<b>5</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>13</b>
	<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2,00</b>	<b>1,63</b>	<b>0,66</b>	<b>0,98</b>	<b>1,46</b>
	<b>Equidad (J')</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,80</b>	<b>0,62</b>	<b>0,37</b>	<b>0,50</b>	<b>0,57</b>

Fuente: Elaboración propia. LB: Línea base. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor máximo de LB corresponde a 88.792,8 cel/cm<sup>2</sup>, considerando campañas de invierno y verano LB, y no a los presentados en el Informe



Anual 2 con un valor de 2673 cel/cm<sup>2</sup>. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

**Figura N° 9-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.2.3.1.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 12 géneros. La riqueza por estación fluctuó entre 3 géneros en TB-3, y 9 géneros en TB-1. Respecto a las abundancias registradas en las estaciones TB-1, TB-2 y TB-3 presentaron una abundancia similar, las que oscilaron entre los 543,4; 670,7 y 773,7 cel/cm<sup>2</sup> respectivamente (**Tabla N° 9-20**). Los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fueron mayores en la estación TB-1.

En la **Figura N° 9-4**, se puede observar que los *taxa* dominantes, correspondieron a las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula* las que presentaron las mayores abundancias relativas entre las estaciones evaluadas.

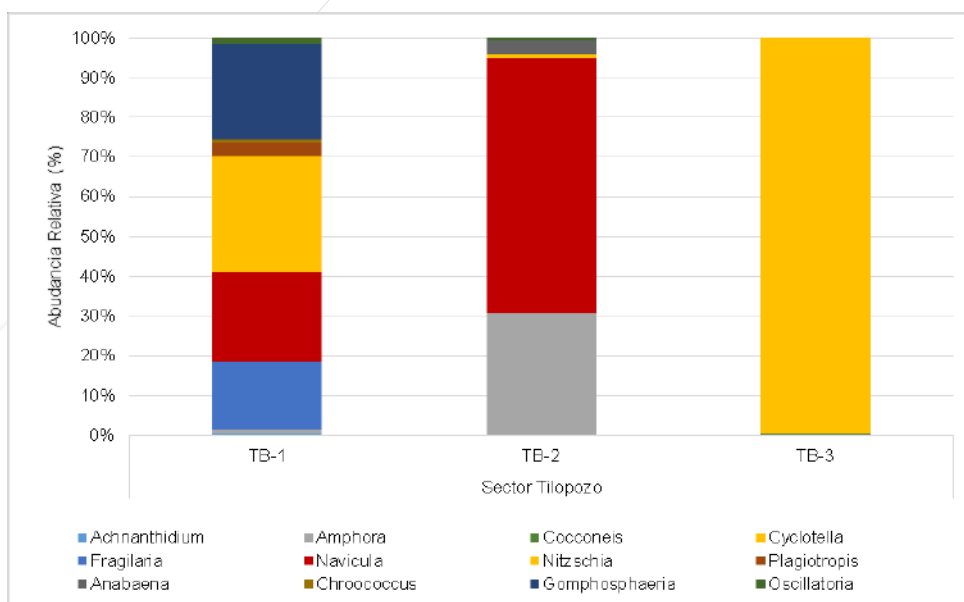
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las vegas de Tilopozo.

**Tabla N° 9-20. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (invierno 2018).**

Clase	Orden	Familia	Géneros	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Achnanthidium</i>	2,5		
	Thalassiophysales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	7,8	166,8	
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>			3,9
	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>			7,5
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	114,0		
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	151,1	348,7	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	196,2	5,6	762,4
	Naviculales	Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>	23,1		
Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>		18,8	
	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	5,0		
	Chroococcales	Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>	160,6		
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	10,3	3,4	
<b>Abundancia total (cel/cm²)</b>				<b>670,7</b>	<b>543,4</b>	<b>773,7</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>				<b>9</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>1,63</b>	<b>0,84</b>	<b>0,09</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,74</b>	<b>0,52</b>	<b>0,08</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 9-4. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (invierno 2018).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.2.3.2 Fitoplancton

Corresponde a la comunidad de microalgas fotosintetizadoras que se hallan en suspensión en las aguas y que puede ser delimitada ecológicamente y fisiológicamente (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 2018 estuvo compuesta por 10 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 3 y 8 géneros en las estaciones I-17 (laguna Interna) y S-9 (laguna Salada) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas planctónicas, fluctuó entre 111,1 cel/mL en S-10 (laguna Saladita) y 388,8 cel/mL en S-9 (laguna Salada) (**Tabla N° 9-21**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación S-5, ubicada en la laguna Salada con 1,55 nits/ind. En cambio, la menor diversidad fue observada en la estación I-17 (laguna Interna) con 0,36 nits/ind. Para la equidad se observó el mayor registro en la estación S-5, en cambio, la menor fue observada en la estación I-17 (**Tabla N° 9-21**).

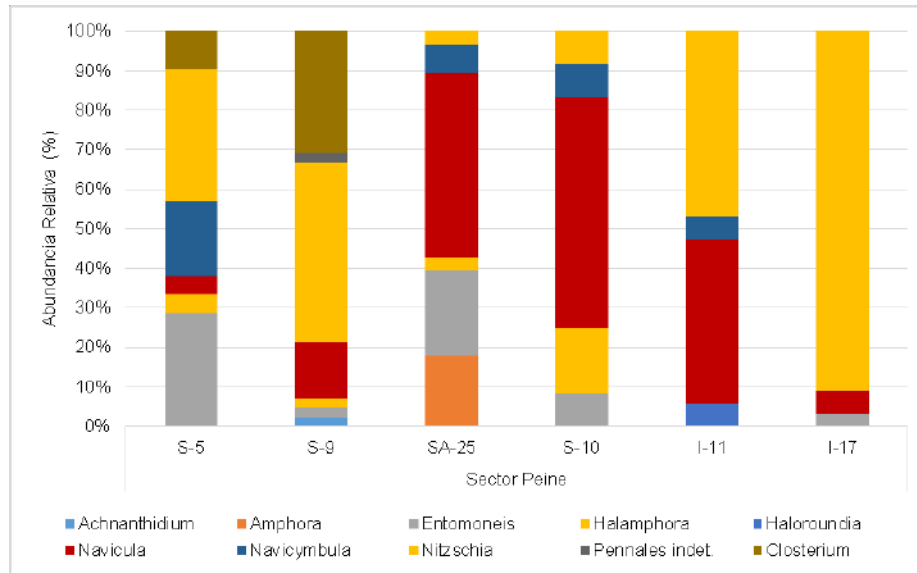
Respecto de la abundancia relativa (**Figura N° 9-5**), se observó que los *taxa* dominantes o con mayores representatividades registradas durante la campaña de invierno 2018, correspondieron a las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula*.

En este sector la clase Bacillariophyceae es ampliamente dominante, respecto de la clase Conjugatophyceae en la campaña de invierno 2018 para el fitoplancton.

**Tabla N° 9-21. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (invierno 2018).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnanthiacea e	<i>Achnanthidium</i>		9,3				
	Thalassiosiphysales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>		0,2	46,3			
	Surirellales	Entomoneidacea e	<i>Entomoneis</i>	55,6	9,3	55,6	9,3		9,3
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	9,3	9,1	9,3	18,5		
	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Haloroundia</i>					9,3	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	9,3	55,6	120,4	64,8	64,8	18,5
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Navicymbula</i>	37,0		18,5	9,3	9,3	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	64,8	175,9	9,3	9,3	74,1	277,8
	Pennales			9,3					
Conjugatophyceae	Desmidiaceae	Closteriaceae	<i>Closterium</i>	18,5	120,4				
<b>Límites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Inv-18</b>					
<b>Abundancia total (cel/mL)</b>		<b>29</b>	<b>8120,6</b>	<b>194,4</b>	<b>388,8</b>	<b>259,3</b>	<b>111,1</b>	<b>157,4</b>	<b>305,6</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>4</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,55</b>	<b>1,36</b>	<b>1,42</b>	<b>1,23</b>	<b>1,05</b>	<b>0,36</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,87</b>	<b>0,65</b>	<b>0,79</b>	<b>0,77</b>	<b>0,76</b>	<b>0,33</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor consignado para Abundancia Total como mínimo en la LB corresponde a 29 cel/mL, y no a 90 cel/mL, como se indicó en el Informe Anual 2. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

**Figura N° 9-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (invierno 2018).**

Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.2.3.2.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de invierno 2018 presentó 16 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 3 y 12, observado en las estaciones LB-1 y LB-3 (laguna La Brava) respectivamente, las estaciones LP-23 y LP-24 (laguna La Punta) presentaron valores intermedios. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 185,2 cel/mL en LB-1 (laguna La Brava) y 1.073,3 cel/mL en LB-3 (laguna La Brava), las estaciones ubicadas en la laguna La Punta (LP-23 y LP-24) presentaron valores intermedios de abundancia (**Tabla N° 9-22**).

La comunidad presentó una diversidad y equidad mayor en la estación LB-3 (laguna La Brava), mientras que en las estaciones LB-1 y LB-2 ubicadas en la laguna La Brava, se registraron los menores valores de dichos parámetros. Respecto de la laguna La Punta, presentaron valores intermedios de diversidad y equidad (**Tabla N° 9-22**).

El gráfico de abundancia relativa (**Figura N° 9-6**), permite observar que los *taxa* dominantes o mayores representatividades registrados durante la campaña de invierno 2018, correspondieron a las diatomeas *Nitzschia* y *Cymbellonitzschia*.

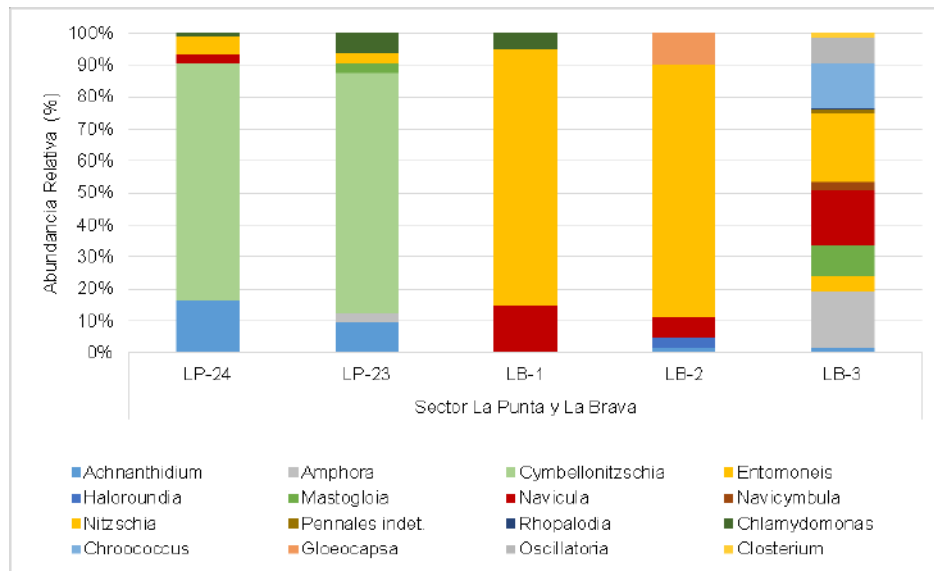
En este sector la clase Bacillariophyceae fue ampliamente dominante, respecto de las clases Chlorophyceae y Conjugatophyceae en la campaña de invierno 2018 para el fitoplancton.

**Tabla N° 9-22. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).**

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>Achnanthidium</i>	111,1	27,8		9,3	18,5
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>		9,3			185,2
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cymbellonitzschia</i>	509,3	222,2			
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>					55,6
	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Haloroundia</i>				18,5	
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>		9,3			101,9
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	18,5		27,8	37	185,2
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Navicymbula</i>					27,8
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	37	9,3	148,1	458,3	230,8
				Pennada indet.				
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	Rhopalodia					9,3
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>	9,3	18,5	9,3		
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>					148,1
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>				55,6	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>					83,3
Conjugatophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	<i>Closterium</i>					18,5
<b>Límites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Inv-2018</b>				
<b>Abundancia total (cel/mL)</b>		<b>23,9</b>	<b>10110,4</b>	<b>685,2</b>	<b>296,3</b>	<b>185,2</b>	<b>578,7</b>	<b>1073,3</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>6</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>12</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,83</b>	<b>0,94</b>	<b>0,61</b>	<b>0,76</b>	<b>2,1</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,52</b>	<b>0,52</b>	<b>0,56</b>	<b>0,47</b>	<b>0,85</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor consignado como máximo de riqueza LB de 14 géneros, y no de 12, como se indicó en el Informe Anual 2. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

**Figura N° 9-6. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.2.3.2.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 9 géneros. La riqueza por estación fluctuó entre un género en TB-3, y 9 géneros en TB-2. Respecto a las abundancias registradas en las estaciones TB-1 y TB-3 presentaron una abundancia similar, entre los 44,2 y 55,0 cel/mL, mientras que TB-2 presentó una abundancia mucho mayor de 3825,3 cel/mL (**Tabla N° 9-23**). Los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fueron mayores en la estación TB-2 y TB-1 respectivamente. La estación TB-3 presentó un género por lo que no aplica el cálculo de diversidad y equidad.

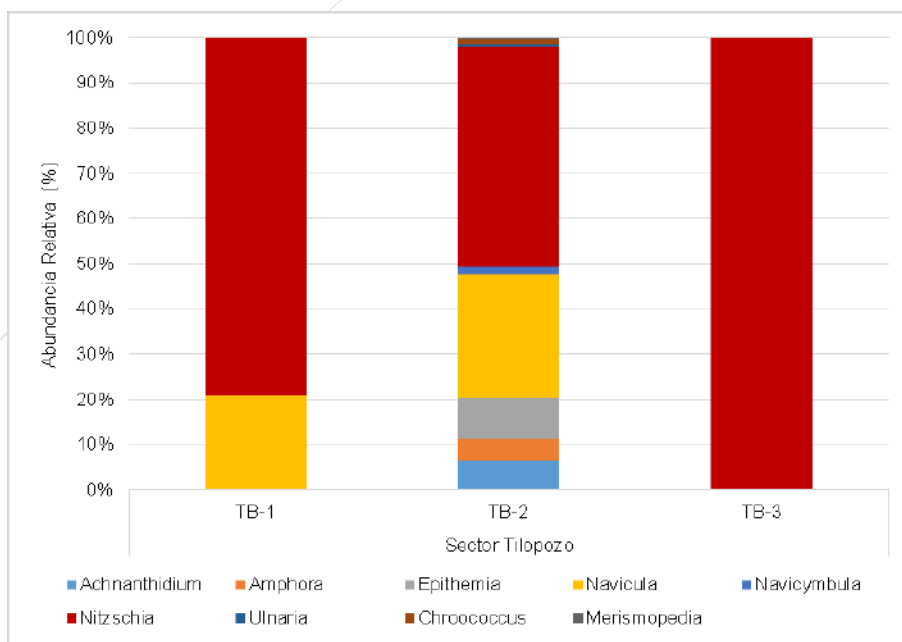
Respecto de los *taxa* dominantes, se observó que el género *Nitzschia* presentó la mayor representatividad entre las estaciones de vegas de Tilopozo (ver **Figura N° 9-7**). En relación a la abundancia por clase de la comunidad de fitoplancton de vegas de Tilopozo, donde la Clase Bacillariophyceae fue la dominante.

**Tabla N° 9-23. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (invierno 2018).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Achnanthidium</i>		250,0	
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>		175,9	
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Epithemia</i>		351,9	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	9,3	1046,3	
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Navicymbula</i>		64,8	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	35,0	1862,3	55,0
	Licmophorales	Ulnariaceae	<i>Ulnaria</i>		27,8	
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>		37,0	
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>		9,3	
<b>Abundancia total (cel/mL)</b>				<b>44,2</b>	<b>3825,3</b>	<b>55,0</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>				<b>2</b>	<b>9</b>	<b>1</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>0,51</b>	<b>1,41</b>	<b>-</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,74</b>	<b>0,64</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 9-7. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (invierno 2018).**



Fuente: Elaboración propia.



### 9.2.2.3.3 Zooplancton

Los organismos zooplanctónicos son animales invertebrados cuyas características distintivas son su tamaño principalmente microscópico, su movilidad limitada, ser dependientes de los movimientos verticales y horizontales del agua (Samanez et al., 2014) y ser organismos heterótrofos (componente animal del plancton) (Wetzel, 2001). Estos organismos son los consumidores secundarios de los ecosistemas acuáticos, siendo activos filtradores del fitoplancton o bien, de dieta omnívora consumiendo tanto microalgas como zooplancteres en estado larvario (De los Ríos-Escalante, 2010). A continuación se presentan los resultados del zooplancton obtenidos en la campaña de invierno 2018.

#### 9.2.2.3.3.1 Sector Peine

En la comunidad de zooplancton del sector de Peine en invierno 2018, se observaron riquezas entre 1 taxón y 2 *taxa* en las estaciones de muestreo. Se registró solo un taxón en las estaciones S-9 y S-5 de laguna Salada y en las estaciones SA-25 y S-10 de laguna Saladita, mientras que en I-11 e I-17 de laguna Interna se registraron 2 *taxa* respectivamente. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el branquiópodo *Artemia franciscana* (característico de sistemas acuáticos salinos) y por copépodos Harpacticoida. En el caso de *A. franciscana*, los individuos capturados se encontraron principalmente en el estado larvario de *Metanauplius* (próximos a ser juveniles) (**Tabla N° 9-24**).

Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton variaron entre los 0,02 ind/L en S-5 (laguna Salada) y 50,28 ind/L en I-17 (laguna Interna). Los organismos más abundantes en este sector fueron los copépodos Harpacticoida, mientras que *A. franciscana* se registró en muy bajas abundancias. Cabe mencionar que en laguna Salada solo se encontró copépodos Harpacticoida, en laguna Saladita solo *A. franciscana* y en laguna Interna ocurrieron ambos *taxa*, pero mayoritariamente copépodos Harpacticoida (**Tabla N° 9-24** y **Figura N° 9-8**).

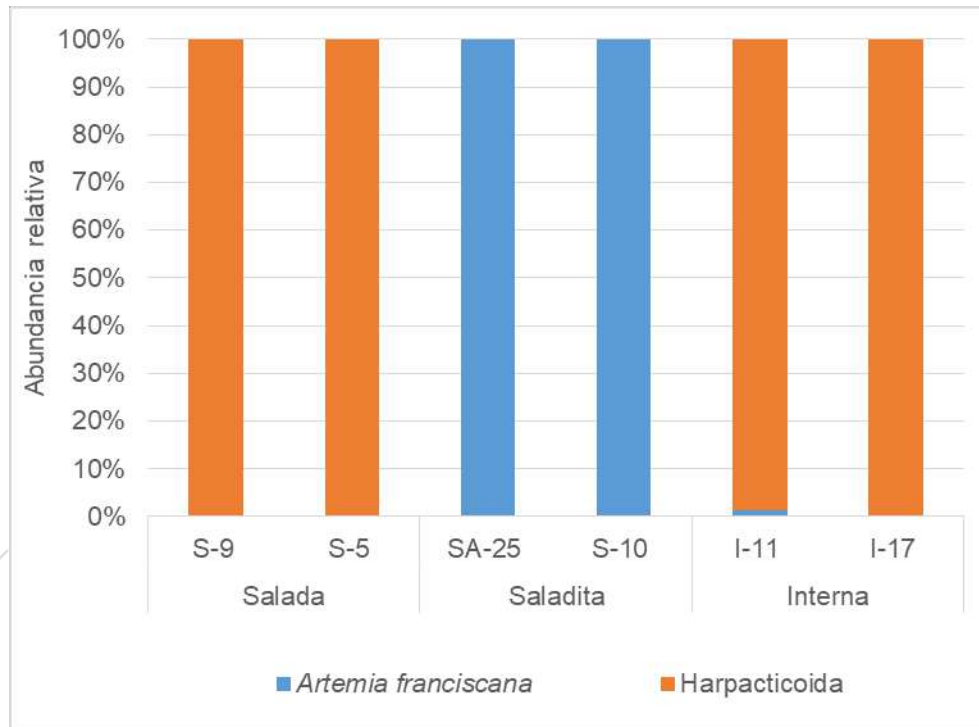
Respecto a la diversidad (H) y equidad (J') solo se pudieron estimar en las estaciones I-11 e I-17 de laguna Interna, debido a que en las demás solo se registró un taxón por estación. Las diversidades fueron muy bajas (0,06 y 0,01 nits/ind) al igual que las equidades (0,09 y 0,01), debido a la baja riqueza de *taxa* y por las altas disparidades entre las abundancias de *A. franciscana* y Harpacticoida (**Tabla N° 9-24**).

**Tabla N° 9-24. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (invierno 2018).**

Phylum o Clase	Orden	Familia	Taxa	S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Branchiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i> *			0,03	0,05	0,03	0,03
Hexanauplia (SC Copepoda)	Harpacticoida	-	Harpacticoida indet.	1,38	0,02			2,25	50,25
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación</b>					
<b>Abundancia total (Ind/L)</b>		<b>0,0</b>	<b>137,3</b>	<b>1,38</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>	<b>2,28</b>	<b>50,28</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Diversidad (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,06</b>	<b>0,01</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,09</b>	<b>0,01</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Incluye mayoritariamente larvas Metanauplius de *Artemia franciscana*. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en estas estaciones del sector Peine durante todas las campañas de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

**Figura N° 9-8. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Peine (invierno 2018).**



Fuente: Elaboración propia.

### 9.2.2.3.3.2 Sector La Punta y La Brava

En el sector de las lagunas La Punta (LP) y La Brava (LB), se registró un total de 6 *taxa* de organismos zooplanctónicos en invierno de 2018, con riquezas entre 2 y 5 *taxa* por estación, siendo la mínima la obtenida en las estaciones LB-1 y LB-2 (La Brava) y la máxima en la estación LP-23 (La Punta). La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el branquiópodo *Artemia franciscana* (mayoritariamente estados larvarios de Nauplius o Metanauplius próximos a ser juveniles), por distintos *taxa* de copépodos, entre ellos copépodos Calanoida, *Boeckella* sp. y *Boeckella bergi* (familia Centropagidae), por copépodos Harpacticoida, además de anfípodos de la familia Hyalellidae. Los *taxa* con mayor frecuencia fueron *A. franciscana* y copépodos Harpacticoida, que se encontraron en todas las estaciones de este sector (**Tabla N° 9-25**).

Las abundancias totales de zooplancton tuvieron en un rango de valores de 1,57 a 21,57 ind/L por estación, con un mínimo obtenido en LB-3 y el máximo en LB-2. Los organismos más abundantes fueron los copépodos Harpacticoida, alcanzando 19,68 ind/L en LB-2 (laguna La Brava), seguidos por *A. franciscana* que obtuvo un máximo de 2 ind/L en LP-24 (laguna La Punta) (**Tabla N° 9-25**).

**Tabla N° 9-25. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).**

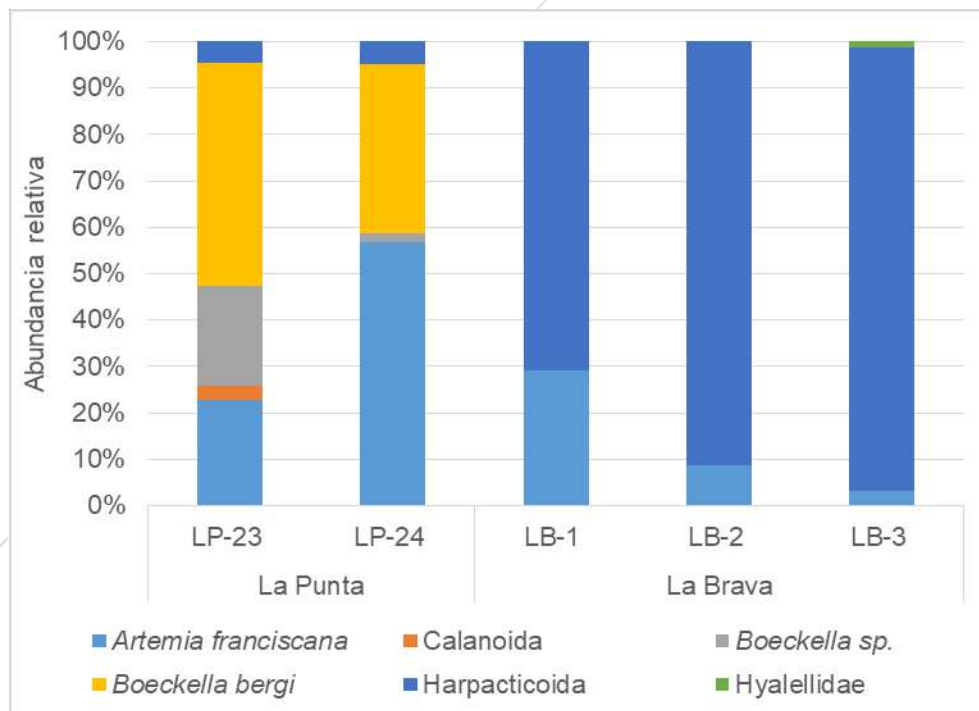
Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Branchiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i> (*)	0,63	2,00	1,82	1,88	0,05
Hexanauplia (SC Copepoda)	Calanoida	-	Calanoida Indet.	0,08				
		Centropagidae	<i>Boeckella</i> sp.	0,60	0,07			
		Centropagidae	<i>Boeckella bergi</i>	1,32	1,28			
	Harpacticoida	-	Harpacticoida Indet.	0,13	0,17	4,45	19,68	1,50
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalellidae Indet.					0,02
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación</b>				
<b>Abundancia total (Ind/L)</b>		<b>0,0</b>	<b>239,1</b>	<b>2,77</b>	<b>3,52</b>	<b>6,27</b>	<b>21,57</b>	<b>1,57</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>0</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Diversidad (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,27</b>	<b>0,91</b>	<b>0,60</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,79</b>	<b>0,66</b>	<b>0,87</b>	<b>0,43</b>	<b>0,18</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Incluye mayoritariamente larvas Metanauplius de *Artemia franciscana*. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en estas estaciones del sector La Punta - La Brava durante todas las campañas de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

Referente a la diversidades estimadas, estas fueron bajas para las estaciones de la laguna La Brava y más altas para la laguna La Punta (dado por la mayor riqueza de *taxa*), con un máximo de 1,27 nits/ind en LP-23 y un mínimo de 0,2 en LB-3. Por su parte la equidad tendió a ser alta solo en las estaciones LP-24 (0,79) y LB-1 (0,87), debido a que las abundancias de sus *taxa* fueron similares (**Tabla N° 9-25**).

Ahora bien, la estructura comunitaria del zooplancton en el sector, muestra que los grupos dominantes en laguna La Punta (LP-23 y LP-24) fueron los copépodos *Boeckella bergi* y *Boeckella sp.*, junto con *A. franciscana*, observándose una mayor proporción de los copépodos *Boeckella* en LP-23 y una mayor proporción de *A. franciscana* en LP-24. Las estaciones de laguna La Brava, fueron mayormente representadas por copépodos Harpacticoida y secundariamente por *A. franciscana*, observándose un descenso de LB-1 a LB-3 en la proporción de *A. franciscana* respecto a los harpacticoides (**Tabla N° 9-25 y Figura N° 9-9**).

**Figura N° 9-9. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.2.3.3.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2018, se registró solo un taxón correspondiente a anfípodos de la familia Hyalellidae, los cuales fueron registrados solo en la estación TB-2, sin obtenerse organismos zooplanctónicos para las estaciones TB-1 y TB-3. La abundancia total en este caso fue de 2,25 ind/L. Con valores de riqueza de *taxa*  $\leq 1$ , no es posible estimar los índices comunitarios de índice de diversidad (H) y equidad (J') (Tabla N° 9-26).

**Tabla N° 9-26. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo (invierno 2018).**

Clase	Orden	Familia	Taxa	TB-1	TB-2	TB-3
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalellidae Indet.		2,25	
<b>Abundancia total (Ind/L)</b>				0,00	2,25	0,00
<b>Riqueza de taxa (S)</b>				0	1	0

Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.2.3.4 Zoobentos

Se refiere a la fauna de invertebrados que habita en los sustratos sumergidos de sistemas acuáticos. En las lagunas salinas el zoobentos está constituido por crustáceos como anfípodos (*Hyalella*), copépodos (*Canthocamptidae*), gran cantidad de larvas de insectos (*Chironomidae*, *Ceratopogonidae*, *Ephydriidae*, *Odonata*) y moluscos gastrópodos como *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014). Los organismos zoobentónicos corresponden a consumidores secundarios de los ecosistemas acuáticos, siendo activos carnívoros, herbívoros y detritívoros, además del 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 2018.

##### 9.2.2.3.4.1 Sector Peine

En el sector Peine el zoobentos presentó una pobre riqueza de *taxa*, con un máximo de 2 *taxa* en la estación S-9, solo un taxón respectivamente en las estaciones S-10 e I-11 y ningún organismo encontrado en las estaciones S-5, SA-25 e I-17, respectivamente. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por larvas de insectos dípteros de la familia *Ceratopogonidae* y de los crustáceos anfípodos *Hyalella* sp., siendo las más frecuentes las larvas de insectos *Ceratopogonidae* (Tabla N° 9-27).

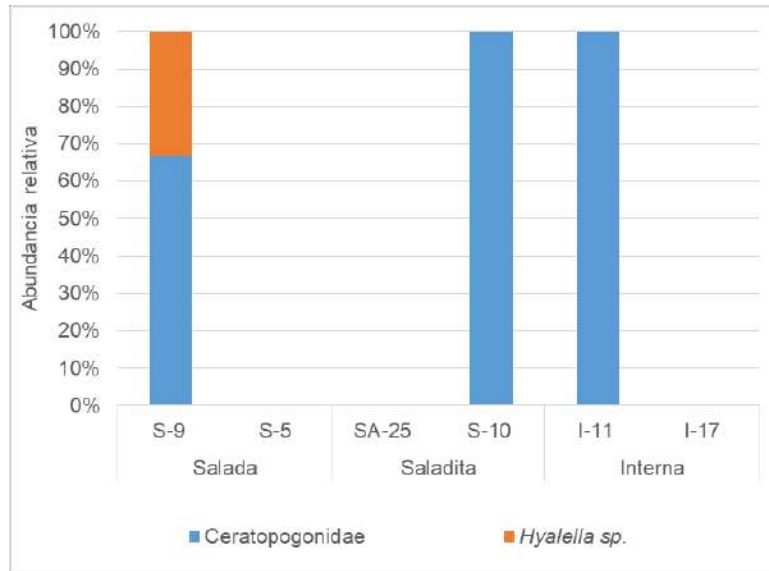
Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 125 ind/m<sup>2</sup> en S-10 (laguna Saladita) a 875 ind/m<sup>2</sup> en I-11 (Laguna Interna). Los organismos más abundantes fueron también las larvas de insectos Ceratopogonidae. Las estimaciones de diversidad (H) y equidad (J') solo se pudieron obtener en la estación S-9, resultando una baja diversidad (0,64 nits/ind) y una equidad alta de 0,92, este último valor dado por las abundancias similares obtenidas en esa estación (Tabla N° 9-27).

**Tabla N° 9-27. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m2) y riqueza en Sector Peine (invierno 2018).**

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.	250			125	875	
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	<i>Hyaella sp.</i>	125					
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación</b>					
<b>Abundancia total (Ind/L)</b>		-	-	<b>375</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>125</b>	<b>875</b>	<b>0</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Diversidad (nits/ind)</b>		-	-	<b>0,64</b>	-	-	-	-	-
<b>Equidad (J')</b>		-	-	<b>0,92</b>	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos de riqueza de familia registrados en estas estaciones del sector Peine durante todas las campañas de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de riqueza de familias de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

La **Figura N° 9-10**, muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector, permitiendo identificar los *taxa* dominante en cada estación, con dominancia de Ceratopogonidae en las estaciones S-9, S-10 e I-11, respectivamente y secundariamente al anfípodo *Hyaella sp.* en S-9.

**Figura N° 9-10. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (invierno 2018).**

Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.2.3.4.2 Sector La Punta y La Brava

En el sector La Punta y La Brava el zoobentos presentó una riqueza mínima de 1 taxón en la estación LB-2 y una máxima en la estación LB-1 con 5 *taxa*. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por larvas de insectos dípteros (familias Ceratopogonidae, Dolichopodidae, Ephydriidae y Stratiomyidae), copépodos harpacticóideos de la familia Canthocamptidae, anfípodos *Hyalella* sp., gasterópodos Cochliopidae representados por el género *Heleobia* y por gusanos de la familia Lumbriculidae (**Tabla N° 9-28**). En este sector los organismos con mayor frecuencia fueron las larvas de insectos Ceratopogonidae, los cuales se encontraron en todas las estaciones.

Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 250 ind/m<sup>2</sup> en LB-2 a 25.250 ind/m<sup>2</sup> en LB-1. Los organismos más abundantes fueron los copépodos Canthocamptidae, alcanzando los 24.250 ind/m<sup>2</sup> en LB-1 (La Brava), seguidos por los gasterópodos *Heleobia* sp. que obtuvieron un máximo de 2.875 ind/m<sup>2</sup> en LP-23 (La Punta) (**Tabla N° 9-28**).

**Tabla N° 9-28. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en en Sector La Punta y La Brava (invierno 2018).**

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.	1750	625	250	250	500
		Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.		125	125		
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.			500		
		Stratiomyidae	Stratiomyidae indet.			125		
Hexanauplia (SC: Copepoda)	Harpacticoida	Canthocamptidae	Canthocamptidae indet.			24250		
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia sp.</i>	2875	1000			250
Clitellata	Lumbriculida	Lumbriculidae	Lumbriculidae indet.	375				
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación</b>				
<b>Abundancia total (Ind/m<sup>2</sup>)</b>		-	-	<b>5000</b>	<b>1750</b>	<b>25250</b>	<b>250</b>	<b>750</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>0</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Diversidad (nits/ind)</b>		-	-	<b>0,88</b>	<b>0,88</b>	<b>0,21</b>	-	<b>0,64</b>
<b>Equidad (J')</b>		-	-	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,13</b>	-	<b>0,92</b>

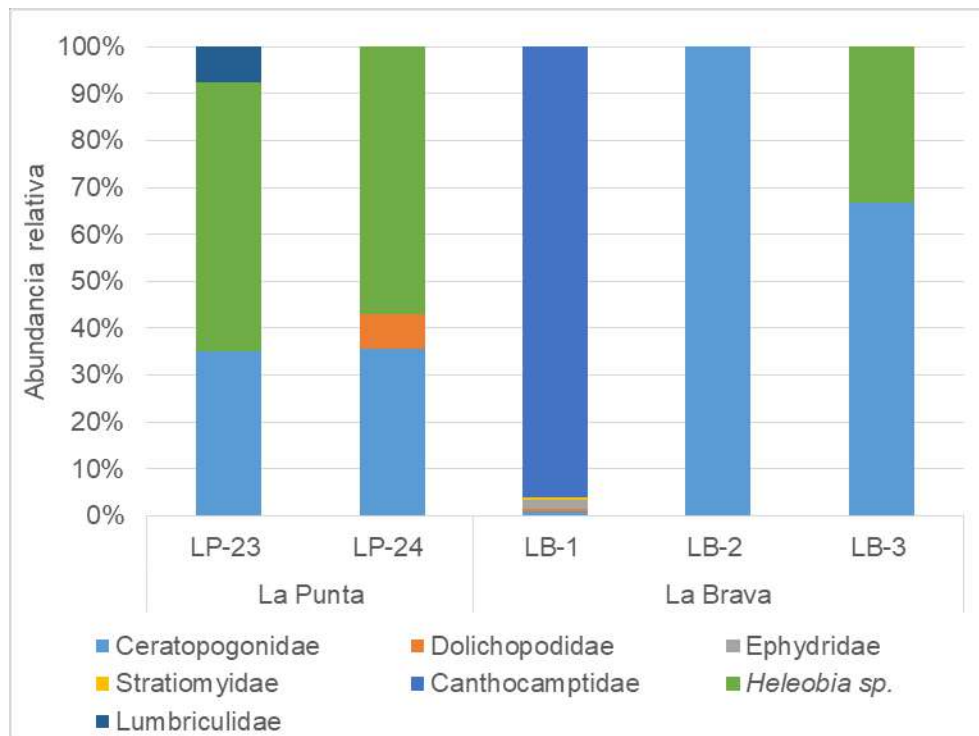
Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos de riqueza de familias registrados en estas estaciones del sector La Punta – La Brava durante todas las campañas de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de riqueza de familias de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico

Respecto a la diversidad (H) y equidad (J') del zoobentos por estación en el Sector Peine, se obtuvieron valores bajos de diversidad, entre 0,21 nits/ind (LB-1) y 0,88 nits/ind (LP-23 y LP-24) debido principalmente por las bajas riquezas de *taxa* registradas. Las equidades por su parte, en las estaciones que se obtuvieron valores altos (sobre 0,8) está dado por las abundancias similares de sus *taxa*, no así en el caso de la estación LB-1 con un bajo valor de equidad (0,13) dado por la alta abundancia de copépodos Canthocamptidae respecto a las menores abundancias de los otros *taxa* registrados en esa estación. Los índices comunitarios de diversidad y equidad no se pudieron estimar para la estación LB-2, debido a que solo se registró 1 taxón (**Tabla N° 9-28**).

La estructura comunitaria del zoobentos en el sector, muestra que los *taxa* dominantes por cada estación fueron *Heleobia sp.* en LP-23 y LP-24 (La Punta), los copépodos Canthocamptidae como dominantes en LB-1 y las larvas de insectos Ceratopogonidae en las estaciones LB-2 y LB-3, respectivamente (**Figura N° 9-11**).



**Figura N° 9-11. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2018).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.2.3.4.3 Sector Tilopozo

En el sector Tilopozo el zoobentos presentó una riqueza mínima de 1 taxón en las estaciones TB-1 y TB-3 y una máxima en la estación TB-2 con 5 *taxa*. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por los insectos dípteros Ceratopogonidae, Chironomidae, Ephyridae y Syrphidae, gasterópodos de la especie *Heleobia atacamensis* y gusanos de la familia Lumbriculidae. En este sector los organismos con mayor frecuencia fueron los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, los cuales se encontraron en las estaciones TB-1 y TB-3 (**Tabla N° 9-29**).

Los valores de abundancia total por estación estuvieron en un rango entre 375 ind/m<sup>2</sup> (TB-1 y TB-3) y 1.875 ind/m<sup>2</sup> (TB-2). Los organismos más abundantes fueron los dípteros Syrphidae, alcanzando los 1.125 ind/m<sup>2</sup> en la estación TB-2, seguidos por los gasterópodos de la especie *Heleobia atacamensis* con 375 ind/m<sup>2</sup> tanto en TB-1 como TB-3, siendo el único taxón registrado en esas estaciones (**Tabla N° 9-29**). Cabe mencionar que *Heleobia atacamensis* es una especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014.

Las estimaciones de diversidad (H) y equidad (J') solo se pudieron obtener en la estación TB-2, resultando una diversidad de 1,2 nits/ind y una equidad de 0,75. Este último valor dado debido a que las abundancias en esa estación no fueron similares (**Tabla N° 9-29**).

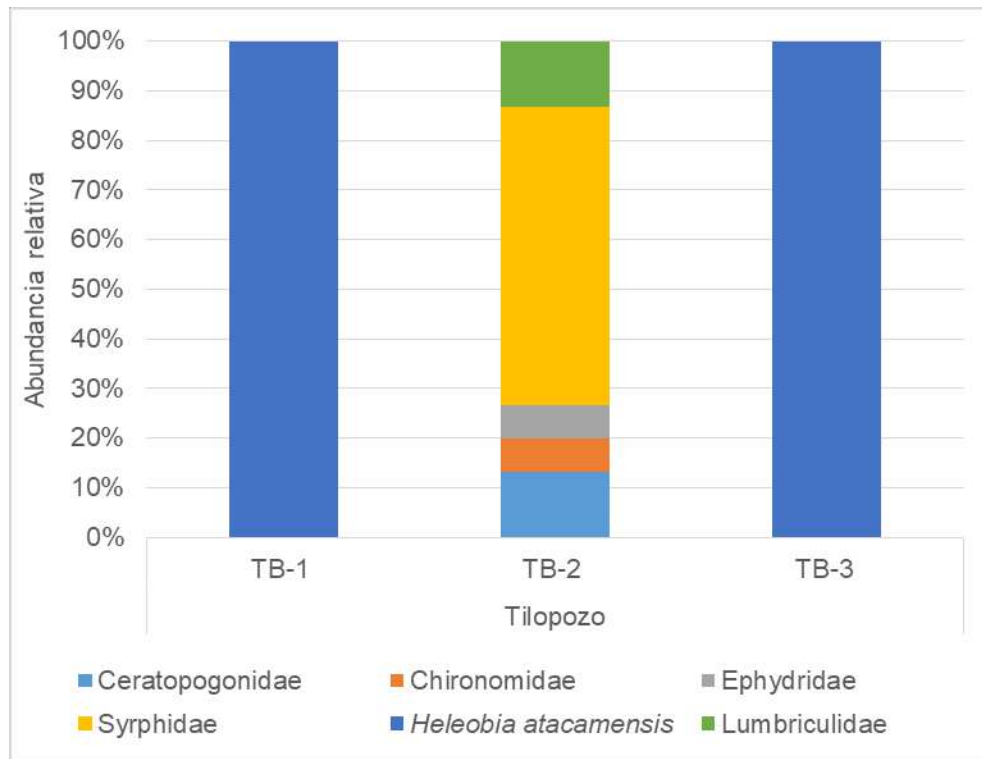
**Tabla N° 9-29. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector Tilopozo (invierno 2018).**

Clase	Orden	Familia	Taxa	TB-1	TB-2	TB-3
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae indet.		250	
		Chironomidae (SF: Chironominae)	Chironomidae indet.		125	
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.		125	
		Syrphidae	Syrphidae indet.		1125	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>	375		375
Clitellata	Lumbriculida	Lumbriculidae	Lumbriculidae indet.		250	
<b>Abundancia total (Ind/m<sup>2</sup>)</b>				<b>375</b>	<b>1875</b>	<b>375</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>				<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1</b>
<b>Diversidad (nits/ind)</b>				<b>-</b>	<b>1,20</b>	<b>-</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>-</b>	<b>0,75</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración propia.

La estructura comunitaria del zoobentos en el sector muestra una dominancia absoluta de *Heleobia atacamensis* en las estaciones TB-1 y TB-3, mientras que en la estación TB-2 dominaron los dípteros Syrphidae, seguidos por los dípteros Ceratopogonidae y gusanos Lumbriculidae (**Figura N° 9-12**). Tales diferencias entre estaciones, se relacionan con que la estación TB-2 correspondió a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad y las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de 1,5 a 2 m de profundidad, respectivamente.

**Figura N° 9-12. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (invierno 2018).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 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 2018, 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° 9-31**).

**Tabla N° 9-30. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (invierno 2018).**

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>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 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° 9-31**), las que oscilaron entre 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 25 y 73% en el sector Peine y entre 3 y 23% de cobertura en La Punta - La Brava. Esta especie se encontró sumergida y distribuida en el centro o en las orillas de las lagunas. Por otra parte, en las orillas de la laguna La Punta en las estaciones LP-24 y LP-23 se reportó la presencia de las helófitas emergentes *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida* y *Sarcocornia fruticosa* y en la laguna La Brava solo se reportó *T. concinna*.

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 en las estaciones TB-1 y TB-3. Además de la presencia de las helófitas emergentes *Schoenoplectus californicus* observada en TB-1 y TB-3, *Juncus balticus* en las vegas presentes en TB-1 y TB-2, *Distichlis spicata* en TB-1 y TB-2 y *Baccharis sp.* en TB-3 (**Tabla N° 9-31**).

**Tabla N° 9-31. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (invierno 2018).**

Especie	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>	X (73%)		X (25%)	X			X (3%)				X (23%)			
<i>Zannichellia palustris</i>												X (33%)		X (33%)
<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>												X (30%)	X (33%)	X (33%)
<i>Juncus balticus</i>												X (33%)	X (42%)	
<i>Triglochin concinna</i>								X (12%)		X (17%)				
<i>Puccinellia frigida</i>								X (7%)						
<i>Distichlis spicata</i>												X (3%)	X (17%)	
<i>Sarcocornia fruticosa</i>							X (13%)	X (58%)						
<i>Baccharis sp.</i>														X (33%)
<b>Riqueza Total</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

N=3. Cuadrante 50x50 cm. Fuente: Elaboración propia.

## 9.2.3 Resultados del muestreo campaña de verano 2019 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)

### 9.2.3.1 Resultados Calidad de agua

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la campaña de verano 2019 de los parámetros de calidad de agua evaluados en las diferentes estaciones por cada sector de estudio. Los informes de ensayo de laboratorio respectivos, se presentan en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos\_Calidad de Agua**.

#### 9.2.3.1.1 Resultados Sector Peine

**Tabla N° 9-32. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine (verano 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	33,6	14,1	18,5	18,7	22,5	26,3	30,1
pH (**)	U pH	-	6,13	8,6	8	8,4	8,2	8,2	8,1	7,1
Conductividad eléctrica	µS/cm	1	25350	235000	35400	60820	59590	61210	72140	212600
Salinidad	g/Kg	1	8,7	66,5	17	30	29	30	35	105
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	2,34	11,2	6,7	4,4	5,9	5,2	3,9	0,3
Turbiedad	UNT	0,07	3	152	2	4,4	5,3	9,5	4,4	7,5
Clorofila "a" en Fitoplancton	µg/L	0,02	0	18,2	0,36	1,37	0,07	0,9	1,02	3,15
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m <sup>2</sup>	-	-	-	0,02	0,02	<0,02	0,04	0,04	0,13
Alcalinidad Parcial (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	-	-	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	51	1564,7	270	227	221	215	187	205
Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	91,26	1908,07	270,386	226,718	221,434	215,352	187,137	205,382
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	<5	139,54	<1,000	<1,000	<1,000	<1,000	<1,000	<1,000
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	2	8494	194099	52761	30698	29084	27665	50266	202753
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,6	<0,15	21,2	1,6	1,4	1,7	1,7	3,2	10
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,001	0,00036	<0,5	1,05	0,039	0,041	0,039	0,042	0,047
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0,009	0,044	1,31	0,031	<0,009	<0,009	<0,009	0,61	1,805
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	<0,1	8,66	0,031	<0,010	<0,010	<0,010	0,61	1,803
Fósforo Total (PT)	mg/L	0,0004	<0,05	7,125	0,026	0,029	0,029	0,032	0,007	0,024
Ortofosfato (PO <sub>4</sub> )	mg/L	0,5	0,1	6,7	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/L	0,39	845	14970	1629,6	3184,75	2396,5	2858,75	3498	7367,5
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	619	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en estas estaciones del sector durante toda la Línea Base. (\*\*) Parámetros registrados *in situ*. **Nota 1:** En los

Informes Anuales 1 y 2 se presenta un valor máximo de LB de Clorofila "a" de 18.200 ug/L, correspondientes a 18,2 mg/L según lo reportado en el documento Anexo 2 Plan de Manejo Biótico (2015). Se actualiza a unidad y orden de valor correctos para su comparación. **Nota 2:** Los parámetros están escritos tal cual aparecen en los informes de ensayo de laboratorio.

Los resultados para el sector de Peine en verano 2019 (**Tabla N° 9-32**) se encuentran en los rangos propios de sistemas acuáticos salinos, es decir, alta conductividad eléctrica (entre 35.400  $\mu\text{S/cm}$  y 212.600  $\mu\text{S/cm}$ ) y salinidades elevadas (entre 17 y 105 g/Kg) incrementándose desde laguna Salada a laguna Interna, asociadas principalmente al contenido de sales como cloruros (entre 27.665 mg/L y 202.753 mg/L) y sulfatos (entre 1.629,6 mg/L y 7.367,5 mg/L). Las temperaturas se presentan acorde con la profundidad de estos cuerpos de agua y época del año, oscilando entre 14,1 y 30,1 °C, incrementándose también desde laguna Salada a laguna Interna. El pH se presenta principalmente alcalino sin mayor variación entre estaciones de muestreo con valores entre 8,0 y 8,4 (exceptuando en la estación I-17 que fue neutro con 7,1 unidades), valores que se corresponden con los obtenidos para los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato.

Respecto al oxígeno disuelto, este mostró un rango de 6,7 a 0,3 mg/L entre las estaciones del Sector Peine disminuyendo desde laguna Salada a laguna Interna. En esta última estación fue extremadamente bajo, registrándose *in situ* 0,3 mg/L y correspondiendo al valor más bajo registrado de oxígeno disuelto tanto en el PMB como en la LB. La turbiedad tuvo valores bajos entre 2 y 9,5 UNT y la clorofila "a" en fitoplancton presentó valores entre 0,07 y 3,15  $\mu\text{g/L}$ , con su valor máximo registrado en I-17, al igual que el nitrato que alcanzó los 10 mg/L también en esa estación (mínimo 1,4 mg/L en S-5).

#### 9.2.3.1.2 Resultados Sector La Punta y la Brava

**Tabla N° 9-33. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava (verano 2019).**

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Máx. LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura (**)	C	-	6,8	26,3	19,6	18,7	22,8	26,8	27,7
pH (**)	U pH	-	7,77	8,38	8	8,1	7,9	7,8	8,1
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	1	22300	149500	83190	91000	124200	165100	67980
Salinidad	g/Kg	1	22,7	36,3	41	45	61	81	33
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	2,69	9,72	3,3	2,9	1,8	1,7	4,5
Turbiedad	UNT	0,07	1,3	31,4	4,3	2	2,4	7,8	3,8
Clorofila "a" en Fitoplancton	$\mu\text{g/L}$	0,02	0	31,9	0,42	0,16	3,15	3,16	1,89

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (*)	Máx. LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m <sup>2</sup>	-	-	-	<0,02	<0,02	0,13	0,11	0,11
Alcalinidad Parcial (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	-	-	<3	<3	<3	<3	<3
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	<b>268</b>	<b>806</b>	384	401	486	631	308
Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	<b>240</b>	<b>311,1</b>	<b>384,643</b>	<b>401</b>	<b>485,5</b>	<b>630,5</b>	307,874
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	<b>53,86</b>	<b>307,5</b>	<b>&lt;1,000</b>	<b>&lt;1,000</b>	<b>&lt;1,000</b>	<b>&lt;1,000</b>	<b>&lt;1,000</b>
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	2	<b>12071</b>	<b>58199</b>	48983	<b>144744</b>	<b>75352</b>	<b>135029</b>	43432
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,6	<b>&lt;0,046</b>	<b>0,245</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>4,5</b>	<b>7,4</b>	<b>1,9</b>
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,001	<b>&lt;0,0002</b>	<b>&lt;0,5</b>	0,039	0,039	0,039	0,034	0,04
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0,009	<b>&lt;0,01</b>	<b>0,268</b>	<b>&lt;0,009</b>	0,031	0,198	<b>&lt;0,009</b>	<b>&lt;0,009</b>
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	<b>&lt;0,1</b>	<b>3,19</b>	<b>&lt;0,010</b>	0,031	0,198	<b>&lt;0,010</b>	<b>&lt;0,010</b>
Fósforo Total (PT)	mg/L	0,0004	<b>&lt;0,05</b>	<b>3,77</b>	0,463	0,66	0,49	0,09	0,15
Ortofosfato (PO <sub>4</sub> )	mg/L	0,5	<b>0,255</b>	<b>3,29</b>	1,09	1,66	1,15	<0,50	<0,50
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/L	0,39	<b>1385</b>	<b>7261</b>	6614,75	<b>7678,75</b>	6935	4122	<b>12861</b>
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<b>&lt;4</b>	<b>749</b>	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en estas estaciones del sector durante toda la Línea Base. (\*\*) Parámetros registrados *in situ*. **Nota 1:** En los Informes Anuales 1 y 2 se presenta un valor máximo de LB de Clorofila "a" de 31.900 ug/L, correspondientes a 31,9 mg/L según lo reportado en el documento Anexo 2 Plan de Manejo Biótico (2015). Se actualiza a unidad y orden de valor correctos para su comparación. **Nota 2:** Los parámetros están escritos tal cual aparecen en los informes de ensayo de laboratorio.

Los valores obtenidos para las estaciones del Sector La Punta y La Brava en verano de 2019 (**Tabla N° 9-33**) son propios de lagunas salinas, como alta conductividad eléctrica (entre 67.980 y 165.100  $\mu$ S/cm) y elevadas salinidades (entre 33 y 81 g/Kg). La variación de estos parámetros están asociados principalmente al alto contenido de sales como cloruro (entre 43.432 y 144.744 mg/L) y sulfato (entre 4.122 y 12.861 mg/L). Las estaciones LB-1 y LB-2 (Laguna La Brava) presentan el mayor contenido de sales comparado con el resto de las estaciones monitoreadas en este sector de La Brava, indicado por los altos valores de conductividad eléctrica, salinidad, cloruro y sulfato. La estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de la Laguna La Brava, mostró valores menores de los parámetros relacionados con la conductividad y salinidad en comparación a LB-1 y LB-2, pero aun así tuvo una gran concentración de sales, con una conductividad de 67.980  $\mu$ S/cm, una salinidad de 33 g/Kg y la concentración de sulfatos más alta registrada en los monitoreos (12.861 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 83.190 y 91.000  $\mu$ S/cm y de 41 y 45 g/Kg, respectivamente en esos parámetros, junto con altas concentraciones en cloruro (48.983 y 144.744 mg/L) y sulfato (6.614,75 y 7.678,75 mg/L) para cada una de esas estaciones. Las altas temperaturas en



esta campaña estuvieron acorde con la profundidad de estos cuerpos de agua (18,7 a 27,7 °C) y un pH alcalino entre 7,8 y 8,1 cuyo valores se corresponden con los parámetros de alcalinidad total (308 a 631 mg/L) y bicarbonato (307,874 a 630,5 mg/L).

El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 1,7 y 4,5 mg/L, observándose el mayor valor en LB-3 (afluente de La Brava). La turbiedad mostró un rango de valores bajos entre 2,0 y 7,8 UNT y la clorofila “a” en fitoplancton mostró un rango entre 0,16 y 3,16 µg/L (mayor en LB-1 y LB-2). Los compuestos nitrogenados (nitrito, amoníaco y NKT), tuvieron valores iguales o menores a 0,198 mg/L, incluso algunos se encontraron bajo el límite de detección. Sin embargo, el nitrato presentó valores entre 1,9 mg/L y 7,4 mg/L, registrándose las concentraciones más altas en LB-1 y LB-2 (de forma similar que la clorofila “a”).

### 9.2.3.1.3 Resultados Sector Tilopozo

**Tabla N° 9-34. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo (verano 2019).**

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Temperatura (**)	C	-	25,7	Sin agua	26
pH (**)	U pH	-	6,9		6,9
Conductividad eléctrica	µS/cm	1	4281		4202
Salinidad	g/Kg	1	2		2
Oxígeno disuelto (**)	mg/L	-	3,3		5,6
Turbiedad	UNT	0,07	3,1		0,95
Clorofila "a" en Fitoplancton	µg/L	0,02	1,21		2,8
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m <sup>2</sup>	-	0,07		0,17
Alcalinidad Parcial (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	3	<3		<3
Alcalinidad Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	335		340
Bicarbonato (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	334,793		340,176
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	1	<1,000		<1,000
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	2	935		935
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,6	4,2		4,5
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,001	0,003		0,006
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0,009	0,025		0,019
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	0,025		0,019
Fósforo Total (PT)	mg/L	0,0004	0,084		0,092
Ortofosfato (PO <sub>4</sub> )	mg/L	0,5	<0,50		<0,50
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/L	0,39	1925,9	1831,75	

Parámetro	Unidad	Límite de detección	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4,0		<4,0

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

(\*\*) Parámetros registrados *in situ*. **Nota:** Los parámetros están escritos tal cual aparecen en los informes de ensayo de laboratorio.

En la campaña de verano 2019, la estación TB-2 se encontró sin agua. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de 1,5 a 2 m de profundidad, respectivamente.

En general los valores obtenidos en el sector de Tilopozo (**Tabla N° 9-34**), muestran un sistema mucho menos salino que los otros sectores, con valores más bajos en conductividad (entre 4.202 y 4.281  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), salinidad (2 g/Kg) y cloruro (935 mg/L). El pH fue neutro (6,9), correspondientes con los parámetros de alcalinidad total y de bicarbonato. Las altas temperaturas en general estuvieron acorde con la baja profundidad de estos cuerpos de agua (25,7 y 26,0°C).

El oxígeno disuelto presentó valores en concentración entre 3,3 y 5,6 mg/L en este sector, lo cual se corresponde con altas temperaturas que permiten una baja solubilidad de gases. Por otro lado, la turbiedad mostró un rango de valores entre 1,0 y 3,1 UNT y la clorofila "a" en fitoplancton presentó un rango de valores entre 1,21 y 2,80  $\mu\text{g}/\text{L}$ . Por su parte el nitrato fluctuó entre 4,2 y 4,5 mg/L, mientras que el resto de los compuestos nitrogenados (nitrito, amoníaco y NKT), tuvieron valores iguales o menores a 0,025 mg/L. En el caso del fósforo, las concentraciones fueron bajas y oscilaron entre 0,084 y 0,092 mg/L, los valores de ortofosfato fueron todos menores a 0,5 mg/L, mientras que el sulfato varió entre 1.831,8 y 1.925,9 mg/L.

### 9.2.3.2 Resultados Calidad de sedimentos

A continuación se detallan los resultados obtenidos para los parámetros de calidad de sedimentos evaluados durante la campaña de verano 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 R64/2019 incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos**. Dicho anexo también contiene los informes de ensayo de laboratorio respectivos de este componente.

El impedimento para ejecutar el ensayo de Granulometría, basado en el método ASTM C136/C136 M-14 Gravimetría, el cual está acreditado por la ETFA para suelos, sedimentos lacustres, sedimentos acuáticos y sedimentos marinos, según certificado LE-651 del Instituto Nacional de Normalización, da cuenta (según lo informado por la entidad) que las muestras de sedimento obtenidas en abril 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.

#### 9.2.3.2.1 Resultados Sector Peine

En la **Tabla N° 9-35**, se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2019 del Sector de Peine.

**Tabla N° 9-35. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine (verano 2019).**

Parámetro	Unidad	LD	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	90,5	125,4	64,4	61,6	40,9	97,5
Fósforo Total (P)	mg/Kg	0,5	34	78	225,27	275,42	71,2	20,06	94,59	11,89
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	0,14	5,3	5,3	7,1	2,7	0,9	2,1	2,5
Materia Orgánica	%	0,28	0,5	7,4	15,61	21,61	11,1	10,63	7,05	16,82
Potencial Redox	mV	-	-160	46,4	-425,7	-376	-413,3	-326,6	-427,2	-309

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector en verano 2015, que fue la única campaña de la Línea Base donde se analizaron sedimentos. LD: Límite de detección.

En el Sector Peine durante el verano de 2019 la concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 40,9 a 125,4 g/Kg y de 7,1% a 21,6%, respectivamente, registrándose los valores más altos en la estación S-5 (laguna Salada). El nitrógeno total Kjeldahl contenido en los sedimentos, varió de 0,9 a 7,1 g/Kg y también tuvo su máximo registro en S-5. Respecto al fósforo total, este osciló entre 11,89 y 275,42 mg/Kg; observándose concentraciones sobre 225 mg/Kg en laguna Salada (S-9 y S-5) y concentraciones menores de 95 mg/Kg en Saladita e Interna, registrándose el menor valor en I-17 con 11,89 mg/Kg (laguna Interna). Referente al potencial óxido-reducción, los valores registrados muestran que en todas las estaciones se presentaron sedimentos con características reductoras con valores entre -427,2 y -309,0 mV.

## 9.2.3.2.2 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 9-36** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2019 del Sector de La Punta –La Brava.

**Tabla N° 9-36. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava (verano 2019).**

Parámetro	Unidad	LD	Min LB (*)	Máx 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	79,5	83,4	40,4	75,3	62,2
Fosforo Total (P)	mg/Kg	0,5	8	55	75,38	37,25	49,19	17,38	89,63
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	1,596	6,351	4,2	3	2,5	2,2	2
Materia Orgánica	%	0,28	3,9	8,2	13,71	14,38	6,96	12,98	10,72
Potencial Redox	mV	-	-161,6	-61	-369,3	-445,4	-361	-328,4	-437,6

Fuente: Elaboración propia. En rojo se destacan los valores mayores a los registrados en la LB y en azul los valores menores a los registrados en la LB. (\*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector en verano 2015, que fue la única campaña de la Línea Base donde se analizaron sedimentos. LD: Límite de detección.

La concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 40,4 a 83,4 g/Kg y de 6,96% a 14,38%, respectivamente, registrándose los valores más altos en la estación LP-24 (La Punta) y los más bajos en la estación LB-1 (La Brava). Respecto al fósforo total, este varió entre 17,38 y 89,63 mg/Kg, observándose su valor máximo en LB-3 y el mínimo en LB-2 (laguna La Brava). Por su parte el nitrógeno total Kjeldahl presentó su valor máximo en La Punta (4,2 g/Kg en LP-23) y un mínimo en la laguna La Brava (2 g/Kg en LB-3). Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones se registraron en los sedimentos valores que indican un ambiente reductor con valores entre -445,4 y -328,4 mV.

### 9.2.3.2.3 Resultados Sector Tilopozo

En la **Tabla N° 9-37** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2019 del Sector de Tilopozo.

**Tabla N° 9-37. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo (verano 2019).**

Parámetro	Unidad	LD	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	98,7	Sin agua	55,8
Fosforo Total (P)	mg/Kg	0,5	657,15		608,53
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,02	12,9		10,8
Materia Orgánica	%	0,28	17,02		9,62
Potencial Redox	mV	-	-369,3		-260,8

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

Cabe señalar que la estación TB-2, en la campaña de verano 2019 se encontró sin agua. Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de 1,5 a 2 m de profundidad, respectivamente. Los resultados mostraron valores de carbono orgánico total (COT) de 55,8 a 98,7 g/Kg y de materia orgánica de 9,6% a un 17,0%, siendo los más altos los registrados en TB-1. El fósforo total presentó altos registros con valores entre 608,53 mg/Kg (TB-3) y 657,15 mg/Kg (TB-1). El nitrógeno total Kjeldahl, por su parte, varió entre 10,8 g/Kg (TB-3) y 12,9 g/Kg (TB-1). El potencial Redox en todas las estaciones indicó que los sedimentos presentan características reductoras con valores entre -369,3 y 260,8 mV.

### 9.2.3.3 Resultados Biota acuática

#### 9.2.3.3.1 Fitobentos

##### 9.2.3.3.1.1 Sector Peine

La comunidad de fitobentos en el Sector Peine, en la campaña de verano 2019 estuvo compuesta por 29 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 7 géneros en la estación I-17 y 17 géneros en la estación S-9 respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas en Peine, fluctuó entre 1840,8 cel/cm<sup>2</sup> en S-10 (laguna Saladita) y 6037,3 cel/cm<sup>2</sup> en S-5 (laguna Salada) (**Tabla N° 9-38**).

La comunidad que presentó una diversidad mayor es la estación S-9 con 2,06 nits/ind, ubicada en la laguna Salada, mientras que en la estación de Saladita (SA-25), se registró el menor valor de diversidad con 1,33 nits/ind (**Tabla N° 9-38**). Respecto de la equidad, se observó que el mayor valor lo presentaron las estaciones S-9 (laguna Salada) e I-11 (laguna Interna) y el menor en las estaciones SA-25 y S-10 ambas ubicadas en la laguna Saladita.

En relación a los *taxa* dominantes en cada una de las estaciones durante la campaña de verano 2019, se observó que las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Halamphora* y *Navicula* y la cianofícea *Oscillatoria* (**Figura N° 9-13**).

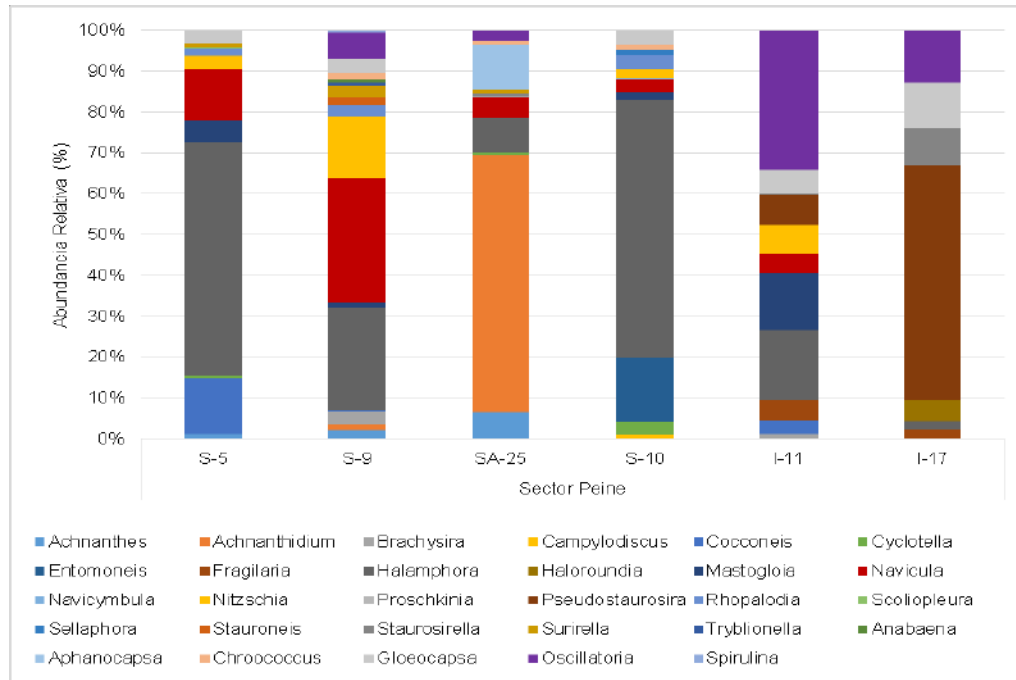
Por otra parte, el análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que Bacillariophyceae dominó ampliamente en las lagunas que conforman el Sector Peine por sobre Cyanophyceae.

**Tabla N° 9-38. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (verano 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>	63,5	99,8	202,6			
	Cocconeidales	Achnantheaceae	<i>Achnantheidium</i>		63,0	1953,4			
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>		152,3			50,6	
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>				15,8		
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	828,5	10,5			168,3	
	Stephanodiscales	Stephanodisceaceae	<i>Cyclotella</i>	30,0		10,5	60,5	4,1	
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>				286,3		
	Fragiliales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>					236,3	52,0
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	3452,3	1145,0	267,0	1164,0	815,0	40,3
	Mastogloiales	Achnantheaceae	<i>Haloroundia</i>						106,3
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	325,5	63,0		31,5	660,6	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	749,5	1407,6	151,5	58,3	223,5	
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Navicymbula</i>				12,0		
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	216,0	688,0		36,0	344,1	
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>			7,5		1,6	
	Fragiliales	Staurosiraceae	<i>Pseudostaurosira</i>					354,4	1205,6
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	97,0	141,8		67,5		
	Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>	15,0					
Sellaphorineae	Sellaphoraceae	<i>Sellaphora</i>				21,0			

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>		73,5				
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosirella</i>			22,5		4,1	195,8
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	67,0	141,8	33,0		0,8	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Tryblionella</i>		31,5				
Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>		31,5				
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i>			340,5			
	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>		78,8	30,0	24,0	4,1	
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>	193,0	162,8		64,0	282,6	233,5
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>		288,9	78,0		1626,9	269,0
	Spirulinales	Spirulinaceae	<i>Spirulina</i>		26,3				
<b>Límites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Ver-2019</b>					
<b>Abundancia total (cel/cm<sup>2</sup>)</b>		<b>46,8</b>	<b>61190,0</b>	<b>6037,3</b>	<b>4606,1</b>	<b>3096,6</b>	<b>1840,8</b>	<b>4777,0</b>	<b>2102,4</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>2</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>7</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		-	-	<b>1,53</b>	<b>2,06</b>	<b>1,33</b>	<b>1,37</b>	<b>1,97</b>	<b>1,37</b>
<b>Equidad (J')</b>		-	-	<b>0,61</b>	<b>0,73</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>	<b>0,73</b>	<b>0,70</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota 1:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor mínimo de LB corresponde a 46,8 cel/cm<sup>2</sup> considerando campañas de invierno y verano LB, y no al presentado en el Informe Anual 2, con un valor de 13 cel/cm<sup>2</sup>. Respecto del valor máximo corresponde a 61190,4 cel/cm<sup>2</sup> y no a 6787 cel/cm<sup>2</sup>. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud. **Nota 2:** Los valores consignados en el Informe Anual 1, correspondientes a abundancias y riquezas consideraron valores en distintas unidades de área cel/mm<sup>3</sup> y cel/mm<sup>2</sup> para abundancia, no realizándose homogenización de unidades, mejoramiento que se aplicó para el Informe Anual 2. En tanto, en el Informe Anual 1 para las riquezas se consideraron riquezas de especies y géneros de modo indistinto, situación que se corrigió a partir del Informe Anual 2. En el presente Informe Anual 3, se consideró datos de LB homogenizados en la misma unidad de área en la que se encuentran los resultados de los monitoreos para hacerlos comparables, esto es, abundancia en cel/cm<sup>2</sup> y riqueza a nivel de géneros

**Figura N° 9-13. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (verano 2019).**

Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.3.3.1.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de verano 2019 estuvo compuesta por 26 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 11 y 17 géneros en las estaciones LB-1 (laguna La Brava) y en LP-24 (laguna La Punta) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 5037,7 cel/cm<sup>2</sup> en LB-2 (laguna La Brava) y 26560,6 cel/cm<sup>2</sup> en LB-1 (laguna La Brava) (**Tabla N° 9-39**).

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-1), se registró los menores valores de dichos parámetros (**Tabla N° 9-39**).

En relación a los *taxa* dominantes durante la campaña de verano 2019, se observó que las mayores representatividades estuvieron representadas por las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula*, además de la cianofícea *Chroococcus* (**Figura N° 9-14**).

Respecto de las dominancias por clase, se observó que la clase ampliamente dominante correspondió a Bacillariophyceae, seguida de Cyanophyceae.

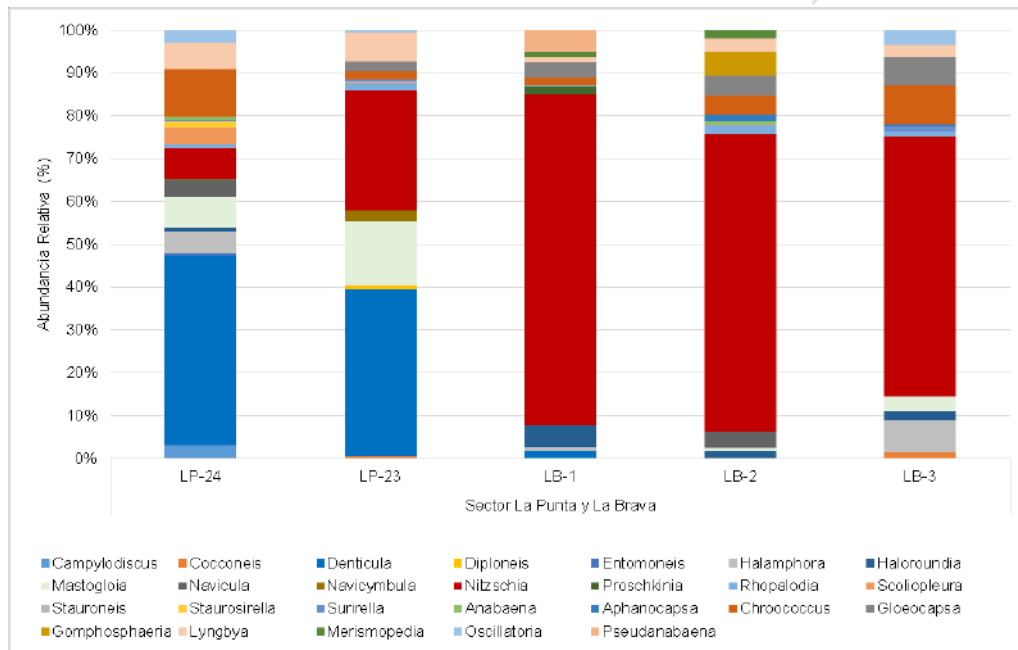


**Tabla N° 9-39. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2019).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-24	LP-23	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	294,1				
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>		45,0			120,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>	4243,1	3360,9	495,2		
	Diploneidinales	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>		90,0			
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	60,5				
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	471,0		225,1		720,0
	Mastogloiales	Achnanthes	<i>Haloroundia</i>	81,5		1305,5	90,0	180,0
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>	704,6	1272,9		30,0	330,0
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	400,0			195,0	
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Navicymbula</i>	21,0	225,1			
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	681,5	2415,3	20528,2	3501,6	5610,0
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>			495,2		
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	84,0	147,5	135,1	99,0	105,0
	Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>	380,0	15,0		18,0	
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>		30,0			
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosirella</i>	131,5				
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	31,5	35,0			120,0	
Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>	63,0			27,0	
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i>				75,0	45,0
	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	1085,1	165,0	450,2	240,0	855,0
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i>		195,0	900,4	222,0	615,0
	Chroococcales	Gomphosphaeriaceae	<i>Gomphosphaeria</i>				285,1	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i>	577,5	577,6	360,1	165,0	255,0
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>			270,1	90,0	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	285,1	52,5			315,0
	Synechococcales	Pseudanabaenaceae	<i>Pseudanabaena</i>			1395,6		
<b>Límites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Ver-2019</b>				
<b>Abundancia total (cel/cm<sup>2</sup>)</b>		<b>15,8</b>	<b>88793</b>	<b>9595,2</b>	<b>8626,8</b>	<b>26560,6</b>	<b>5037,7</b>	<b>9270,0</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>5</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>12</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2,01</b>	<b>1,71</b>	<b>1,01</b>	<b>1,30</b>	<b>1,50</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,71</b>	<b>0,63</b>	<b>0,42</b>	<b>0,51</b>	<b>0,60</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota 1:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. . El valor máximo de LB corresponde a 88.792,8 cel/cm2, considerando campañas de invierno y verano LB, y no a los presentados en el Informe Anual 2 con un valor de 6187 cel/cm2. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud. **Nota 2:** Los valores consignados en el Informe Anual 1, correspondientes a abundancias y riquezas consideraron valores en distintas unidades de área cel/mm<sup>3</sup> y cel/mm<sup>2</sup> para abundancia, no realizándose homogenización de unidades, mejoramiento que se aplicó para el Informe Anual 2. En tanto, en el Informe Anual 1 para las riquezas se consideraron riquezas de especies y géneros de modo indistinto, situación que se corrigió a partir del Informe Anual 2. En el presente Informe Anual 3, se consideró datos de LB homogenizados en la misma unidad de área en la que se encuentran los resultados de los monitoreos para hacerlos comparables, esto es, abundancia en cel/cm2 y riqueza a nivel de géneros.

**Figura N° 9-14. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (verano 2019).**



Fuente: Elaboración propia.

9.2.3.3.1.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 14 géneros. La riqueza por estación fluctuó entre 10 géneros en TB-1, y 12 géneros en TB-3. Respecto a las abundancias registradas en las estaciones TB-1 y TB-3 presentaron una abundancia similar, las que oscilaron entre los 3007,9 y 3723,8 cel/cm<sup>2</sup> respectivamente (**Tabla N° 9-40**). Los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitobentos

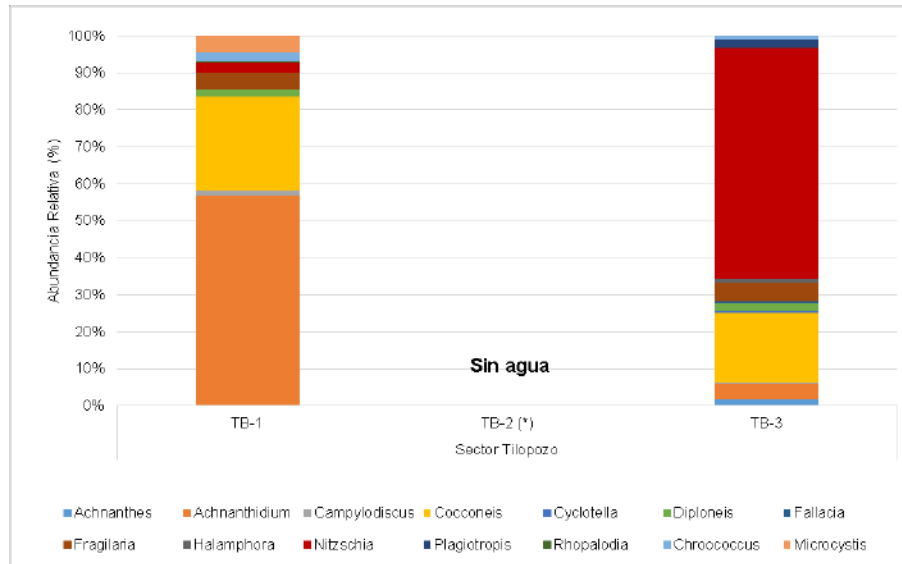
dentro del Sector Tilopozo fueron similares para las estaciones TB-1 y TB-3. Cabe destacar que, la estación TB-2 en la actual campaña se encontró sin agua.

Respecto de los *taxa* dominantes, se puede observar que las diatomeas *Nitzschia*, *Achnantheidium* y *Cocconeis* presentaron las mayores abundancias relativas entre las estaciones evaluadas (**Figura N° 9-15**). Respecto de las dominancias por clase, se puede ver la amplia dominancia del grupo Bacillariophyceae.

**Tabla N° 9-40. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2019).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Bacillariophyceae	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Achnanthes</i>			66,3
	Cocconeidales	Achnanthidiaceae	<i>Achnantheidium</i>	1708,4		158,8
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>	42,9		7,5
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	762,2		698,8
	Stephanodiscales	Stephanodisceae	<i>Cyclotella</i>			21,3
	Diploneidinea	Diploneidaceae	<i>Diploneis</i>	57,4		78,8
	Sellaphorinea	Sellaphoraceae	<i>Fallacia</i>			21,3
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	135,0		188,8
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	4,2		35,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	75,0		2325,0
	Naviculinea	Plagiotropidaceae	<i>Plagiotropis</i>			77,5
Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>	16,7			
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	70,8		45,0
	Chroococcales	Microcystaceae	<i>Microcystis</i>	135,4		
<b>Abundancia total (cel/cm<sup>2</sup>)</b>				<b>3007,9</b>		<b>3723,8</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>				<b>10</b>		<b>12</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>1,30</b>		<b>1,30</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,57</b>		<b>0,52</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 9-15. Abundancia Relativa fitobentos, Sector Tilopozo (verano 2019).**

Fuente: Elaboración propia.

### 9.2.3.3.2 Fitoplancton

#### 9.2.3.3.2.1 Sector Peine

La comunidad de fitoplancton en el Sector Peine, para la campaña de verano 2019 estuvo compuesta por 11 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 3 y 6 géneros en las estaciones S-9 (laguna Salada) y SA-25 (laguna Saladita) respectivamente. Respecto a la abundancia de microalgas, fluctuó entre 17,5 cel/mL en I-17 (laguna Interna) y 82,5 cel/mL en I-11 (laguna Interna) (**Tabla N° 9-41**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación S-5, ubicada en la laguna Salada con 1,38 nits/ind. En cambio, la menor diversidad fue observada en la estación S-9 (laguna Salada) con 1,01 nits/ind. Para la equidad se observó el mayor registro en la estación S-9, en cambio, la menor fue observada en la estación I-17 (**Tabla N° 9-41**).

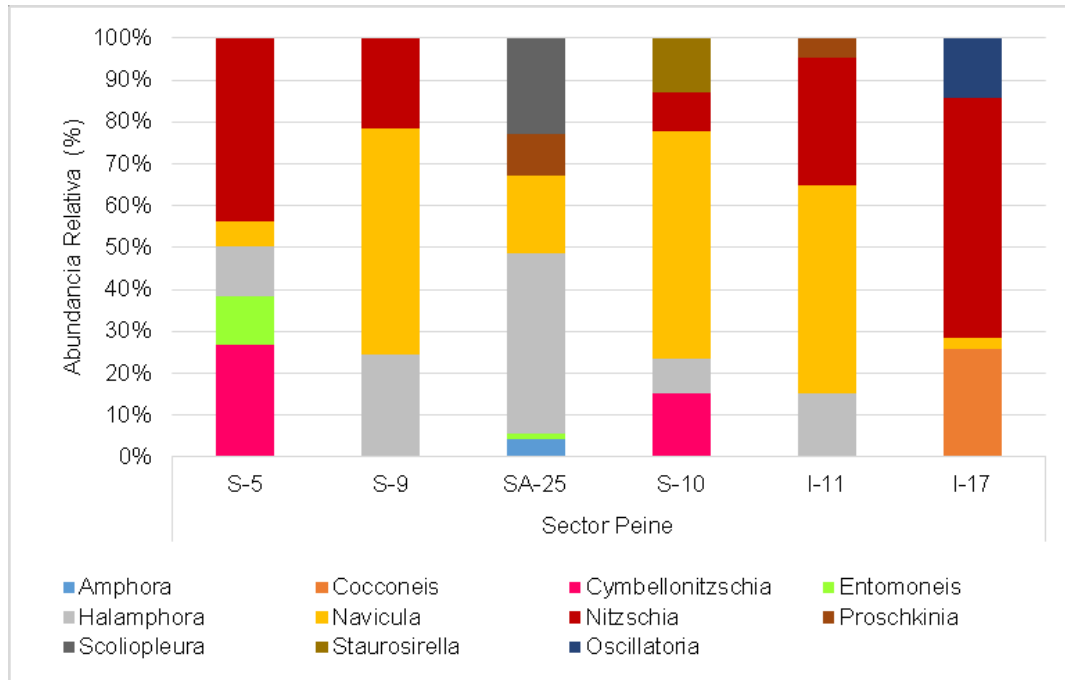
Respecto de los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de verano 2019, se observó que las mayores representatividades fueron registradas para las diatomeas *Navicula* y *Nitzschia* (**Figura N° 9-16**).

Respecto de la abundancia relativa en este sector, la clase Bacillariophyceae es ampliamente dominante seguida de Cyanophyceae.

**Tabla N° 9-41. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Peine (verano 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>			3,0			
	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>					4,5	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cymbellonitzschia</i>	16,5			6,5		
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	7,0		1,0			
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	7,5	9,0	30,0	3,5	12,5	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	3,5	20,0	13,0	23,0	41,0	0,5
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	27,0	8,0		4,0	25,0	10,0
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>			7,0		4,0	
	Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>			16,0			
	Fragilariales	Staurosiraceae	<i>Staurosirella</i>				5,5		
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>						2,5
<b>Límites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Ver-2019</b>					
<b>Abundancia total (cel/mL)</b>		<b>29,8</b>	<b>8120</b>	<b>61,5</b>	<b>37,0</b>	<b>70,0</b>	<b>42,5</b>	<b>82,5</b>	<b>17,5</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>4</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,38</b>	<b>1,01</b>	<b>1,44</b>	<b>1,31</b>	<b>1,14</b>	<b>1,05</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,86</b>	<b>0,92</b>	<b>0,80</b>	<b>0,82</b>	<b>0,82</b>	<b>0,76</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota 1:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor consignado para Abundancia Total como mínimo en la LB corresponde a 29 cel/mL, y no a 90 cel/mL, como se indicó en el Informe Anual 2. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud. **Nota 2:** Los valores consignados en el Informe Anual 1, correspondientes a abundancias y riquezas consideraron valores en distintas unidades de área cel/mm<sup>3</sup> y cel/mm<sup>2</sup> para abundancia, no realizándose homogenización de unidades, mejoramiento que se aplicó para el Informe Anual 2. En tanto, en el Informe Anual 1 para las riquezas se consideraron riquezas de especies y géneros de modo indistinto, situación que se corrigió a partir del Informe Anual 2. En el presente Informe Anual 3, se consideró datos de LB homogenizados en la misma unidad de área en la que se encuentran los resultados de los monitoreos para hacerlos comparables, esto es, abundancia en cel/cm<sup>2</sup> y riqueza a nivel de géneros.

**Figura N° 9-16. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (verano 2019).**

Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.3.3.2 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitoplancton en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de verano 2019 presentó 19 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 3 y 15 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 28,0 cel/mL en LP-24 (laguna La Punta) y 1.333,4 cel/mL en LB-3 (laguna La Brava) (**Tabla N° 9-42**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LP-23 con 2,14 nits/ind, mientras que el menor valor fue registrado en la estación LP-24 con 1,02 nits/ind ubicadas en la laguna La Punta, en tanto, laguna La Brava presentó valores intermedios de diversidad (**Tabla N° 9-42**).

Respecto de los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de verano 2019, se observó que las mayores representatividades estuvieron dadas por la diatomea *Nitzschia* y la cianófita *Chroococcus* (**Figura N° 9-17**).

El análisis de la abundancia relativa por clase, muestra que el sector estuvo dominado ampliamente por la clase Bacillariophyceae, seguida de Cyanophyceae.

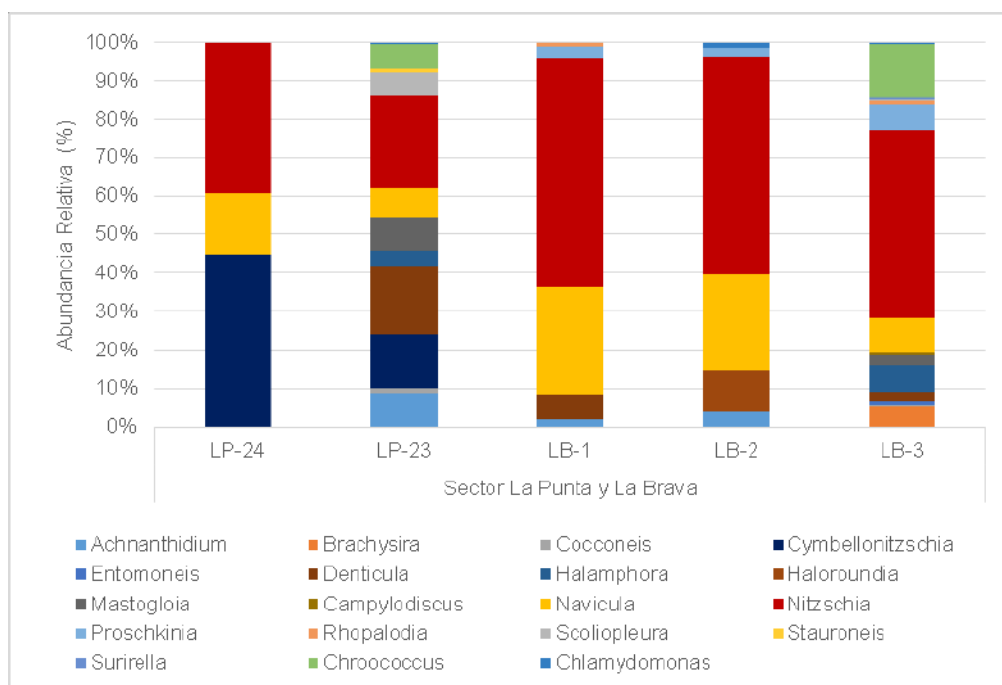
**Tabla N° 9-42. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (verano 2019).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-24	LP-23	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnanthesiaceae	<i>Achnantheidium</i>		11,0	1,0	1,5	
	Naviculales	Brachysiraceae	<i>Brachysira</i>					70,8
	Achnanthesales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>		1,5			4,2
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Cymbellonitzschia</i>	12,5	17,5			
	Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>					12,5
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Denticula</i>		22,5	3,0		33,3
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>		4,5			91,7
	Mastogloiales	Achnanthesaceae	<i>Haloroundia</i>				4,0	
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	<i>Mastogloia</i>		11,0			33,3
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Campylodiscus</i>					12,5
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	4,5	9,5	13,5	9,5	116,7
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	11,0	30,5	28,5	21,5	654,2
	Naviculales	Proschkiniaceae	<i>Proschkinia</i>			1,5	1,0	87,5
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Rhopalodia</i>			0,5		12,5
	Naviculales	Neidiaceae	<i>Scoliopleura</i>		7,0			4,2
	Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Stauroneis</i>		1,5			
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>					8,3	
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>		8,0			187,5
Chlorophyceae	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>		0,5		0,5	4,2
<b>Límites LB (*)</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación Ver-2019</b>				
<b>Abundancia total (cel/mL)</b>		<b>24</b>	<b>10110</b>	<b>28,0</b>	<b>125,0</b>	<b>48,0</b>	<b>38,0</b>	<b>1333,4</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>		<b>6</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>15</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,02</b>	<b>2,14</b>	<b>1,08</b>	<b>1,19</b>	<b>1,76</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,93</b>	<b>0,86</b>	<b>0,60</b>	<b>0,66</b>	<b>0,65</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector Peine durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota 1:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor consignado para Abundancia Total como máximo en la LB corresponde a 10110 cel/mL, y no a 4.905.000 cel/mL, como se indicó en el Informe Anual 2. Respecto de la Riqueza, el valor consignado como mínimo en la LB corresponde a 6 géneros, y no a 5, y como máximo de riqueza de 14 géneros, y no de 17, como se indicó en el Informe Anual 2. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud. **Nota 2:** Los valores consignados en el Informe Anual 1, correspondientes a abundancias y riquezas consideraron valores en distintas unidades de área cel/mm<sup>3</sup> y cel/mm<sup>2</sup> para abundancia, no realizándose homogenización de unidades, mejoramiento que se aplicó para el Informe Anual 2. En tanto, en el Informe Anual 1 para las riquezas se consideraron riquezas de especies y géneros de modo indistinto, situación que se corrigió a partir del Informe Anual 2. En el presente Informe Anual 3, se consideró datos de LB homogenizados en la misma unidad de área en la que

se encuentran los resultados de los monitoreos para hacerlos comparables, esto es, abundancia en cel/cm<sup>2</sup> y riqueza a nivel de géneros.

**Figura N° 9-17. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (verano 2019).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.3.3.2.3 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 7 géneros. Cabe destacar que, la estación TB-2 se encontró sin agua en esta campaña. La riqueza por estación fluctuó entre 4 y 5 géneros en TB-1 y TB-3 respectivamente. Respecto a las abundancias registradas en las estaciones TB-1 y TB-3 presentaron valores entre 386,0 y 31,0 cel/mL (**Tabla N° 9-43**). 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, *Halamphora* presentó la mayor abundancia relativa entre las estaciones de vegas de Tilopozo **Figura N° 9-18**.



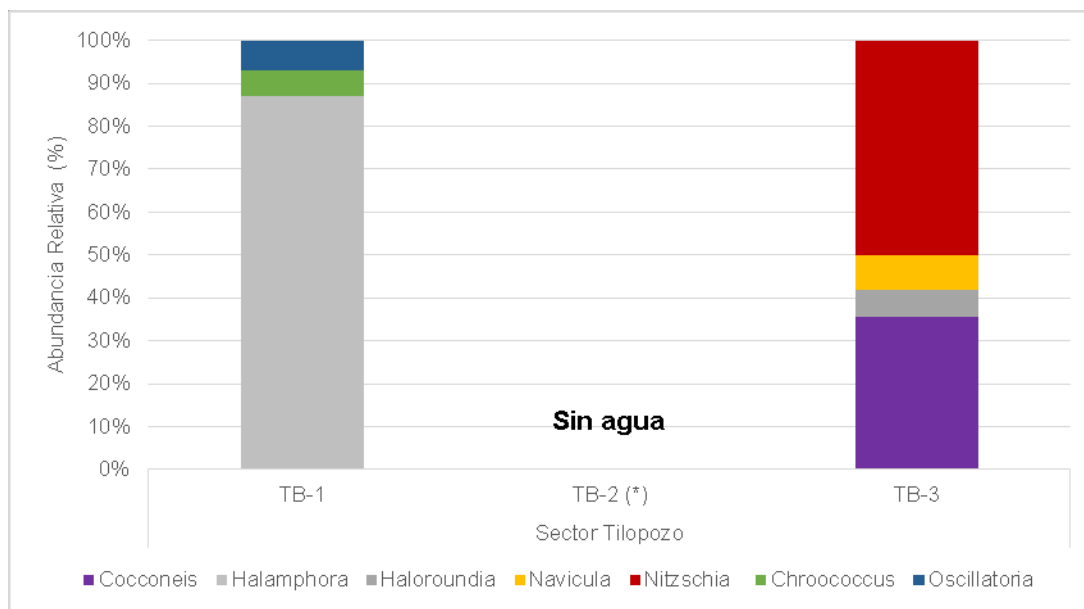
Respecto a la dominancia por clase de la comunidad de fitoplancton de vegas de Tilopozo, se observó que la clase con mayor representatividad correspondió a Bacillariophyceae por sobre Chlorophyceae y Conjugatophyceae.

**Tabla N° 9-43. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (verano 2019).**

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones			
				Sector Tilopozo			
				TB-1	TB-2 (*)	TB-3	
Bacillariophyceae	Achnanthes	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>		sin agua	11	
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Halamphora</i>	336			
	Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Haloroundia</i>			2	
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>			2,5	
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>			15,5	
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	23			
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	27			
<b>Abundancia total (cel/mL)</b>				<b>386,0</b>			<b>31,0</b>
<b>Riqueza de géneros (S)</b>				<b>4</b>			<b>5</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>0,47</b>			<b>1,09</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,43</b>		<b>0,79</b>	

(\*) La estación TB-2 se encontró sin agua al momento del muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 9-18. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (verano 2019).**

Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.3.3.3 Zooplancton

Los organismos zooplanctónicos corresponden a 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 otros zooplancteres en estado larvario. Son el eslabón entre los productores primarios y los niveles tróficos superiores, siendo predados también por la avifauna como flamencos, los cuales se alimentan de microorganismos que componen tanto el fitoplancton como el zooplancton. Los más conspicuos en ecosistemas salinos son los copépodos del género *Boeckella* y el branquiópodo *Artemia franciscana* (De los Ríos-Escalante, 2010).

A continuación se presentan los resultados del zooplancton obtenidos en la campaña de monitoreo de verano 2019.

9.2.3.3.3.1 Sector Peine

En la comunidad de zooplancton del sector de Peine en verano 2019, se observaron riquezas entre 1 taxón y 2 taxa en las estaciones de muestreo. Se registró un taxón, solamente en la estación I-17, mientras que en el resto de las estaciones se registraron 2 taxa. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el branquiópodo *Artemia franciscana* (característico de sistemas acuáticos salinos), por los copépodos Harpacticidae *Tigriopus* sp. y por anfípodos del género *Hyaella*. En el caso de *A. franciscana*, los individuos capturados se encontraron principalmente en el estado larvario de Nauplius y de Metanauplius (Tabla N° 9-44).

Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton fueron bajos y variaron entre los 0,32 ind/L en I-17 (laguna Interna) y 9,05 ind/L en S-10 (laguna Saladita). Los organismos más abundantes en este sector fueron *A. franciscana*, seguidos por los Harpacticidae del género *Tigriopus*. Cabe mencionar que en la estación S-9 (laguna Salada) solo se encontró *Tigriopus* sp. y anfípodos *Hyaella*, en I-17 (laguna Interna) solo *A. franciscana* y en el resto de las estaciones ocurrieron ambos taxa, pero mayoritariamente *A. franciscana* (Tabla N° 9-44).

Respecto a la diversidad (H) y equidad (J'), no se pudieron 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 muy bajas (entre 0,03 y 0,35 nits/ind) y las equidades bajas (entre 0,05 y 0,50) debido a la baja riqueza de taxa y por las bajas diferencias entre las abundancias de *A. franciscana* y *Tigriopus* sp (Tabla N° 9-44).

**Tabla N° 9-44. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine (verano 2019).**

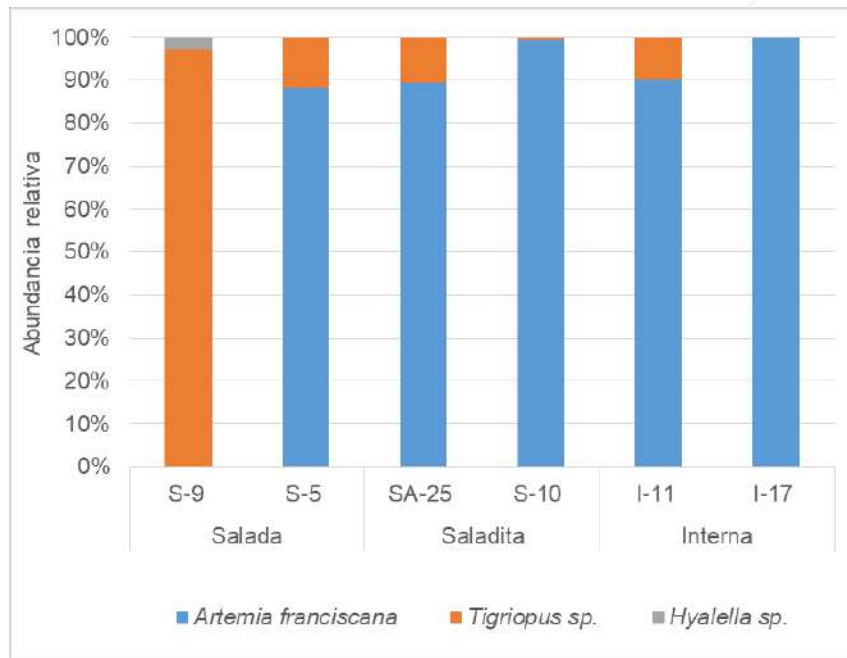
Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Branchiopoda	Anostraca	Artemiidae	<i>Artemia franciscana</i> (*)		0,60	5,77	9,00	0,65	0,32
Hexanauplia (SC Copepoda)	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.	0,67	0,08	0,68	0,05	0,07	
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	<i>Hyaella</i> sp.	0,02					
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación en Verano 2019</b>					
<b>Abundancia total (Ind/L)</b>		<b>0,0</b>	<b>137,3</b>	<b>0,68</b>	<b>0,68</b>	<b>6,45</b>	<b>9,05</b>	<b>0,72</b>	<b>0,32</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,11</b>	<b>0,35</b>	<b>0,34</b>	<b>0,03</b>	<b>0,31</b>	<b>-</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,17</b>	<b>0,50</b>	<b>0,49</b>	<b>0,05</b>	<b>0,45</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Incluye larvas Nauplius, Metanauplius y Adultos de *Artemia franciscana*. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en estas estaciones del sector Peine durante todas las campañas de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores

máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

La **Figura N° 9-19** muestra los *taxa* dominantes en cada una de las estaciones, donde se observa que los zooplancteres capturados correspondieron en su mayoría al branquiópodo de la especie *Artemia franciscana*, la cual es característica de ambientes salinos acuáticos y fue encontrada en la mayoría de las estaciones de muestreo (S-5 a I-17). El copépodo *Tigriopus sp.* fue dominante solo en S-9 y desde S-5 a I-11 ocurrió de forma secundaria.

**Figura N° 9-19. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Peine (verano 2019).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.3.3.2 Sector La Punta y La Brava

En el sector de las lagunas La Punta (LP) y La Brava (LB), se registró un total de 3 *taxa* de organismos zooplanctónicos en verano de 2019, con riquezas entre 1 taxón y 3 *taxa* por estación, siendo la mínima la obtenida en la estación LB-3 (La Brava) y la máxima en la estación LP-23 (La Punta). La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el branquiópodo *Artemia franciscana* (mayoritariamente en estado adulto y Metanauplius), por copépodos Calanoida de la especie *Boeckella popoensis* (familia Centropagidae) y por copépodos Harpacticoida del género *Tigriopus*. El taxón con mayor

frecuencia fue *Tigriopus* sp., que se encontró en todas las estaciones de este sector (**Tabla N° 9-45**).

Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron en un rango de 0,25 a 30,98 ind/L, con un mínimo obtenido en LB-2 y un máximo en LB-1. Los organismos más abundantes fueron los copépodos *Tigriopus* sp., alcanzando 21,2 ind/L en LB-3, seguidos por *A. franciscana* que obtuvo un máximo de 14,7 ind/L en LB-1 (**Tabla N° 9-45**).

Referente a las diversidades estimadas, estas fueron bajas tanto para las estaciones de la laguna La Brava como para la laguna La Punta (entre 0,56 y 0,85 nits/ind). Por su parte, la equidad tendió a ser alta en la mayoría de las estaciones (valores entre 0,77 y 1,00), debido a que las abundancias de sus *taxa* fueron similares (**Tabla N° 9-45**).

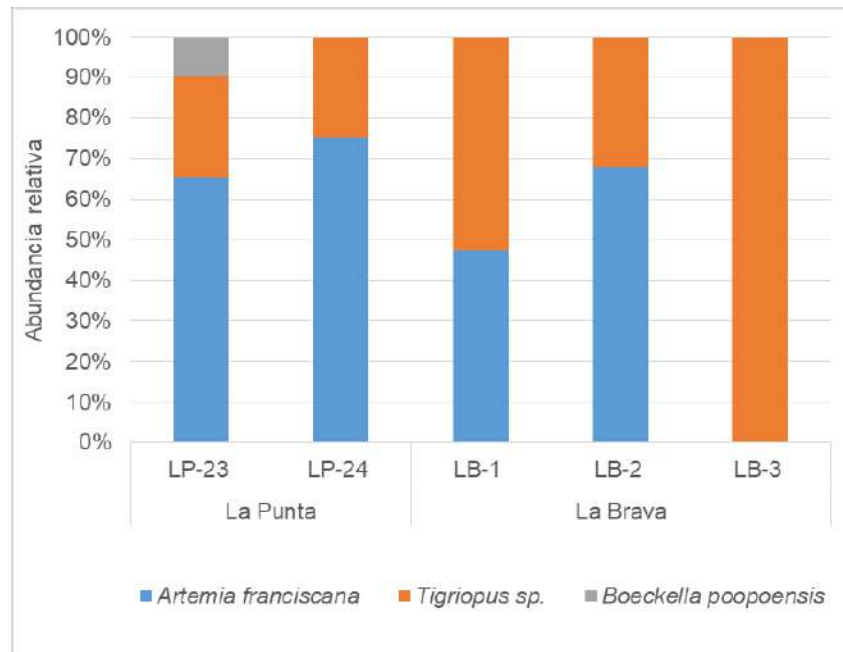
**Tabla N° 9-45. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava (verano 2019).**

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> (*)	6,85	4,85	14,70	0,17	
Hexanauplia (SC Copepoda)	Harpacticoida	Harpacticidae	<i>Tigriopus</i> sp.	2,60	1,60	16,28	0,08	21,20
	Calanoida	Centropagidae	<i>Boeckella poopoensis</i>	1,00				
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación en Verano 2019</b>				
<b>Abundancia total (Ind/L)</b>		<b>0,0</b>	<b>239,1</b>	<b>10,45</b>	<b>6,45</b>	<b>30,98</b>	<b>0,25</b>	<b>21,20</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>0</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,85</b>	<b>0,56</b>	<b>0,69</b>	<b>0,64</b>	<b>-</b>
<b>Equidad (J')</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,77</b>	<b>0,81</b>	<b>1,00</b>	<b>0,92</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración propia. (\*) Incluye larvas Nauplius, Metanauplius y Adultos de *Artemia franciscana*. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en estas estaciones del sector La Punta - La Brava durante todas las campañas de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

La estructura comunitaria del zooplancton en el sector, muestra que el grupo dominante en laguna La Punta (LP-23 y LP-24) fue *A. franciscana*, mientras que las estaciones de laguna La Brava, fueron mayormente representadas por los copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp. y secundariamente por *A. franciscana*, observándose un descenso de LB-1 a LB-3 en la proporción de *A. franciscana* respecto a los harpacticóideos (**Figura N° 9-20** y **Tabla N° 9-45**).

**Figura N° 9-20. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2019).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.3.3.3 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2019, tanto en TB-1 como en TB-3, no se encontraron organismos zooplanctónicos en las muestras colectadas. 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 verano 2019 esta estación se encontró sin agua.

#### 9.2.3.3.4 Zoobentos

Se refiere a la fauna de invertebrados que habita los sustratos sumergidos de los medios acuáticos. En las lagunas salinas el zoobentos está constituido por crustáceos como anfípodos y copépodos, gran cantidad de larvas de insectos (Chironomidae, Ceratopogonidae, Ephydriidae, entre otros), gusanos Lumbriculidae y moluscos gastrópodos como *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014), entre otros. Los organismos zoobentónicos corresponden a consumidores secundarios de los ecosistemas acuáticos, siendo activos carnívoros, herbívoros y detritívoros, siendo el eslabón entre los

productores primarios, consumidores secundarios y los niveles tróficos superiores. A continuación se presentan los resultados de la campaña de monitoreo de verano 2019.

#### 9.2.3.3.4.1 Sector Peine

En el sector Peine el zoobentos presentó una pobre riqueza de *taxa*, con un máximo de tres *taxa* en la estación S-9, dos *taxa* en la estación S-5, solo un taxón en las estaciones SA-25, S-10 e I-11, respectivamente y ningún organismo en la estación I-17. La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por larvas de insectos dípteros de las familias Dolichopodidae, Empididae, Ephydriidae y Stratiomyidae y por moluscos gasterópodos *Heleobia* sp. (Tabla N° 9-46).

Los valores de abundancia total por estación estuvieron en el rango de 0 ind/m<sup>2</sup> en I-17 (laguna Interna) a 1625 ind/m<sup>2</sup> en S-9 (laguna Salada). Los organismos más abundantes fueron las larvas de insectos Stratiomyidae y los gasterópodos *Heleobia* sp. Las estimaciones de diversidad (H) y equidad (J') solo se pueden calcular matemáticamente en las estaciones que tengan 2 o más *taxa* registradas, en este caso solo para las estaciones S-9 y S-5 se pudieron realizar las estimaciones, resultando en bajas diversidades de 0,98 y 0,56 nits/ind y una equidad alta de 0,90 y 0,81, respectivamente. Estos últimos valores estuvieron dados por las abundancias similares obtenidas para cada estación (Tabla N° 9-46).

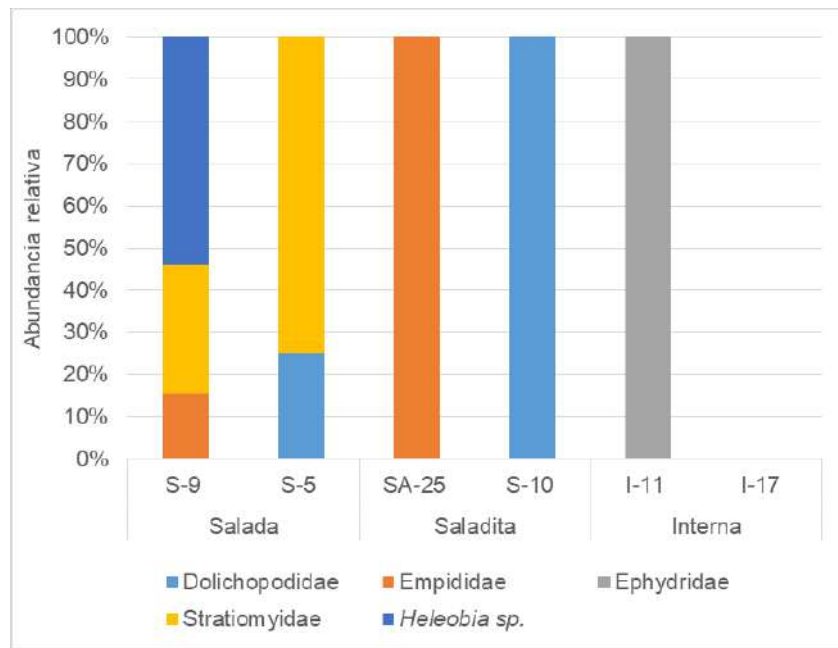
**Tabla N° 9-46. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector Peine (verano 2019).**

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Insecta	Diptera	Dolichopodidae	Dolichopodidae indet.		125		125		
		Empididae	Empididae indet.	250		375			
		Ephydriidae	Ephydriidae indet.					750	
		Stratiomyidae	Stratiomyidae indet.	500	375				
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia</i> sp.	875					
<b>Límites LB</b>		<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación</b>					
<b>Abundancia total (Ind/m<sup>2</sup>)</b>		-	-	<b>1625</b>	<b>500</b>	<b>375</b>	<b>125</b>	<b>750</b>	<b>0</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>		-	-	<b>0,98</b>	<b>0,56</b>	-	-	-	-
<b>Equidad (J')</b>		-	-	<b>0,90</b>	<b>0,81</b>	-	-	-	-

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 todas las campañas de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de riqueza de familias de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

La **Figura N° 9-21** muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector, permitiendo identificar los *taxa* dominante en cada estación, con dominancia de *Heleobia* sp. en S-9, el díptero *Stratiomyidae* en S-5, *Empididae* como único taxón en SA-25, al igual que *Dolichopodidae* en S-10 y *Ephydridae* en la estación I-11.

**Figura N° 9-21. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (verano 2019).**



Fuente: Elaboración propia.

#### 9.2.3.3.4.2 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-23, solo un taxón en las estaciones LP-24 y LB-2 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 *Ephydridae* y *Stratiomyidae* (**Tabla N° 9-47**).

Los valores de abundancia total por estación fueron bajos y estuvieron en el rango de 0 ind/m<sup>2</sup> en LB-1 a 375 ind/m<sup>2</sup> en LP-23. Los organismos más abundantes fueron las larvas de insectos *Stratiomyidae*, alcanzando los 250 ind/m<sup>2</sup> en LP-23 (La Punta) (**Tabla N° 9-47**).

Las estimaciones de diversidad (H) y equidad (J') solo se pueden calcular matemáticamente en las estaciones que tengan 2 o más *taxa* registradas, en este caso



solo se pudieron obtener en la estación LP-23, resultando una baja diversidad de 0,64 nits/ind dado por registrarse solo 2 *taxa* y una equidad alta de 0,92 dada porque las abundancias fueron similares en esa estación (Tabla N° 9-47).

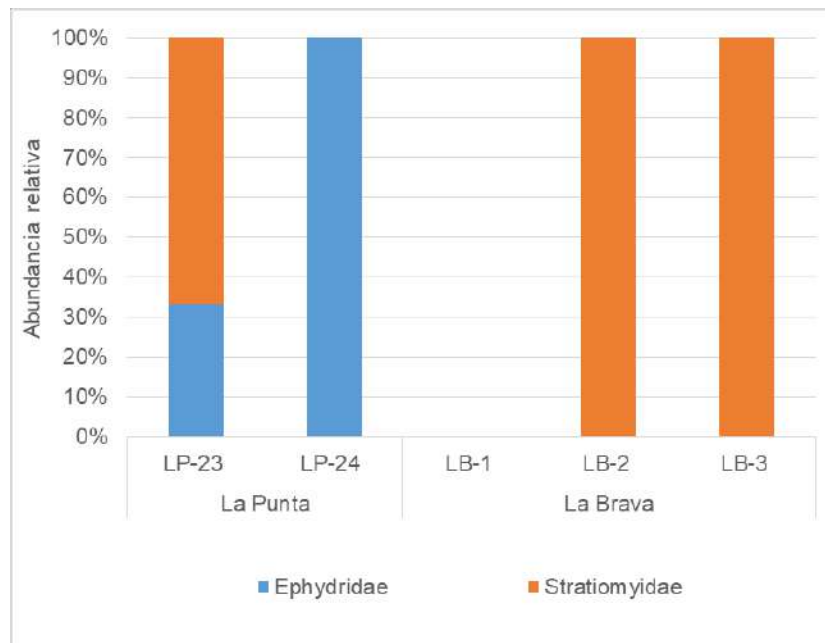
**Tabla N° 9-47. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en en Sector La Punta y La Brava (verano 2019).**

Clase	Orden	Familia	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Insecta	Diptera	Ephydriidae	125	125			
		Stratiomyidae	250			125	250
<b>Límites LB</b>	<b>Mínimo LB</b>	<b>Máximo LB</b>	<b>Valores por estación</b>				
<b>Abundancia total (Ind/m<sup>2</sup>)</b>	-	-	<b>375</b>	<b>125</b>	<b>0</b>	<b>125</b>	<b>250</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Diversidad (nits/ind)</b>	-	-	<b>0,64</b>	-	-	-	-
<b>Equidad (J')</b>	-	-	<b>0,92</b>	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos de riqueza de familias registrados en estas estaciones del sector La Punta – La Brava durante todas las campañas de la Línea Base. **Nota:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de riqueza de familias de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico.

La **Figura N° 9-22** muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector, permitiendo identificar los *taxa* dominante en cada estación, con dominancia de Stratiomyidae en LP-23, Ephydriidae en L-24 y Stratiomyidae en LB-2 y LB-3, respectivamente.

**Figura N° 9-22. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2019).**



Fuente: Elaboración propia

#### 9.2.3.3.4.3 Sector Tilopozo

En el sector Tilopozo el zoobentos presentó una riqueza de 2 *taxa* solo en la estación TB-1. La fauna zoobentónica en esa estación estuvo compuesta por Ostrácodos del género *Herpetocypris* y gasterópodos de la especie *Heleobia atacamensis* (Tabla N° 9-48).

La abundancia total en TB-1 fue de 2.625 ind/m<sup>2</sup>. Cabe mencionar que en la campaña de verano 2019 la estación TB-2 se encontró sin agua y en la estación TB-3 no se encontraron organismos zoobentónicos. El organismo más abundante fue el molusco gasterópodo *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014) alcanzando los 2.375 ind/m<sup>2</sup>, seguido por los ostrácodos *Herpetocypris* sp. con 250 ind/m<sup>2</sup> en la estación TB-1 (Tabla N° 9-48).

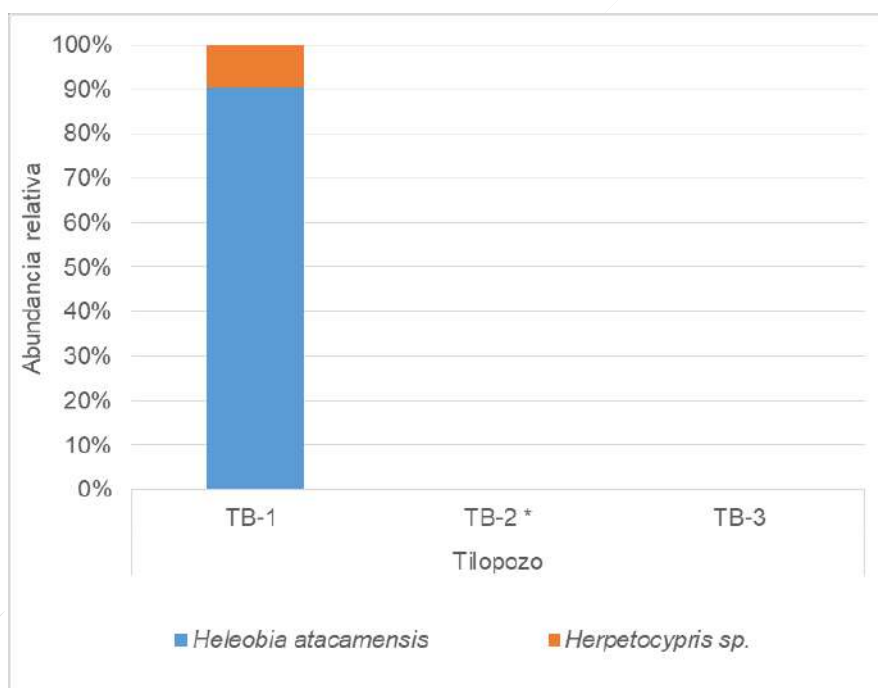
Las estimaciones de diversidad (H) y equidad (J') fueron de 0,31 nits/ind y 0,45, respectivamente. Este último valor fue dado porque las abundancias de los *taxa* en esa estación no fueron similares (Tabla N° 9-48).

La estructura comunitaria del zoobentos en el sector, muestra una dominancia absoluta de *Heleobia atacamensis* en la estación TB-1 (Figura N° 9-23).

**Tabla N° 9-48. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza en Sector Tilopozo (verano 2019).**

Clase	Orden	Familia	Taxa	TB-1	TB-2 (*)	TB-3
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	<i>Heleobia atacamensis</i>	2375	Sin agua	
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	<i>Herpetocypris sp.</i>	250		
<b>Abundancia total (Ind/m<sup>2</sup>)</b>				<b>2625</b>		<b>0</b>
<b>Riqueza de taxa (S)</b>				<b>2</b>		<b>0</b>
<b>Diversidad Shannon (nits/ind)</b>				<b>0,31</b>		<b>-</b>
<b>Equidad (J')</b>				<b>0,45</b>	<b>-</b>	

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

**Figura N° 9-23. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2019).**

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

#### 9.2.3.3.5 Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

La comunidad de plantas vasculares acuáticas (macrófitas), corresponde a la comunidad que conforma la vegetación acuática, ya sea especies de vegetación emergente o sumergida, ya sea enraizada o flotante, en los sistemas acuáticos (Ramírez & San Martín 2006). Por otra parte, se debe distinguir entre hidrófita que corresponde a las plantas que viven todo su ciclo de vida dentro del agua en zonas litorales de lagos, lagunas, ríos entre otros y 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 verano 2019, fueron detectadas 8 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*, *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° 9-49**).

**Tabla N° 9-49. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (verano 2019).**

Clase	Familia	Especie	Nombre Común	Hábito	Origen
Liliopsida	Ruppiaaceae	<i>Ruppia filifolia</i>	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>	Tотора	Helófita	Nativa
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	Junco	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i>	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>	Gramma salada	Helófita	Nativa
Rosopsida	Chenopodiaceae	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Baccharis</i> sp.	Romerillo	Helófita	Nativa

Fuente: Elaboración propia.

Los sectores de Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza de plantas vasculares acuáticas (**Tabla N° 9-50**), las que oscilaron entre una especie en el sector Peine, 3 especies en el sector La Punta – La Brava y de 4 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 20 y 80% en el sector Peine y entre 13 y 15% de cobertura en La Punta, mientras que en La Brava no fue detectada. Cabe destacar, que esta especie se encontró sumergida y distribuida en el centro o en las orillas de las lagunas. Por otra parte, en las

orillas de la laguna La Punta en las estaciones LP-24 y LP-23 se reportó la presencia de las helófitas emergentes *Triglochin concinna* y *Sarcocornia fruticosa* y en la laguna La Brava solo se reportó un pequeño parche aislado de *T. concinna*.

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, TB-2 y TB-3, *Distichlis spicata* en TB-1 y *Baccharis* sp. en TB-3. Como ya ha sido mencionado, la estación TB-2 no presentó agua superficial. En TB-2 fue detectada un 100% de cobertura de *S. californicus* (Totora) (**Tabla N° 9-50**).

La **Tabla N° 9-50** presenta el resumen de los registros de macrófitas para los tres sectores de estudio en sus distintas estaciones y su porcentaje de cobertura total.

**Tabla N° 9-50. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio.**

Especie	Estaciones													
	Sector Peine						Sector La Punta – La Brava					Sector Tilopozo		
	S-5	S-9	SA-25	S-10	I-11	I-17	LP-24	LP-23	LB-1	LB-2	LB-3	TB-1	TB-2	TB-3
<i>Ruppia filifolia</i>	X (20%)	X (80%)	X (70%)				X (15%)	X (13%)						
<i>Zannichellia palustris</i>												X (33%)		X (33%)
<i>Schoenoplectus californicus</i>												X (42%)	X (100%)	X (33%)
<i>Juncus balticus</i>														
<i>Triglochin concinna</i>								X (3%)		X (27%)				
<i>Distichlis spicata</i>												X (25%)		
<i>Sarcocornia fruticosa</i>								X (63%)						
<i>Baccharis</i> sp.														X (33%)
<b>Riqueza Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

N=3. Cuadrante 50x50 cm. Fuente: Elaboración propia.

#### **9.2.4 Límites considerados en la evaluación de Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos)**

Para las variables físicas y químicas del agua y sedimentos, en la RCA 21/2016 del proyecto, queda establecido como niveles o límites comprometidos para esta componente, la “Mantenimiento dentro de su variación histórica”. De esta manera se puede comparar lo observado durante la etapa previa a la etapa de construcción del proyecto (LB- PMB), con los resultados obtenidos en los monitoreos realizados posteriormente hasta la fecha. Para las comunidades biológicas se aplicó el mismo criterio.

Cabe destacar que el sector Tilopozo no cuenta con antecedentes de Línea de Base dentro del PMB, por lo que sólo se pueden realizar comparaciones entre monitoreos y lo adecuado es que sea entre los mismos periodos estacionales, esto es invierno (2016, 2017 y 2018) y verano (2017, 2018 y 2019).

La elección de mínimos y máximos permite capturar la variación anual e interanual (idealmente) registrada a lo largo de los monitoreos incorporados en el Plan de Manejo Biótico. Así, se pueden detectar posibles anomalías en los parámetros, o variaciones en relación al registro previo, que requieran poner especial atención a la componente de estudio.

Dentro de los parámetros de química de agua, la Línea Base del PMB cuenta con 5 campañas de estudio, realizadas respectivamente en septiembre de 2008, septiembre 2013, abril 2014, julio 2014 y febrero 2015. Si bien no fueron evaluados exactamente los mismos parámetros en todas ellas, la mayoría de los parámetros escogidos para el monitoreo cuentan con al menos dos valores como antecedente, exceptuando Carbonato, Bicarbonato y Amonio, y Ortofosfato que cuentan solo con el registro de febrero de 2015. Esta información es clave a la hora de dar seguimiento y evaluar en relación a los antecedentes existentes, ya que la variación histórica establecida, en algunos casos corresponde sólo a uno o dos datos.

Para los parámetros de química de sedimentos solo se cuenta con los antecedentes obtenidos durante la campaña de febrero de 2015, esta situación dificulta la comparación de los resultados de los monitoreos, debido a que esta única campaña no ofrece una visión de la variación anual que podrían presentar los parámetros con el paso de las distintas estaciones del año. Así, un resultado fuera del rango Mínimo-Máximo establecido podría deberse a una variación natural y no necesariamente a un efecto del proyecto.

Para el caso del fitobentos y fitoplancton, el análisis comparativo entre línea de base y monitoreo se consideró la comparación de la riqueza de géneros y la abundancia total con

los rangos de variación (mínimo y máximo) de la línea de base contemplados en el Plan de Manejo Biótico. Para ello se consideró los períodos de septiembre 2008, septiembre 2013, y julio 2014 como periodos de invierno y los periodos de abril 2014 y febrero 2015 como períodos de verano. Estos datos fueron comparados con lo detectado en las respectivas campañas de invierno 2018 y verano 2019.

Cabe destacar que las unidades de concentración de abundancia del fitobentos y fitoplancton en las campañas de línea de base que se reportaron en algunos casos fueron distintas ( $\text{cel}/\text{mm}^3$  y  $\text{cel}/\text{mm}^2$ ) y no comparables, por lo que se procedió a homogeneizar las unidades de concentración a  $\text{cel}/\text{cm}^2$  para el fitobentos y a  $\text{cel}/\text{mL}$  en el fitoplancton. En relación a las riquezas del fitobentos y fitoplancton, como se reportaron las microalgas entre campañas de LB y monitoreo en distintos niveles de resolución taxonómica, para hacerlas comparables en el tiempo se llevaron todas las microalgas a nivel de géneros, para de esta manera contabilizar el número de géneros por campañas (riqueza), en un nivel de resolución taxonómica de mayor precisión.

Respecto al zooplancton, el análisis comparativo entre la línea de base y los monitoreos de invierno 2018 y verano 2019, consideró como rangos de variación (mínimo y máximo) los valores extremos de riqueza de *taxa* y abundancia total por estación, obtenidos en la línea de base del Plan de Manejo Biótico. Para ello se consideró los períodos de septiembre 2008, 2013, y julio 2014 como periodos de invierno y los periodos de abril 2014 y febrero 2015 como períodos de verano, períodos donde hubo capturas y registros de organismos zooplanctónicos.

Para la comunidad zoobentónica, si bien se cuenta con registros en la Línea Base de abundancias por *taxa*, estos no son comparables con las abundancias registradas en el monitoreo del PMB, debido a que se encuentran en unidades distintas no transformables (individuos/litro) respecto a lo obtenido en las campañas de monitoreo del PMB (individuos/ $\text{m}^2$ ). Tal información se encuentra disponible de esta forma en el documento *Anexo 2, Adenda 5 RWL. Plan de Manejo Biótico. Informe consolidado de Líneas bases. Ecosistemas Terrestres y Ecosistemas Acuáticos Continentales* (PMB, 2015).

## 10 AREA DE LAGUNAS

El Salar de Atacama, se encuentra ubicado en una cuenca endorreica tectónica, delimitada por la Cordillera de Los Andes (6.000 m s.n.m) al Este, y por la Cordillera de Domeyko (3.000 m s.n.m) al Oeste (Ortiz, C. *et al*, 2014). Además, presenta la característica que la dinámica natural de humedales está controlada fundamentalmente por el aporte de agua subterránea y condiciones climáticas regionales, esto los hace particularmente frágiles. 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 cuatro 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 diciembre de 2018**.

En este contexto, este informe presenta el monitoreo y seguimiento ambiental de las “Superficies cubierta por lagunas”, mediciones de invierno y verano de 2018, 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 (m<sup>2</sup>), 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)<sup>24</sup>”, 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 componente y la variable ambiental objeto de monitoreo, asociada al análisis de imágenes satelitales.

<sup>24</sup> 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.



**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 <sup>2</sup> )	Análisis de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales con un pixel máx. de 4 metros, <b>que incluirán los dos sistemas lagunares.</b> 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 mismas<sup>25</sup> y Vegetación Azonal, y en suma componen las 3 variables de estado indicativas, establecidas para el seguimiento y análisis del estado ecológico del Sistema (Ref. Cap-4.2.7 Criterios para detección de cambio de estado ecológico - Adenda 5 RWL, 2015).

Para el logro del objetivo propuesto inicialmente se realizó el muestreo para la 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**.

<sup>25</sup> Capítulo 11 “Niveles Freáticos de Lagunas” del consolidado de informes anuales; de acuerdo con el EIA se comprometen niveles para los sistemas (1) La Punta – La Brava; y (2) Peine.

**Tabla N°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 Jessica Labarca Victoria Perry David Avaca Jefe de Proyecto: Jorge Ramos
	<u>Trabajo en gabinete</u> : Aplicación del modelo de clasificación supervisada y análisis de resultados.	Encargada del componente: Victoria Perry
Apogeos	<u>Trabajo en gabinete</u> : Correcciones y adquisición de imágenes satelitales. Fuente: Elaboración Propia	Especialistas en gabinete: Tomás Lizama Jessica Labarca Lorena Bustamante (Especialista)

En síntesis, 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 y diciembre de 2018. Posteriormente, se detallan los resultados de la cobertura determinada para los cuerpos de agua por sistema lagunar, desde imágenes de alta resolución, comparándolos con los registros históricos de línea de base, con resultados de campañas anteriores y con la superficie determinada a partir de Landsat 8, con el fin de realizar un análisis comparativo entre los monitoreos de invierno 2018 y verano 2018, y con los resultados obtenidos desde el primer año de monitoreo (2016), incluido el año 2017.

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 tercer informe consolidado anual se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- Presentar las coberturas de cuerpos de agua calculadas en agosto y diciembre de 2018 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.
- Comparar las coberturas de los sistemas lagunares calculadas desde imágenes de alta resolución con los registros históricos determinados en la línea de base del componente y establecidos en el PMB (Adenda 5 RWL, 2015).
- Contrastar las coberturas de los sistemas lagunares definidas para la fase de construcción con las coberturas de los sistemas lagunares definidas para la fase de operación, obtenidas desde imágenes satelitales de alta y media resolución.

## 10.1 MATERIALES Y MÉTODOS

### 10.1.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se sitúa en el Salar de Atacama, en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa, extremo oriente de la II Región de Antofagasta y se encuentra a una altura geográfica aproximada de 2.300 m s.n.m

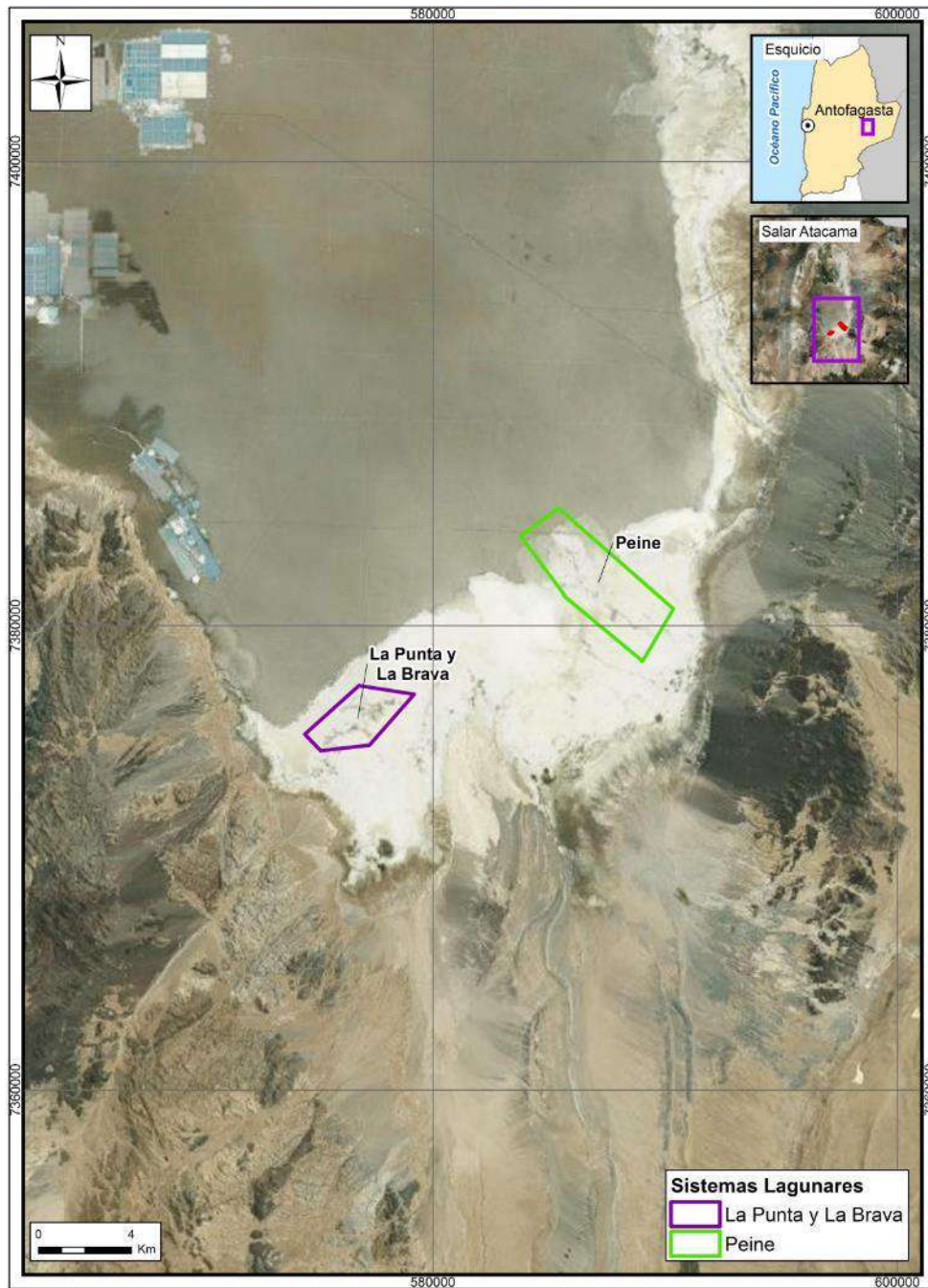
Esta área corresponde a los Sistemas Lagunares establecidos en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos (PSAH), que para efecto del PMB corresponden a dos sistemas lagunares del Salar de Atacama (**Figura N°10-1**), conformando un área de estudio total de 2.495,1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

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

El parámetro de seguimiento utilizado en el presente análisis corresponde a la “superficie o área (m<sup>2</sup>)” calculada por sistema lagunar a través de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales, con un pixel máximo de 4 metros, en base a la metodología de Índice Normalizado de Diferencias de Agua (NDWI) indicada en Adenda 5 RWL, (2015).

### 10.1.3 Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua

Esta etapa del estudio conllevó el trabajo en terreno, el cual se realizó con la finalidad de coleccionar los datos que 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.

El propósito del muestreo es validar el recubrimiento de suelo, mediante réplicas de los puntos levantados desde el primer año de monitoreo: en agosto y diciembre de 2016, agosto y diciembre de 2017, y agosto y diciembre de 2018, en zonas representativas de cuerpos de agua permanentes y zonas que presentan diferencias intra e interanuales, a lo que se suma el criterio de accesibilidad.

La colección de datos para este año se realizó en dos campañas, las que se llevaron a cabo entre el **14 y el 17 de agosto de 2018** (invierno de 2018), y entre el **19 y el 22 de diciembre de 2018** (verano de 2018). En forma paralela a cada campaña, se realizó la captura de las imágenes satelitales tanto de alta resolución (Pleiades-1A), como de Landsat 8. La metadata de las imágenes se presenta en el **Anexo Área de Lagunas**. Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron modelo *Phantom 3 Advance* con cámara de 12 mega pixeles en los sectores de La Punta y La Brava y Peine.

El diseño de muestreo implementado corresponde al tipo *aleatorio –estratificado y estratificado- dirigido* mediante transectos, en los dos 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.

La **Tabla N°10-3** y **Tabla N°10-4** 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 2018, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.**

SISTEMA LAGUNAR	CLASIFICACIÓN POR RECUBRIMIENTO DE SUELO	PUNTOS DE VALIDACIÓN TERRENO	
		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	169	47
	Cuerpos de agua	136	50
	<b>Total sistema lagunar</b>	<b>305</b>	<b>97</b>
Peine	Otros recubrimientos	58	56
	Cuerpos de agua	133	126
	<b>Total sistema lagunar</b>	<b>191</b>	<b>182</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>496</b>	<b>279</b>

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N°10-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2018, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.**

SISTEMA LAGUNAR	CLASIFICACIÓN POR RECUBRIMIENTO DE SUELO	PUNTOS DE VALIDACIÓN TERRENO	
		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	213	72
	Cuerpos de agua	92	25
	<b>Total sistema lagunar</b>	<b>305</b>	<b>97</b>
Peine	Otros recubrimientos	62	61
	Cuerpos de agua	129	121
	<b>Total sistema lagunar</b>	<b>191</b>	<b>182</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>496</b>	<b>279</b>

Fuente: Elaboración Propia.

#### 10.1.4 Materiales y equipos utilizados

El equipo utilizado en las campañas de agosto y diciembre de 2018 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 ambas campañas un dron modelo *Phantom 3 Advance* con cámara de 12 mega pixeles, con vuelo programado a 200 metros de altura en los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine.

#### 10.1.5 Metodología de muestreo y/o medición

El muestreo en terreno se llevó a cabo mediante el **levantamiento de puntos de monitoreo con receptores Full GNSS/GPS**, que consistió en el marcaje del tipo de recubrimiento de suelo mediante tecnología Geo-Estacionaria de posicionamiento en tiempo real al decímetro (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 las campañas de invierno y verano 2018, este muestreo se implementó en los puntos de réplicas estacionales de las campañas de invierno y verano de 2016 y 2017, en zonas representativas de lagunas permanentes y donde se determinaron las principales diferencias entre la medición de terreno y el modelo de clasificación supervisada, en períodos intra e interanuales, resguardando las condiciones de accesibilidad, seguridad y permisos respectivos en zonas de acceso restringido (**Anexo Área de Lagunas**).

Posteriormente, en el software GIS ArcMap 10.0 se validaron 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, proceso en el que se les asignó a estos puntos el tipo de recubrimiento de suelo (Cuerpo de agua / Otro recubrimiento). El **Anexo Área de Lagunas** muestra la distribución de los puntos de validación en cada sistema lagunar de estudio y el detalle de sus coordenadas.



## 10.1.6 Metodología de análisis de las imágenes satelitales para delimitación de cuerpos de agua

### 10.1.6.1 Imágenes de alta resolución – Pleiades-1A

Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio, provienen del sensor Pleiades-1A, y conforma un mosaico correspondiente a los sistemas de Peine y La Punta y La Brava (**Figura N°10-2; Figura N°10-3**). La fecha de captura de invierno es 17 de agosto de 2018 y de verano es 21 de diciembre de 2018. 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.

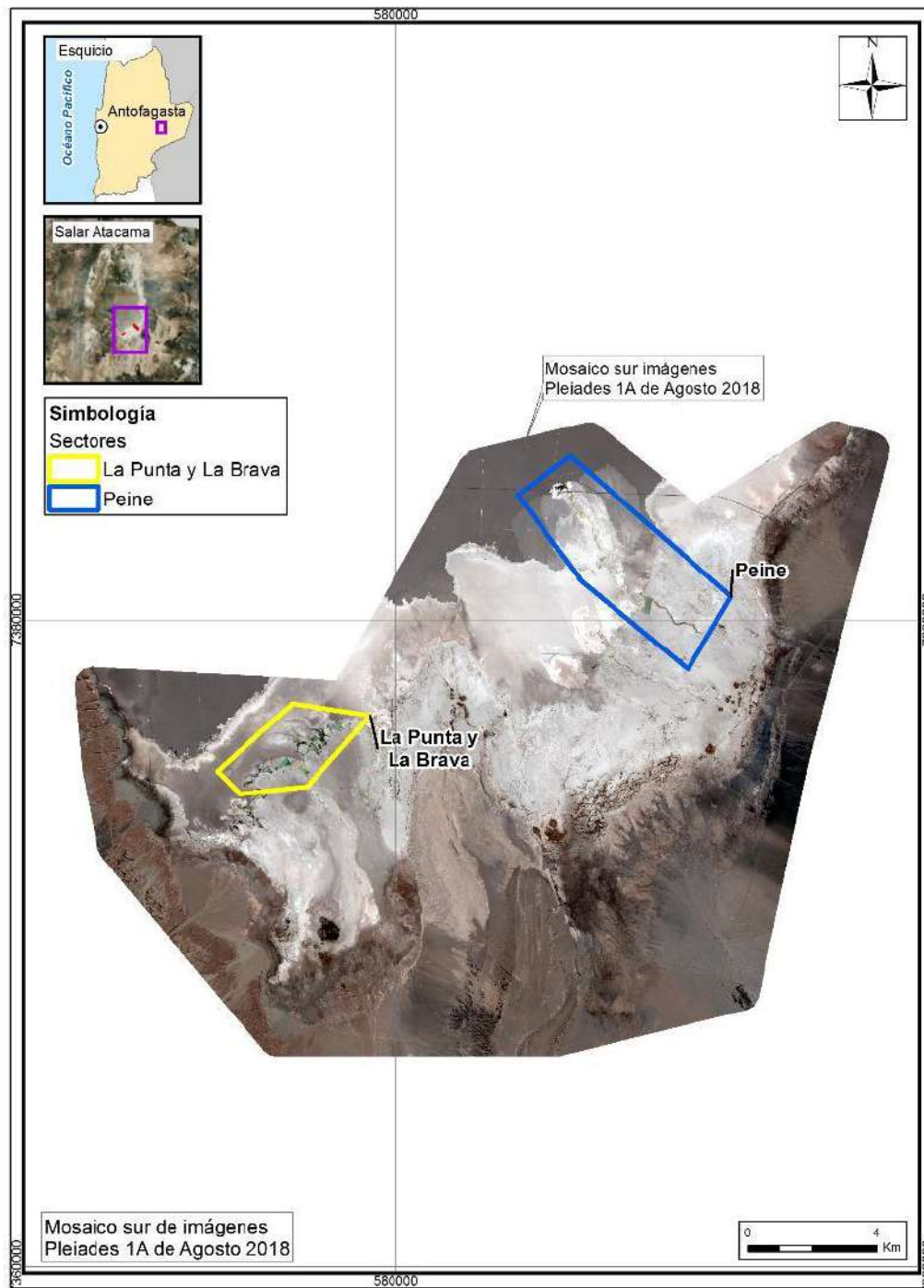
El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente.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

**Tabla N°10-5. Características técnicas del sensor Pleiades-1A.**

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

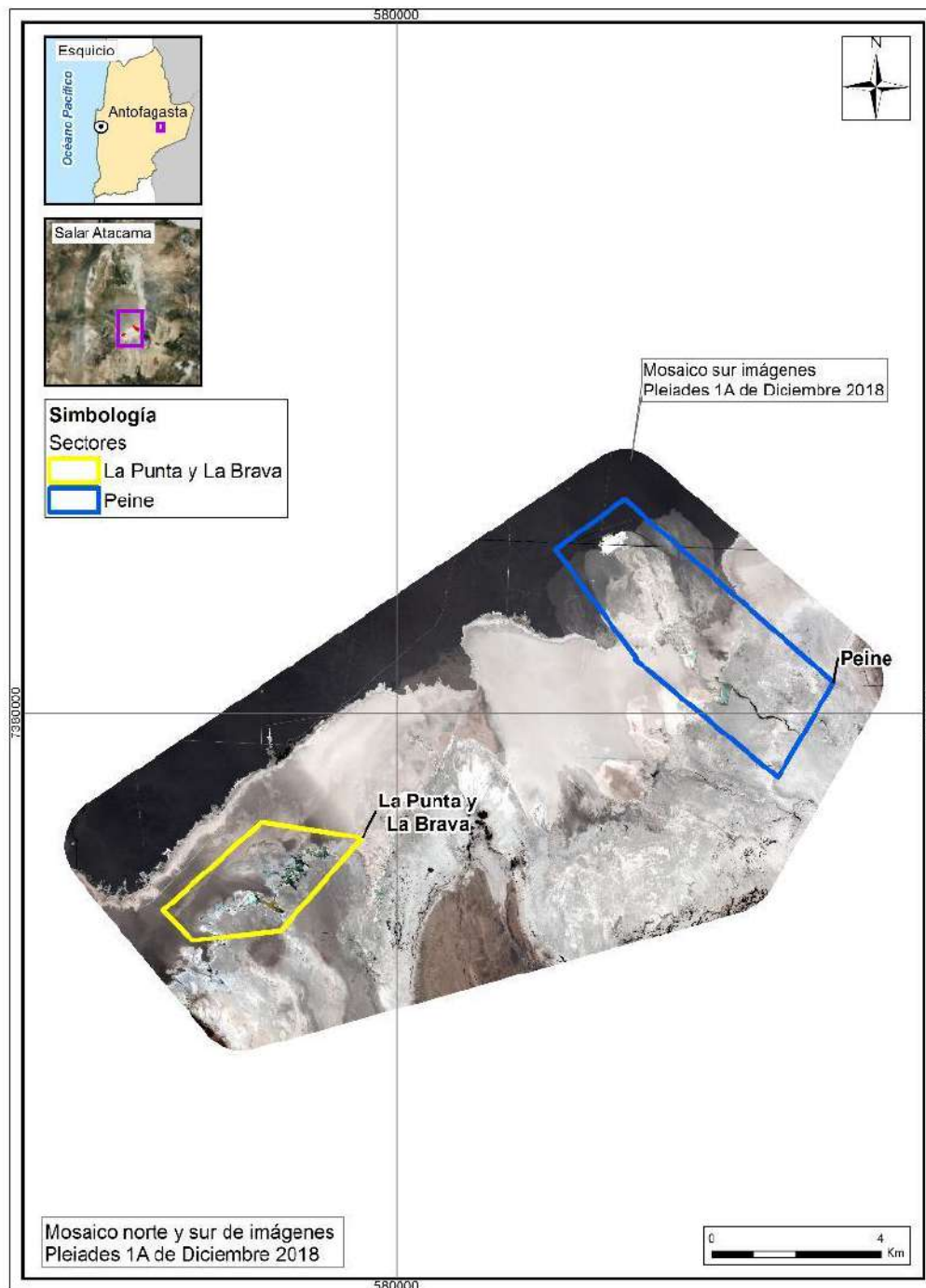
Fuente: Airbus Defense and Space. <http://www.cscrs.itu.edu.tr/assets/downloads/PleiadesUserGuide.pdf>.  
Visitada en agosto y diciembre 2018.

**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 2018.**



Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades-1A (invierno 2018).

**Figura N°10-3. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano 2018.**

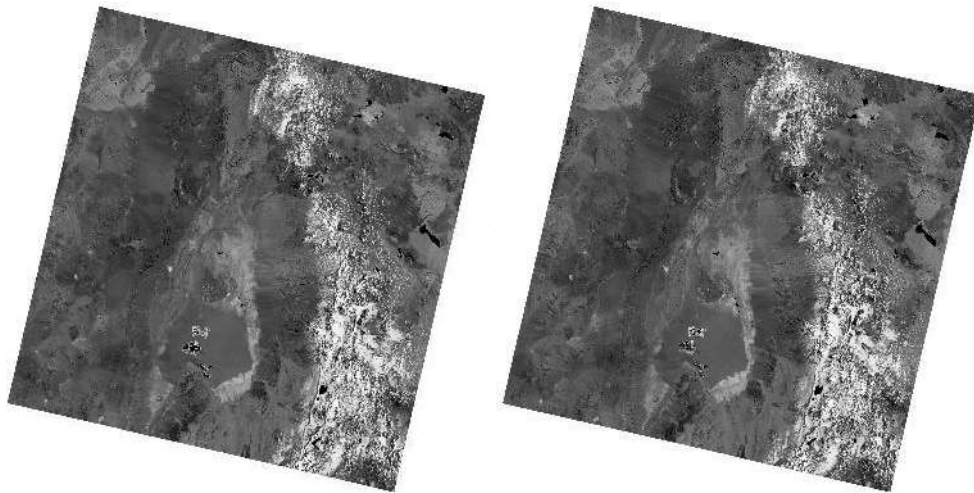


Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades-1A (verano 2018).

### 10.1.6.2 Imagen de resolución media – LANDSAT 8

Las imágenes usadas cubren por completo el área de estudio y las fechas de captura corresponden al 16 de agosto y 22 de diciembre de 2018. La descarga se realiza en forma gratuita desde <http://earthexplorer.usgs.gov/>, sitio web de *United States Geological Survey* (USGS; **Figura N°10-4**). El sensor Landsat 8 dispone de 11 bandas espectrales, con una resolución (tamaño del pixel) de 30 x 30 m. De éstas, se utilizaron cinco bandas en el proceso de delimitación de los cuerpos de agua del área de estudio. Las características de las bandas espectrales del sensor LANDSAT 8 se describen en **Tabla N°10-6** y el **Anexo Área de Lagunas** presenta la *metadata* de la imagen descargada.

**Figura N°10-4. Imagen Landsat 8 (Banda 5) correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2018 (izquierda) y verano 2018 (derecha).**



Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en agosto y diciembre de 2018.

**Tabla N°10-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8**

Banda	Ancho ( $\mu\text{m}$ )	Resolución (m)
Band 1 Coastal	0,43 – 0,45	30
Band 2 Azul	0,45 – 0,51	30
Band 3 Verde	0,53 – 0,59	30
Band 4 Rojo	0,64 – 0,67	30
Band 5 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

Banda	Ancho ( $\mu\text{m}$ )	Resolución (m)
Band 11 TIRS2	11,5 – 12,51	100

Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en agosto y diciembre 2018.

### 10.1.6.3 Procesamiento de las imágenes satelitales

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

Inicialmente, a cada imagen se le realizó una corrección radiométrica, la cual consiste en la conversión de los valores de pixeles desde números digitales (ND) a unidades de radiancia espectral absoluta ( $W / (m^2 * sr * \mu\text{m})$ )<sup>26</sup>. Este proceso se utiliza como medio de calibración para disminuir la falta de uniformidad en los valores digitales debido a efectos producidos por errores sistemáticos en el sensor, tales como la contaminación de partículas en el plano focal de éste, las que pueden manifestarse en forma de manchas y bandas en las imágenes. Esta conversión proporciona una base para la comparación de datos en una sola escena o entre imágenes adquiridas en fechas diferentes o por diferentes sensores (Chander *et al.*, 2009).

Posteriormente, se realizó la corrección atmosférica de cada imagen. Esta corrección busca reducir el efecto de la interacción de las moléculas y partículas de la atmósfera (vapor de agua, polvo en suspensión, aerosoles, entre otras) en la radiación electromagnética captada por los sensores de un satélite. La eliminación de los efectos atmosféricos y del terreno, recuperan los parámetros físicos de la superficie incluyendo la reflectancia, visibilidad del suelo y temperatura. Para este fin, se utilizó el modelo de corrección espectral de reflectancia a nivel de superficie de *Airbus*, realizado por el mismo proveedor. Este modelo permite ejecutar correcciones de reflectancia provenientes de la parte alta de la atmósfera, la eliminación de neblina y el enmascaramiento de nubes, así como correcciones de la atmósfera baja y a nivel de suelo, y las correcciones atmosféricas de la temperatura superficial.

Es importante mencionar que este método en comparación al método IARR (por su sigla en inglés, y que corresponde al promedio interno de reflectancia relativa; aplicado en la línea de base), constituye un mejoramiento en el modelo actual, producto del refinamiento

<sup>26</sup> Dónde: W: Watts; m<sup>2</sup>: metro cuadrado; sr: estereorradián;  $\mu\text{m}$ : micrómetro.

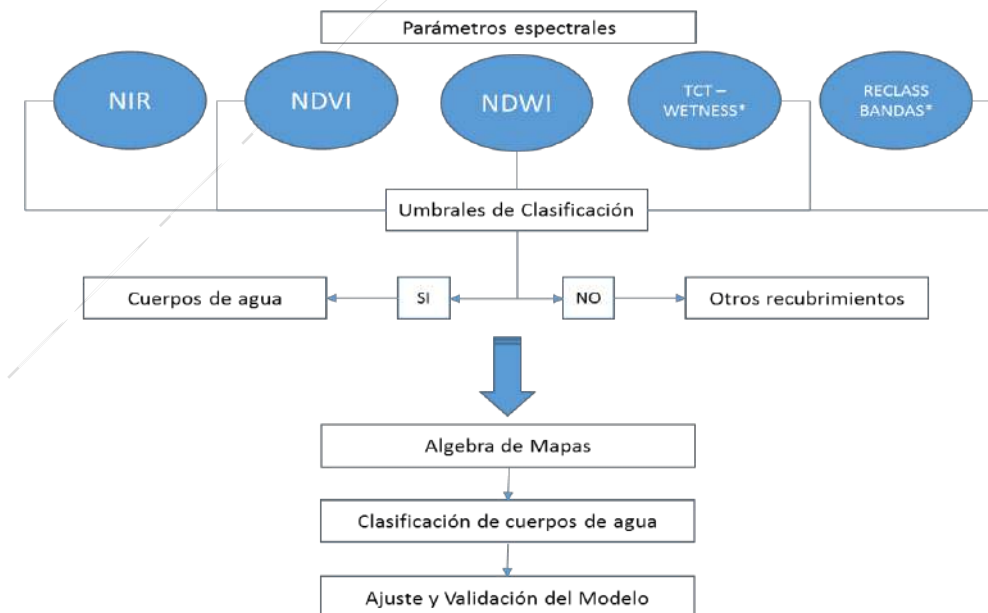
en el proceso de remoción del error atmosférico proporcionado por el modelo de *Airbus* (Chuvienco, 2006). Esta diferencia metodológica, puede variar la respuesta espectral de los parámetros espectrales utilizados (*i.e.* NDVI, NDWI; Lamolda, 2008), conduciendo a la mejor detección de cuerpos de agua con el modelo actual (el **Anexo Área de Lagunas** detalla los ajustes metodológicos aplicados y sus implicancias en la estimación de los cuerpos de agua).

Seguidamente, las imágenes fueron ortorrectificadas para eliminar las distorsiones geométricas, producto de imperfecciones del sensor, la curvatura de la tierra y los efectos locales del relieve. Finalmente, en el caso de las imágenes de alta resolución Pleiades-1A, fueron unidas conformando un mosaico dentro del área de estudio (**Figura N°10-2 y Figura N°10-3**).

#### 10.1.6.4 Descripción del Modelo de Clasificación Supervisada de cuerpos de agua

El modelo usado durante este análisis se desarrolló en base a la metodología “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por su sigla en inglés), la cual fue empleada en el estudio desarrollado en la Adenda 5 del proyecto RWL (2015); y que fue establecido como la línea de base para este componente.

**Figura N°10-5. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.**



\* La transformación “*Tasseled Cap*” *Wetness* se pudo utilizar sólo en el caso de Landsat 8, dado el mayor número de bandas que ofrece este sensor. En su reemplazo, para las imágenes de alta resolución Pleiades 1A se utilizó la Reclasificación de bandas (RECLASS 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 de evaluación que tienen una respuesta determinada ante la presencia de un cuerpo de agua. Posteriormente, en un modelo de árbol de decisiones, se estiman los cuerpos de agua, utilizando la combinación de los criterios definidos en el paso anterior y se evalúa el ajuste y la precisión del modelo mediante la comparación con los datos validados en terreno (**Figura N°10-5**).

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

- i) La reclasificación de la banda infrarroja (NIR),
- ii) el índice NDWI;
- iii) el índice NDVI;
- iv) la reclasificación de bandas espectrales ( $B1 < B2$ ) y ( $B3 > B4$ ), usada en el modelo de imágenes de alta resolución Pleiades-1A y
- v) la transformación “*Tasseled Cap*” (*Wetness*; Kauth & Thomas, 1976), la cual se utilizó para el caso Landsat 8, dado el mayor número de bandas que ofrece este sensor. El acápite 10.1.6.5 describe en detalle cada uno de estos parámetros.

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

### 10.1.6.5 Parámetros espectrales del modelo de clasificación

#### a. Índice de Diferencia Normalizada de Agua - NDWI

El índice NDWI (por su sigla en inglés, *Normalized Difference Water Index*) varía entre -1 y 1, asociando los valores positivos para las superficies con agua o húmedas y cero o negativo para el suelo y la vegetación terrestre estresada. El cálculo de este índice se realizó siguiendo la fórmula:

$$NDWI = (V-NIR) / (V+NIR)$$

Dónde: **V** es la reflectancia en el verde y **NIR** es la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano.

El cálculo de este parámetro se realizó tanto en las imágenes LANDSAT 8 como en las imágenes de alta resolución Pleiades-1A.

#### b. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación - NDVI

El Índice NDVI (por su sigla en inglés, *Normalized Difference Vegetation Index*), consiste en la comparación entre las bandas roja e infrarroja cercana, mediante la siguiente ecuación:

$$NDVI = (NIR-R) / (NIR+R)$$

El NDVI varía entre -1 y 1 y resalta en valores positivos las áreas con presencia de vegetación basándose en la reflectancia diferencial de la clorofila entre la banda infrarroja cercana (**NIR**) y la banda roja (**R**) del espectro visible. Adicionalmente, en el rango de los valores negativos este índice detecta superficies que generalmente corresponden a nubes o cuerpos de agua.

El cálculo de este parámetro se realizó tanto en las imágenes Landsat 8 como en las imágenes de alta resolución Pleiades-1A.

#### c. NIR - Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano

La Banda NIR (Banda 5 en Landsat 8 y Banda 4 en Pleiades-1A), posee características espectrales útiles para la detección de cuerpos de agua. Dadas las propiedades del agua de absorción de la radiación electromagnética; esta baja reflectividad en el infrarrojo resulta útil en la distinción de áreas de tierra o suelos desnudos y agua.



Para el cálculo de este parámetro, se realiza la reclasificación de este parámetro tanto en las imágenes Landsat 8 como en las imágenes de alta resolución Pleiades-1A.

**d. Reclasificación de bandas espectrales a partir de la condición de bandas de la imagen de alta resolución**

Este parámetro consistió en un procedimiento de clasificación binaria de los píxeles en las imágenes espectrales Pleiades-1A, en que los píxeles de las bandas espectrales de las imágenes se enfrentaron a la condición lógica de la presencia de cuerpos de agua versus otros recubrimientos, en base al segmento de longitud de onda que refleja cada banda. Para este caso se procedió el cumplimiento de la condición:  $(B1 < B2)$  y  $(B3 > B4)$ . Donde las bandas corresponden a: B1 azul, B2 verde, B3 rojo y B4 infrarrojo cercano.

**e. Transformación “Tasseled Cap”**

La transformación “Tasseled Cap” (TCT) fue desarrollada para optimizar la visualización de la vegetación en imágenes multispectrales (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).

#### **10.1.6.6 Umbrales y validación del modelo de clasificación**

Durante el proceso de clasificación supervisada, se establecieron umbrales de clasificación de cada parámetro del modelo, los cuales representaron el valor límite de clasificación como cuerpo de agua u otro recubrimiento. Estos umbrales fueron definidos para cada sector, según el parámetro, 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 en terreno en las campañas de agosto y diciembre de 2018. Los umbrales obtenidos se presentan en la **Tabla N°10-7**. Cabe destacar que las variaciones de estos valores respecto a la línea de base son atribuibles al cambio del tipo de imágenes satelitales usadas, a las variaciones atmosféricas, las diferencias en el procesamiento de estas y a cambios en los valores del conjunto de datos de cada imagen, correspondientes a los ajustes metodológicos detallados en el **Anexo Área de Lagunas**.

**Tabla N°10-7. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades 1A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2018.**

TIPO DE IMAGEN	ÍNDICE	SISTEMA LAGUNAR	
		LA PUNTA Y LA BRAVA	PEINE
<i>Invierno 2018</i>			
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	P90 >= 0,169486	P90 >= -0,163192
	NDVI	P10 <= 0,056275	NB10/20 <= 0,045742
	NIR - B5	R6/17 <= 0,248697	P10 <= 0,337959
	WETNESS	R11/15 >= 0,20274	R6/32 >= -0,541245
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	R10/32 >= -0,02559	NB 4/9 >= -0,064699
	NDVI	R20/32 <= 0,114441	NB10/20 <= 0,089997
	NIR - B4	R8/32 <= 0,262743	NB 7/32 <= 0,200937
	(B1<B2) Y (B3> B4)	NO	NO
<i>Verano 2018</i>			
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	P95 >= -0,136192	R3/27 >= -0,148257
	NDVI	P5 <= 0,059595	P5 <= 0,060257
	NIR - B5	P5 <= 0,306996	P30 <= 0,490966
	WETNESS	P85 >= -0,301648	R8/20 >= -0,325906
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	>0	P85 >= -0,052104
	NDVI	<0	NB10/20 <= 0,060871
	NIR - B4	P5 <= 0,42134	P10 <= 0,422378
	(B1<B2) Y (B3> B4)	NO	NO

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 píxeles espectralmente similares que formaron grupos o clases, a las que luego se les asignó el

tipo de recubrimiento de suelo que representaban (cuerpos de agua u otros recubrimientos).

El cálculo final del modelo por sector se realizó mediante la unión de los parámetros reclasificados según el umbral definido y se determinó la cobertura de agua cuando al menos tres de los cuatro parámetros coincidían en clasificar el 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).

#### **10.1.6.7 Depuración cartográfica de cuerpos de agua**

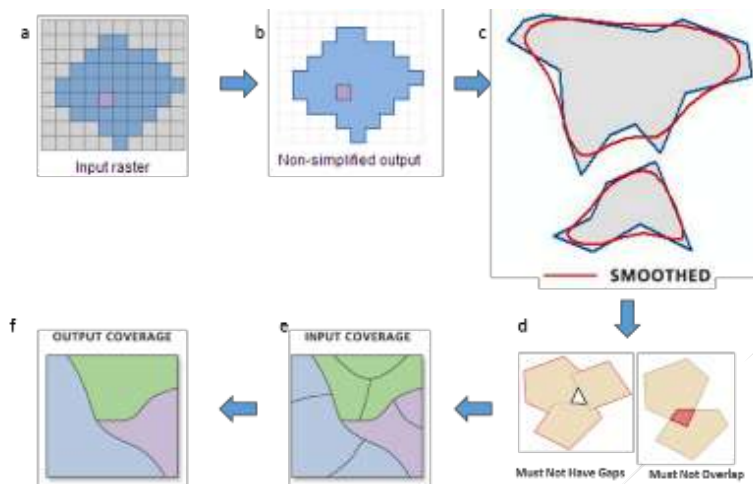
Posterior a obtener las coberturas de clasificación de los cuerpos de agua según el tipo de imagen satelital usada (Pleiades-1A y Landsat 8) y por sistema lagunar, se procedió con la depuración de las coberturas. Este proceso consistió primero en la transformación de los datos desde formato raster a entidades de polígonos en formato shape. El resultado se sometió a un proceso de suavizado, por la presencia de ángulos cerrados en sus contornos, para mejorar la calidad estética de la cartografía y su aproximación al contexto real (**Figura N°10-6**).

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

- i) Remoción de polígonos clasificados como cuerpos de agua con tamaño inferior al equivalente de un pixel (0,0004 ha en Pleiades-1A y 0,09 ha en Landsat 8) y que estuvieran aislados a los cuerpos de agua de mayor tamaño dentro del sector de estudio y,
- ii) Revisión y ajuste de las coberturas mediante fotointerpretación en cuerpos de agua permanentes, siguiendo el patrón espacial de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015) y de los monitoreos de invierno y verano de 2018, sobre las imágenes de alta resolución y Landsat 8.

Producto de estas operaciones se origina una clasificación binaria (cuerpos de agua / otros recubrimientos), que son fusionados con parámetros con igual codificación y ajustados a los polígonos que delimitan las áreas de estudio. El resultado final corresponde a un archivo en formato *shape* de cada sistema lagunar (La Punta y La Brava y Peine).

**Figura N°10-6. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (*raster*) a polígonos (*shape*).**



Dónde: **a:** Ingreso Raster; **b:** transformación a formato shape; **c:** suavizado de polígonos; **d:** corrección de errores topológicos; **e:** generación de entidades poligonales; **f:** fusión de polígonos.

Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes ESRI.

### 10.1.7 Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua

De acuerdo a lo expresado en la sección 10.1.2. *Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua*, esta etapa dio cumplimiento a lo dispuesto por el PMB, de acuerdo con Anexo 2, Adenda 5 EIA, *Apéndice B. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua*.

En base a estos documentos, el análisis comparativo de las superficies se realizó por sistema lagunar, en base a las siguientes tipologías:

- *Comparación con registros históricos de línea de base:* se realizó entre el resultado de las superficies de lagunas registradas en los monitoreos de agosto y diciembre 2018, y las variaciones en relación al mínimo histórico de la línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).
- *Comparación entre imágenes satelitales:* se realizó una comparación entre las superficies determinadas en el monitoreo 2018 desde las imágenes de alta resolución Pleiades-1A y Landsat 8.
- *Comparación entre monitoreos anuales:* se realizó una comparación entre los resultados de las superficies lagunares en el monitoreo 2018, con respecto a los resultados de los monitoreos 2017 y 2016.

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

#### **10.1.8 Fechas de medición**

La campaña de invierno de 2018 se realizó entre el 14 y el 17 de agosto de 2018, en tanto las imágenes Pleiades 1A, se obtuvieron el 17 de agosto de 2018 y las imágenes Landsat 8, fueron capturadas el 16 de agosto de 2018.

Respecto a la campaña de verano, ésta se realizó entre el 19 y el 22 de diciembre de 2018, y las imágenes Pleiades 1A, se obtuvieron el 21 de diciembre de 2018 y las imágenes Landsat 8, fueron capturadas el 22 de diciembre de 2018. Las fechas y datos de las imágenes utilizadas en el análisis se presentan en el **Anexo Área de Lagunas**.

### **10.2 RESULTADOS**

#### **10.2.1 Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua**

La clasificación supervisada de cuerpos de agua, basada en datos de terreno, se llevó a cabo para imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares Peine y La Punta y La Brava, para el periodo de agosto y diciembre de 2018.

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 0,88 y 0,78 para imágenes de alta resolución Pleiades-1A y desde 0,73 y 0,55 para imágenes de resolución media Landsat 8 en agosto de 2018. En síntesis, estos valores dan cuenta de un ajuste considerable y casi perfecto para La Punta y La Brava y Peine desde alta resolución y, desde media resolución, se calculó un valor moderado para La Punta y La Brava y considerable para Peine en agosto de 2018 y casi perfecto para ambos sectores en diciembre de 2018 (**Tabla N°10-8, Tabla N°10-9, Tabla N°10-10 y Tabla N°10-11**).

**Tabla N°10-8. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Agosto, 2018.**

Sistema Lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno Total (Pleiades 1A)			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	*105	31	136	77,2	22,8	
	Otros Recubrimientos	1	*168	169	99,4	0,6	
	<b>Total</b>	<b>106</b>	<b>199</b>	<b>305</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	99,1	84,4	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,9	15,6	-	-	Índice Kappa:	0,78
						Precisión global (OA):	0,90
Peine	Cuerpos de agua	*124	9	133	93,2	6,8	
	Otros Recubrimientos	1	*57	58	98,3	1,7	
	<b>Total</b>	<b>125</b>	<b>66</b>	<b>191</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	99,2	86,4	-	-	-	
	**Error omisión (%)	0,8	13,6	-	-	Índice Kappa:	0,88
						Precisión global (OA):	0,95

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 (Chuvieco, 2006). Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N°10-9. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Agosto, 2018.**

Sistema Lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno Total (Landsat 8)			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	*30	20	50	60,0	40,0	
	Otros Recubrimientos	2	*45	47	95,7	4,3	
	<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>65</b>	<b>97</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	33,0	67,0	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	0,0	-	-	Índice Kappa:	0,55
						Precisión global (OA):	0,77
Peine	Cuerpos de agua	*110	16	126	87,3	12,7	

Sistema Lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno Total (Landsat 8)			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
	Otros Recubrimientos	6	*50	56	89,3	10,7	
	<b>Total</b>	<b>116</b>	<b>66</b>	<b>182</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	63,7	36,3	-	-	-	
	**Error omisión (%)	0,0	0,0	-	-	Índice Kappa:	0,73
						Precisión global (OA):	0,88

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 (Chuvieco, 2006). Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N°10-10. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice Kappa por sistema lagunar. Diciembre, 2018.**

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno Total (Pleiades 1A)			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	*79	13	92	85,9	14,1	
	Otros Recubrimientos	9	*204	213	95,8	4,2	
	<b>Total</b>	<b>88</b>	<b>217</b>	<b>305</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	89,8	94,0	-	-	-	
	***Error omisión (%)	10,2	6,0	-	-	Índice Kappa:	0,83
						Precisión global (OA):	0,93
Peine	Cuerpos de agua	*119	10	129	92,2	7,8	
	Otros Recubrimientos	7	*55	62	88,7	11,3	
	<b>Total</b>	<b>126</b>	<b>65</b>	<b>191</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	94,4	84,6	-	-	-	
	**Error omisión (%)	5,6	15,4	-	-	Índice Kappa:	0,80
						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 (Chuvieco, 2006). Fuente: Elaboración Propia.



**Tabla N°10-11. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Diciembre, 2018.**

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno Total (Landsat 8)			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	*23	2	25	92,0	8,0	
	Otros Recubrimientos	4	*68	72	94,4	5,6	
	<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>70</b>	<b>97</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	85,2	97,1	-	-	-	
	***Error omisión (%)	14,8	2,9	-	-	Índice Kappa:	0,84
						Precisión global (OA):	0,94
Peine	Cuerpos de agua	*113	8	121	93,4	6,6	
	Otros Recubrimientos	6	*55	61	90,2	9,8	
	<b>Total</b>	<b>119</b>	<b>63</b>	<b>182</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	95,0	12,7	-	-	-	
	***Error omisión (%)	5,0	87,3	-	-	Índice Kappa:	0,83
						Precisión global (OA):	0,92

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 (Chuvieco, 2006). Fuente: Elaboración Propia.

El sistema lagunar que presenta mayor ajuste en diciembre de 2018 es el sistema lagunar de La Punta y La Brava, tanto para Pleiades 1A como para Landsat 8; y el menor ajuste para este periodo se presenta en Peine. Este efecto se debe a las variaciones registradas en áreas lagunares no permanentes en el sector de Peine. El mismo efecto se presenta en la precisión global, con valores de 93% para La Punta y La Brava y 91% para Peine en verano, y de 90% y 95% respectivamente para invierno, desde alta resolución; así mismo para media resolución, los valores corresponden a 77% para La Punta y La Brava y 88% para Peine en verano, y a 94% y 92% respectivamente para invierno, todo lo anterior indica un alto valor en la exactitud de los aciertos de la clasificación supervisada y una congruencia entre la precisión global y el índice *Kappa*.

## 10.2.2 Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar

En la **Tabla N° 10-12** y **Tabla N° 10-13** se presentan los resultados de las superficies de los cuerpos de agua que fueron determinadas a partir del modelo de clasificación supervisada desde imágenes de alta resolución (Pleiades 1A) y desde Landsat 8.

**Tabla N° 10-12. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2018 (invierno y verano).**

Sistema Lagunar	Superficies desde alta resolución (Pleiades 1A)			
	Invierno 2018		Verano 2018	
	ha	m2	ha	m2
La Punta y La Brava	61,9	619.320,9	35,9	358.729,1
Peine	51,5	514.825,6	49,4	493.948,7

Fuente: Elaboración Propia

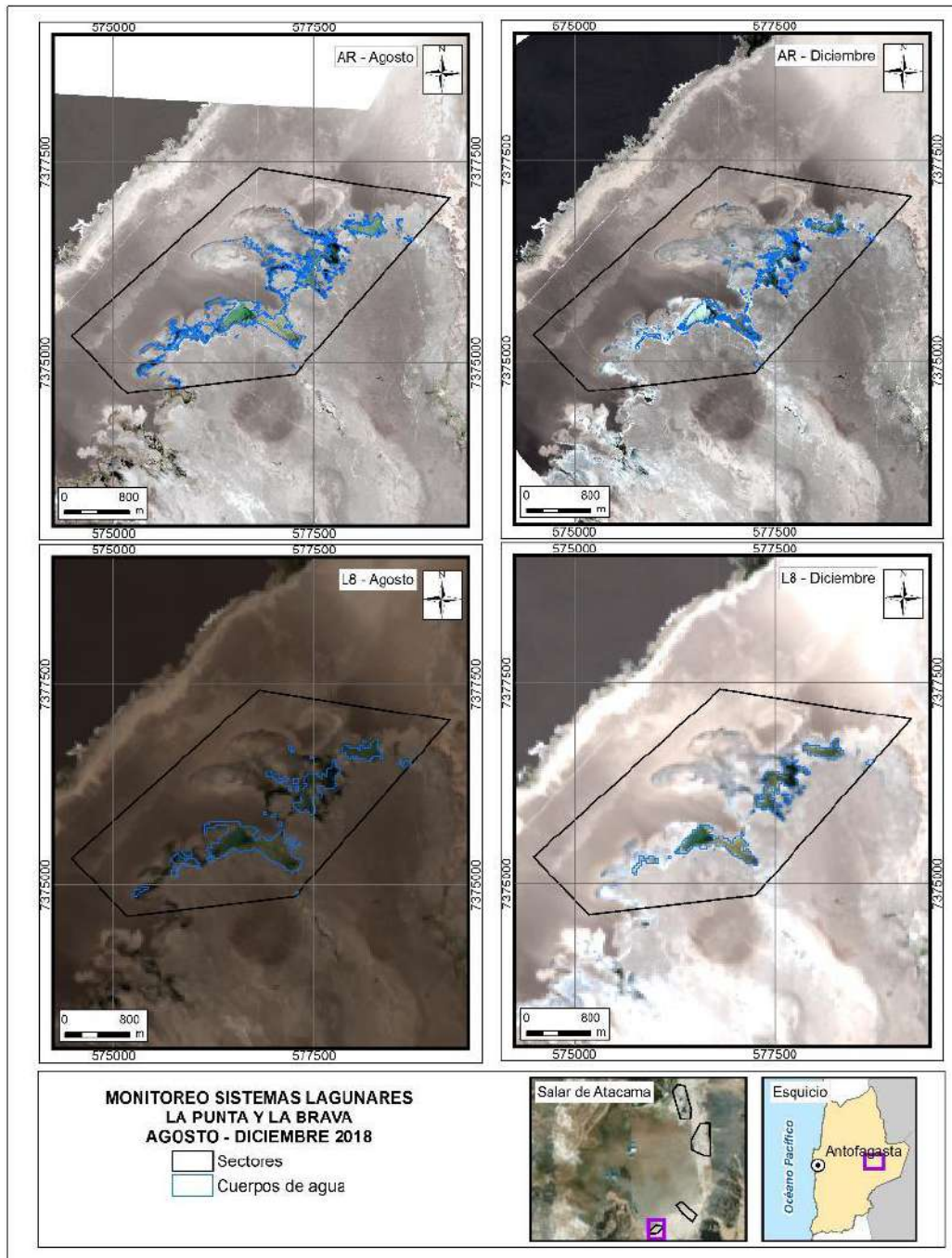
**Tabla N° 10-13. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2018 (invierno y verano).**

Sistema Lagunar	Superficies desde media resolución (Landsat 8)			
	Invierno 2018		Verano 2018	
	ha	m2	ha	m2
La Punta y La Brava	63,7	637.302,2	44,4	443.992,8
Peine	78,4	783.551,8	81,7	817.110,1

Fuente: Elaboración Propia

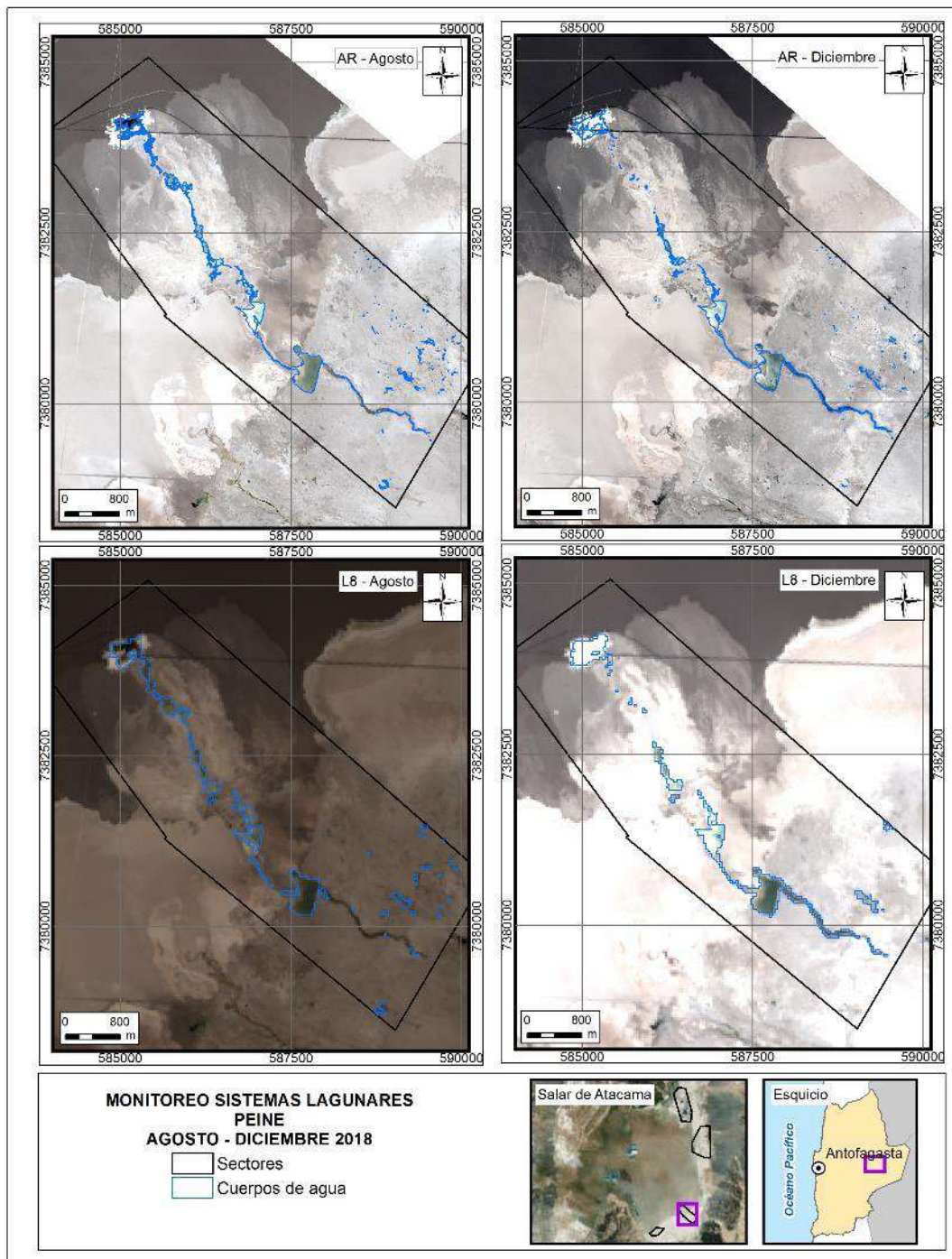
Complementariamente, la **Figura N° 10-7** y **Figura N° 10-8** muestran la representación gráfica de las superficies lagunares por sistema lagunar.

**Figura N° 10-7. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades-1A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta y La Brava, agosto – diciembre 2018.**



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre de 2018.

**Figura N° 10-8. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2018.**



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2018.

### 10.2.3 Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua

De acuerdo con lo expresado en la sección 10.1.2. *Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua*, y según el análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar, presentado en este reporte (sección 10.2.2), se obtuvo que las superficies de los cuerpos de agua se encuentran dentro de los límites de seguimiento establecidos, 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*”, lo que se puede observar en los registros históricos presentados y en los resultados del monitoreo de periodo 2016 -2018.

## 11 NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS

Este capítulo tiene como objetivo, presentar el reporte de los monitoreos comprometidos en el Plan de Manejo Biótico (PMB), correspondientes a 5 puntos de medición de niveles freáticos distribuidos en los Sistemas Lagunares: (3) La Punta - La Brava; y (2) Peine, con una frecuencia mensual de medición, durante el período de abril 2018 a marzo 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, y que permitirá ir observando en el tiempo el estado ecológico de los sistemas hídricos.

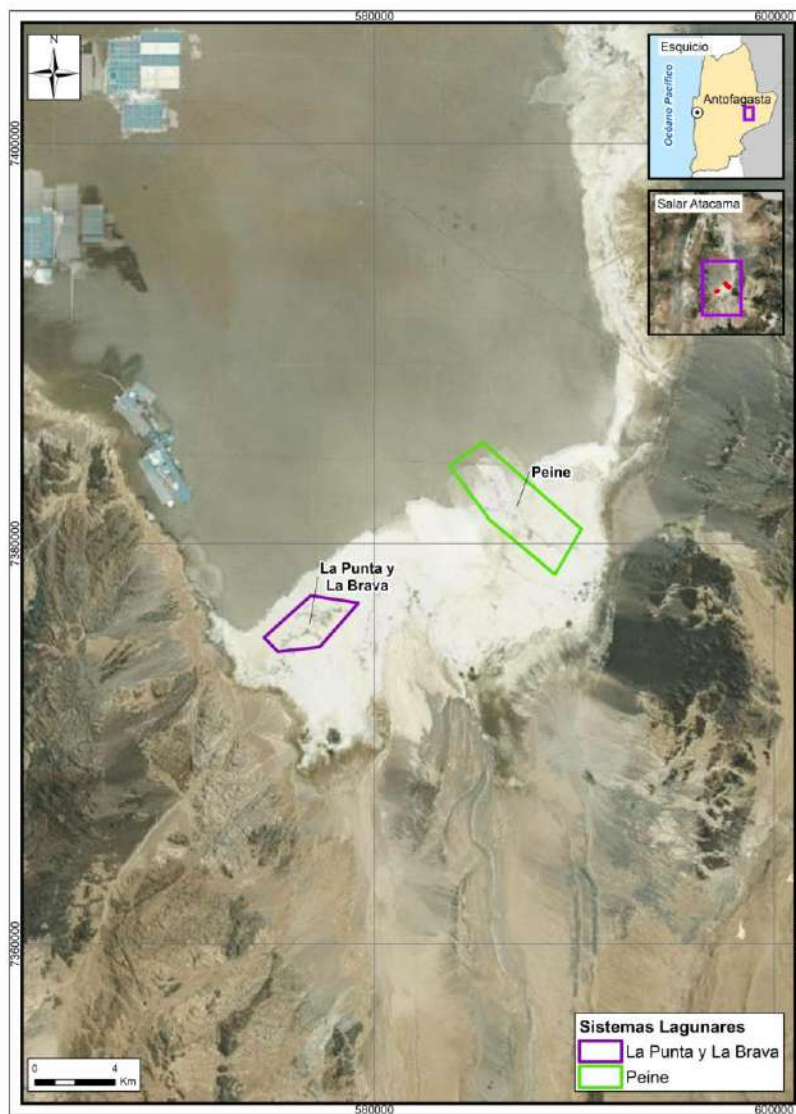
El objetivo de este capítulo, es presentar el monitoreo comprometido para medición de niveles piezométricos se realizan en 5 puntos de niveles freáticos de Lagunas: 3 puntos en La Punta-La Brava (BA-05, BA-07 y BA-16), y 2 en Peine (BA-21 y BA-22). Estos puntos de medición presentan códigos del tipo “BA-XX”, y corresponden a piezómetros someros, denominados “Barrenos”, origen de su tipo de codificación. No son altura limnimétrica de aguas, 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. Área de Estudio**



Fuente: Elaboración propia

### 11.1.2 Ubicación de Puntos de Monitoreo.

En la **Tabla N° 11-1** se presentan los puntos de medición 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 año para estos piezómetros e históricos.

**Tabla N° 11-1. Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas**

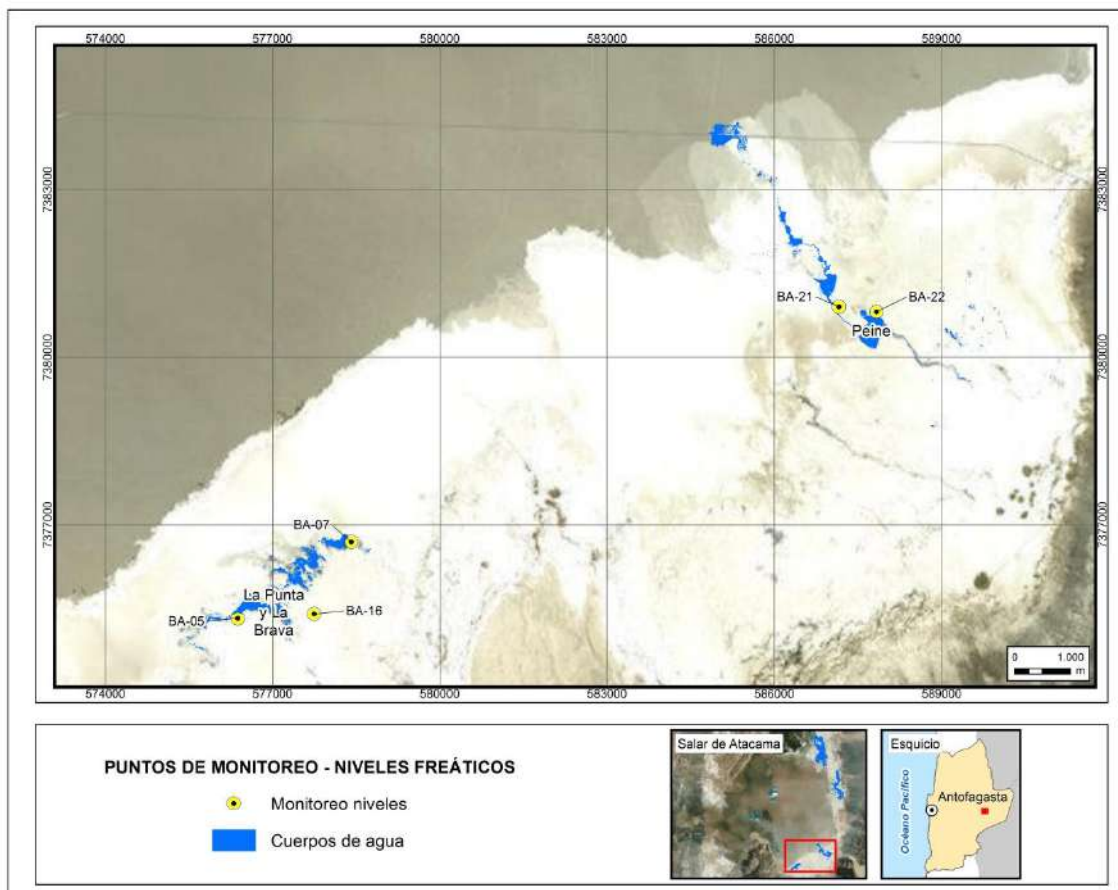
Punto	Coordenadas WGS 84 (HUSO 19S)		Sistema Lagunar	Cota collar (*) (m s.n.m.)
	UTM Este (m)	UTM Norte (m)		
BA-05	576.373	7.375.324	La Punta-La Brava	2.301,085
BA-07	578.406	7.376.692	La Punta-La Brava	2.300,881
BA-16	577.746	7.375.405	La Punta-La Brava	2.301,777
BA-21	587.159	7.380.905	Peine	2.301,393
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 corresponde 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 2018 Mayo 2018, Junio 2018, Julio 2018 Agosto 2018 Septiembre 2018 Octubre 2018 Noviembre 2018 Diciembre 2018 Enero 2019 Febrero 2019 Marzo 2019

Fuente: Elaboración Propia

## 11.2 RESULTADOS

### 11.2.1 Resultados de los registros Abril 2018 a Marzo 2019.

A continuación se presentan los resultados de medición de los niveles en los puntos señalados, para el período informado Abril 2018 – Marzo 2019 (**Tabla N° 11-4**). En el **Anexo Nivel Freático en Lagunas**, se entregan las series históricas y actuales, de los niveles y de las profundidades medidas para estos piezómetros.

Cabe mencionar que, en las Tablas siguientes se incorporan mediciones de mayor frecuencia para los niveles de los pozos a partir del mes de Julio, lo cual se enmarca dentro de lo comprometido **para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH)**, específicamente lo estipulado en el 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.

Por motivo de lo anterior, hubo Activación Fase I del Sector Alerta Norte para Albemarle, como consecuencia de la activación del PAT de SQM. (Ref. Resolución Exenta MZN N°30/2018 y Carta Albemarle de fecha 18 Junio 2018, ambas en Anexo Nivel Freático en Lagunas). Producto de aquello, en el mes de julio 2018 Albemarle comenzó a aumentar la frecuencia de monitoreo de los niveles del PSAH reportando mensualmente a la autoridad, durante los 3 meses que corresponde por obligación y extendiéndolo por 2 meses más (octubre y noviembre) 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 sólo se presentan 2 mediciones mensuales para éstos cuando hubo activación.

En enero del 2019 se notificó a Albemarle de una nueva 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, también se registran y presentan una y 2 mediciones en ciertos meses a partir de enero.

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	10-04-18	0,919	2.300,166
BA-05	05-05-18	0,910	2.300,175
BA-05	07-06-18	0,884	2.300,201
BA-05	02-07-18	0,874	2.300,211
BA-05	11-07-18	0,875	2.300,210
BA-05	30-07-18	0,876	2.300,209
BA-05	07-08-18	0,875	2.300,210
BA-05	16-08-18	0,878	2.300,207
BA-05	25-08-18	0,884	2.300,201
BA-05	04-09-18	0,893	2.300,192
BA-05	23-09-18	0,897	2.300,188
BA-05	25-09-18	0,909	2.300,176
BA-05	09-10-18	0,917	2.300,168
BA-05	23-10-18	0,925	2.300,160
BA-05	30-10-18	0,927	2.300,158
BA-05	03-11-18	0,928	2.300,157
BA-05	14-11-18	0,935	2.300,150
BA-05	27-11-18	0,938	2.300,147
BA-05	03-12-18	0,938	2.300,147
BA-05	05-01-19	0,953	2.300,132
BA-05	26-01-19	0,948	2.300,137

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-05 (*)	07-02-19	-	-
BA-05	20-02-19	0,903	2.300,182
BA-05	06-03-19	0,956	2.300,129
BA-05	19-03-19	0,962	2.300,123
BA-07	10-04-18	0,873	2.300,008
BA-07	05-05-18	0,853	2.300,028
BA-07	07-06-18	0,830	2.300,051
BA-07	02-07-18	0,822	2.300,059
BA-07	11-07-18	0,816	2.300,065
BA-07	30-07-18	0,814	2.300,067
BA-07	07-08-18	0,821	2.300,060
BA-07	16-08-18	0,826	2.300,055
BA-07	25-08-18	0,835	2.300,046
BA-07	04-09-18	0,837	2.300,044
BA-07	23-09-18	0,845	2.300,036
BA-07	25-09-18	0,861	2.300,020
BA-07	09-10-18	0,869	2.300,012
BA-07	23-10-18	0,880	2.300,001
BA-07	30-10-18	0,885	2.299,996
BA-07	03-11-18	0,888	2.299,993
BA-07	14-11-18	0,901	2.299,980
BA-07	27-11-18	0,908	2.299,973
BA-07	19-12-18	0,910	2.299,971
BA-07	05-01-19	0,920	2.299,961
BA-07	26-01-19	0,924	2.299,957
BA-07 (*)	07-02-19	-	-
BA-07	20-02-19	0,781	2.300,100
BA-07	06-03-19	0,848	2.300,033
BA-07	19-03-19	0,858	2.300,023
BA-16	10-04-18	0,917	2.300,860
BA-16	05-05-18	0,905	2.300,872
BA-16	07-06-18	0,888	2.300,889
BA-16	02-07-18	0,879	2.300,898
BA-16	11-07-18	0,879	2.300,898
BA-16	30-07-18	0,876	2.300,901
BA-16	07-08-18	0,880	2.300,897
BA-16	16-08-18	0,885	2.300,892
BA-16	25-08-18	0,890	2.300,887
BA-16	04-09-18	0,893	2.300,884
BA-16	23-09-18	0,899	2.300,878
BA-16	25-09-18	0,909	2.300,868
BA-16	09-10-18	0,911	2.300,866
BA-16	23-10-18	0,920	2.300,857
BA-16	30-10-18	0,923	2.300,854
BA-16	03-11-18	0,921	2.300,856
BA-16	14-11-18	0,931	2.300,846
BA-16	27-11-18	0,933	2.300,844
BA-16	03-12-18	0,931	2.300,846
BA-16	05-01-19	0,936	2.300,841

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-16	26-01-19	0,938	2.300,839
BA-16 (*)	07-02-19	-	-
BA-16	20-02-19	0,898	2.300,879
BA-16	06-03-19	0,974	2.300,803
BA-16	19-03-19	0,975	2.300,802

(\*): En dichas fechas no hubo medición, debido a los eventos de precipitaciones ocurridos en febrero 2019, imposibilitando el acceso a la zona de medición. Fuente: Elaboración propia.

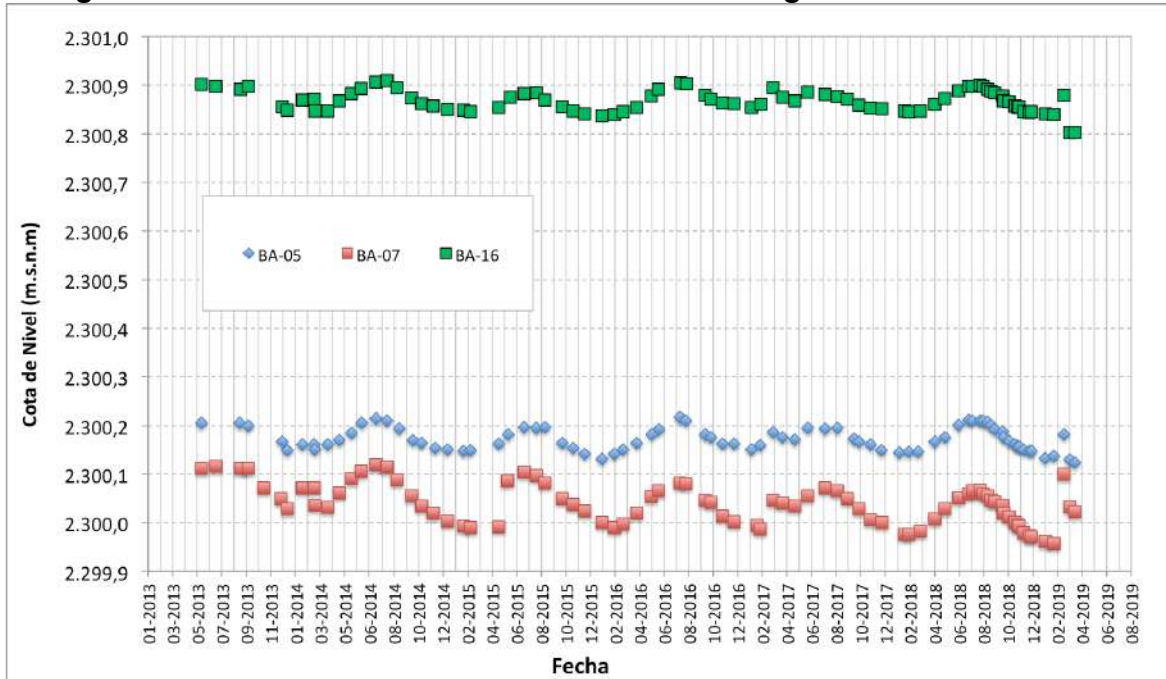
**Tabla N° 11-5. Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine**

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-21	18-04-18	1,340	2.300,053
BA-21	03-05-18	1,341	2.300,052
BA-21	14-06-18	1,338	2.300,055
BA-21	13-07-18	1,343	2.300,050
BA-21	25-07-18	1,335	2.300,058
BA-21	10-08-18	1,337	2.300,056
BA-21	21-08-18	1,338	2.300,055
BA-21	08-09-18	1,338	2.300,055
BA-21	28-09-18	1,345	2.300,048
BA-21	17-10-18	1,345	2.300,048
BA-21	07-11-18	1,348	2.300,045
BA-21	05-12-18	1,356	2.300,037
BA-21	15-01-19	1,356	2.300,037
BA-21 (*)	09-02-19	-	-
BA-21	19-02-19	1,200	2.300,193
BA-21	05-03-19	1,220	2.300,173
BA-21	24-03-19	1,236	2.300,157
BA-22	18-04-18	0,855	2.300,269
BA-22	03-05-18	0,854	2.300,270
BA-22	14-06-18	0,842	2.300,282
BA-22	13-07-18	0,841	2.300,283
BA-22	25-07-18	0,830	2.300,294
BA-22	10-08-18	0,837	2.300,287
BA-22	21-08-18	0,840	2.300,284
BA-22	08-09-18	0,844	2.300,280
BA-22	28-09-18	0,851	2.300,273
BA-22	17-10-18	0,852	2.300,272
BA-22	07-11-18	0,854	2.300,270
BA-22	05-12-18	0,864	2.300,260
BA-22	15-01-19	0,862	2.300,262
BA-22 (*)	09-02-19	-	-
BA-22	20-02-19	0,812	2.300,312
BA-22	05-03-19	0,838	2.300,286
BA-22	24-03-19	0,846	2.300,278

(\*): En dichas fechas no hubo medición, debido a los eventos de precipitaciones ocurridos en febrero 2019, imposibilitando el acceso a la zona de medición. Fuente: Elaboración propia.

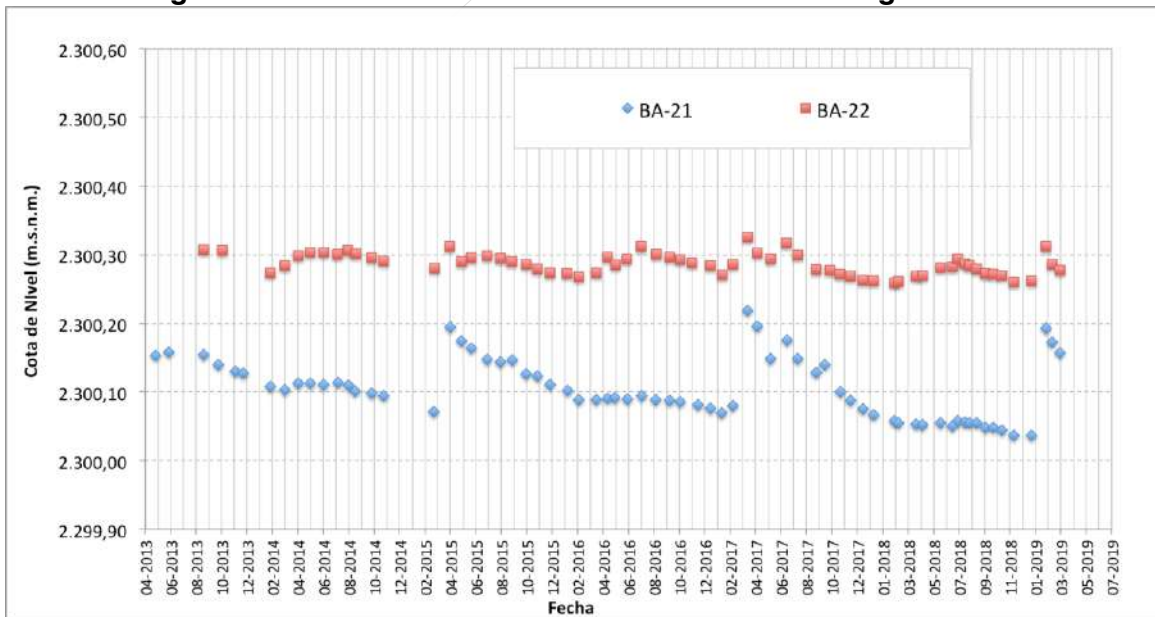
En las Figuras que se muestran a continuación, se presenta gráficamente la variación temporal de niveles desde el año 2013 a la fecha incluido el último año de monitoreo 2018-2019, para los pozos de cada Sector.

**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 en la evaluación

En el caso de la variable “**niveles freáticos**”, medidos a través de la variable “profundidad” del agua subterránea en la zona de las lagunas, de acuerdo a lo indicado en el Anexo 2 “Plan de Manejo Biótico” de la Adenda 5 del proyecto (en numeral 4.2.7), los límites considerados para los niveles freáticos, se enmarcan dentro de los “criterios para la detección de cambio de estado ecológico”, el cual establece que las **variables de estado “se mantengan dentro del registro de línea base**, esto es que *“los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector”*. (Los Sectores corresponden a: Sector La Punta-La Brava y Sector Peine).

## 12 DISCUSIÓN

### 12.1 En relación con Flora y Vegetación

#### 12.1.1 Análisis Vegetación (COT)

##### 12.1.1.1 Comparación monitoreo invierno 2018 y verano 2019

La validación en terreno de las unidades cartográficas de vegetación, durante la campaña de verano de 2019, permitió confirmar las formaciones vegetales descritas en la campaña de invierno 2018, en términos de su composición (especies dominantes), estructura (cobertura y fisonomía) y representatividad (superficies).

Los resultados por recubrimiento del suelo, según sectores, se presentan en la **Tabla N° 12-1**. En dicha tabla se observa que las principales diferencias entre el monitoreo de invierno 2018 y los resultados del monitoreo de verano 2019, según recubrimientos, son las siguientes:

- En el sector de Tilopozo, sólo se registra una modificación en los recubrimientos de suelo sin vegetación, al producirse un aumento de 65,6 hectáreas nuevas de cuerpos de agua (lagunas) sobre recubrimientos de áreas desprovistas de vegetación (salares) de acuerdo a registros anteriores (invierno 2018 y monitoreos previos).
- El sector Peine presenta, igualmente, una variación en los recubrimientos de suelo sin vegetación, con un aumento de 49,3 hectáreas nuevas de cuerpos de agua (lagunas) sobre recubrimientos de áreas desprovistas de vegetación (salares).
- En cuanto a los sectores Soncor, Aguas de Quelana y La Punta y La Brava, no se observan variaciones durante este periodo.
- En relación al aumento en los cuerpos de agua en Tilopozo y Peine, éste podría estar asociado a una recarga en superficies lagunares producto del evento de mayores precipitaciones ocurridas durante el verano de 2019.



**Tabla N° 12-1. Comparación de superficies por recubrimiento de suelo y formaciones vegetales en el monitoreo de verano 2019 respecto al monitoreo de invierno 2018.**

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO VERANO 2019	SUPERFICIE (ha)	
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2018	Verano 2019
Tilopozo	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	13.154,2	13.088,6
		Cuerpos de agua		65,6
	Áreas industriales	Áreas industriales	1.245,2	1.245,2
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	8,6	8,6
	Matorral de Eb	Matorral de Eb	491,1	491,1
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	91,8	91,8
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	806,8	806,8
	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	8,6	8,6
	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	16,5	16,5
	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	95,9	95,9
	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	10,1	10,1
	Matorral hídrico - Vega de Lh jb sca	Matorral hídrico - Vega de Lh jb sca	14,3	14,3
	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	4,4	4,4
	Matorral hídrico - Vega de Sf tc nia	Matorral hídrico - Vega de Sf tc nia	13,8	13,8
	Vega de dp	Vega de dp	661,8	661,8
	Vega de jb	Vega de jb	225,5	225,5
	Vega de jb dp	Vega de jb dp	16,2	16,2
	Vega de ph dp sca	Vega de ph dp sca	42,5	42,5
	Vega de sca	Vega de sca	22,5	22,5
	Vega de sca bj	Vega de sca bj	20,2	20,2
	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	30,1	30,1
Vega de tc	Vega de tc	24,5	24,5	
Matorral hídrico de Lh	Matorral hídrico de Lh	49,6	49,6	
	<b>Total Tilopozo</b>		<b>17.054,1</b>	<b>17.054,1</b>
La Punta y La Brava	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	18,4	18,4
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	39,8	39,8
	Vega de dp	Vega de dp	2,3	2,3
	Vega de nia tc	Vega de nia tc	3,3	3,3
	Vega de tc	Vega de tc	13,6	13,6

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO VERANO 2019	SUPERFICIE (ha)	
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2018	Verano 2019
	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	41,1	41,1
<b>Total La Punta y La Brava</b>			<b>118,5</b>	<b>118,5</b>
<b>Peine</b>	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	2.864,3	2.815,0
		Cuerpos de agua		49,3
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	71,8	71,8
	Matorral de Aa	Matorral de Aa	542,8	542,8
	Matorral de Ad Aa	Matorral de Ad Aa	60,1	60,1
	Matorral de Ad Ai	Matorral de Ad Ai	9,3	9,3
	Matorral de Ai	Matorral de Ai	148,5	148,5
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	1.193,7	1.193,7
	Matorral de Tb Aa	Matorral de Tb Aa	226,5	226,5
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	687,4	687,4
	Matorral hídrico - Vega de Lh dp bj	Matorral hídrico - Vega de Lh dp bj	3,4	3,4
	Matorral hídrico - Vega de Sf dp	Matorral hídrico - Vega de Sf dp	7,1	7,1
	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj sca	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj sca	1,9	1,9
	Vega de dp	Vega de dp	27,9	27,9
	Vega de dp bj	Vega de dp bj	57,2	57,2
	Vega de sca bj	Vega de sca bj	16,9	16,9
Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	6,1	6,1	
<b>Total Peine</b>			<b>5.925,0</b>	<b>5.925,0</b>
<b>Aguas de Quelana</b>	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	3.435,4	3.435,4
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	25,4	25,4
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	104,9	104,9
	Matorral de Tb Lh	Matorral de Tb Lh	9,8	9,8
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	637,3	637,3
	Matorral hídrico - Vega de Sf nia	Matorral hídrico - Vega de Sf nia	21,6	21,6
	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	313,6	313,6
	Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp	18,6	18,6
	Vega de dp	Vega de dp	203,9	203,9
	Matorral hídrico de Sf	Matorral hídrico de Sf	209,1	209,1
<b>Total Aguas de Quelana</b>			<b>4.954,2</b>	<b>4.954,2</b>
<b>Soncor</b>	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	4.749,3	4.749,3

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO VERANO 2019	SUPERFICIE (ha)	
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2018	Verano 2019
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	244,2	244,2
	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	7,8	7,8
	Vega de dp	Vega de dp	16,9	16,9
	<b>Total Soncor</b>		<b>5.018,2</b>	<b>5.018,2</b>
	<b>Total general</b>		<b>33.070,1</b>	<b>33.070,1</b>

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

Fuente: Elaboración propia.

### 12.1.1.2 Comparación con valores históricos

El análisis y las principales diferencias del tipo de vegetación entre los valores históricos, desde la línea de base en relación con los monitoreos de invierno y de verano realizados hasta la fecha, se indican en la **Tabla N° 12-2**. Los valores históricos de la COT de la línea de base, reconocen 14 formaciones vegetales de matorral zonal, una formación vegetal de humedal y 18 formaciones vegetales de herbazal, las que fueron variando durante el monitoreo debido a las validaciones en los puntos de seguimiento levantadas en terreno, y asimismo a la actualización de las fotointerpretaciones, a una menor escala con respecto a la fotointerpretación original de línea de base.

En términos generales, al realizar una comparación entre los monitoreos del seguimiento (PMB) y éstos con la línea de base (2014), se puede observar que el total de formaciones se mantiene en el tiempo, variando de 33 en LB hasta 34 en verano 2019. No obstante, la cantidad de formaciones descritas por la COT inicial difiere principalmente en la denominación de las formaciones con respecto a la caracterización desde invierno 2016<sup>27</sup>. Por lo tanto, al comparar el seguimiento desde verano 2017 (posterior al ajuste), a verano 2019 se puede indicar una estabilidad en las formaciones descritas de 31 a 34 formaciones.

Cabe indicar que, el uso de una escala menor en el PMB desde el primer monitoreo (M2) hasta el actual (M6), 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.

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

TIPO DE FORMACIÓN	LINEA DE BASE	MONITOREO ANUAL I		MONITOREO ANUAL II		MONITOREO ANUAL III	
		Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019
Matorral zonal	14	3	8	9	8	8	8
Humedal	1	-	-	-	-	-	-
Herbazal / Vega	18	6	10	10	10	10	10
Matorral mixtos azonales	-	2	13	14	15	16	16
<b>TOTAL</b>	<b>33</b>	<b>11</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>34</b>

<sup>27</sup> En invierno 2016, el número de formaciones disminuye con respecto a las 33 en línea de base, de acuerdo a la simplificación en las denominaciones de las formaciones vegetales, en relación a la composición de la(s) especie(s) dominante de la formación, sin incluir la cobertura como lo describía la línea de base. De esta forma, posterior a la validación de la COT en verano 2017 para el seguimiento del PMB, el ajuste de la caracterización de la COT permitió redefinir las denominaciones en base al criterio de dominancia alcanzando un número total de 31 formaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Para el segundo año de seguimiento, en los monitoreos de invierno 2017 y verano 2018 permitieron ir afinando la cartografía en términos de su caracterización, encontrando diferencias menores sobre cambios en los tipos de recubrimiento o en las superficies de éstos, ya que principalmente las actualizaciones fueron sobre la composición de las especies dominantes que definen a las formaciones vegetales. Finalmente, las campañas de invierno 2018 y verano 2019, permitieron validar las formaciones vegetales descritas en los monitoreos anteriores; precisándose solamente para las azonales el carácter mixto de una de ellas (el matorral hídrico de *Sarcocornia fruticosa* y *Nitrophila atacamensis* pasa a matorral hídrico - vega de *S. fruticosa* y *N. atacamensis*) y describiéndose una formación vegetal adicional (matorral hídrico – vega de *S. fruticosa* y *Distichlis spicata*).

### 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 altioplánicos 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 (M5) realizado en agosto 2018 y monitoreo de verano (M6) realizado en marzo 2019, después de las lluvias estivales, para analizar la condición actual de la vegetación presente en el área del Salar de Atacama. Se hace referencia a su vez la situación comparativa con los otros monitoreos M1, M2, M3 y M4. Las gráficas comparativas de las coberturas se presentan para todos los monitoreos M1 (invierno 2016), M2 (verano 2017), M3 (invierno 2017), M4 (verano 2018), M5 (invierno 2018) y M6 (verano 2019), incluyendo el MB0 (monitoreo inicial) en **Anexo I Vegetación y Flora**.

Adicionalmente, se analiza el escenario actual de la vegetación (monitoreos semestrales M5 y M6) con información previa entregada en la línea base del proyecto (año 2014) y monitoreos anteriores incluyendo el MB0 (monitoreo inicial), M1 (invierno 2016), M2 (verano 2017), M3 (invierno 2017) y M4 (verano 2018), coberturas que se pueden observar en **Anexo I Vegetación y Flora**.

Las seis formaciones vegetales estudiadas 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 Comparación entre invierno 2018 y verano 2019**

En este acápite se analiza la información levantada en los monitoreos estacionales realizados en el tercer año del plan de seguimiento, correspondientes al monitoreo de invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6), para un análisis de la variación anual. El muestreo fue realizado en las transectas fijas localizadas en seis subsectores del área de estudio del proyecto, correspondientes a los subsectores de: La Punta y La Brava, Peine, Tilopozo, Soncor y Aguas de Quelana.

Como se ha señalado anteriormente en este documento, por accesibilidad en ambas campañas de monitoreo, no fue posible registrar una de las transectas (T14), que se localiza en un área desprovista de vegetación (costra salina) en el sector de Soncor (Laguna Barros Negros); aunque, no obstante, ésta se incluyó dentro de la caracterización, ya que se reconoció el ambiente como tal, y solo no se logró llegar directamente al punto de origen de la transecta. Del mismo modo, cabe señalar que el subsector Aguas de Quelana no fue muestreado en M6 por restricciones de acceso al área.

**En cuanto a las formaciones vegetales**, en ambos monitoreos se observan, en general, las mismas características de estructura, de composición de especies dominantes y de fisonomía de las formaciones (ver **Tabla N° 5-24** y **Tabla N° 5-29**). No obstante, se observaron algunas diferencias entre monitoreos en varias transectas, las cuales son:

- (1) por una parte se observaron diferencias en la cobertura total de la formación (T09 y T10) o en uno de los dos estratos dominantes en la formación de acuerdo a los rangos de cobertura COT (T22, T18, T31, T06 y T24) en dichas transectas. Las diferencias observadas están relacionadas principalmente a un aumento de cobertura en algún tipo biológico de la formación, destacando la suma del estrato leñoso en las transectas de *Juncus balticus*, aunque esto no significa una variación importante en la estructura o fisonomía de ésta, dado el nivel de cobertura que varió entre estaciones.

**Tabla N° 12-3. Variaciones en los rangos de cobertura COT en transectas, entre invierno 2018 y verano 2019.**

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Formación COT	Especie(s) dominante(s)
			Invierno 2018		Verano 2019	
Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	Peine	T09	H3	dp	H4	dp
	Tilopozo	T22	LB1 H3	dp	LB2 H3	dp Lh
Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	Tilopozo	T18	H4	jb	LB1 H4	jb
		T31	H4	jb	LB1 H3	jb
Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	H3	tc nia	H2	tc nia
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	Peine	T06	LB4 H2	Tb Aa dp	LB4	Tb Aa
	Tilopozo	T24	LB4 H2	Tb dp	LB4 H3	Tb dp

Donde:

COT: Carta Ocupación de Tierras		
Cobertura vegetal (%)	Códigos de especies	Herbáceas (H):
1 muy escasa (1-5)	<b>Arbustivas (LB):</b>	dp <i>Distichlis spicata</i>
2 escasa (5-10)	Aa <i>Atriplex atacamensis</i>	jb <i>Juncus balticus</i>
3 muy clara (10-25)	Tb <i>Tessaria absinthioides</i>	nia <i>Nitrophila atacamensis</i>
4 clara (25-50)		tc <i>Triglochin concinna</i>

(2) algunas diferencias con respecto a las características físicas del suelo sobre el que se desarrollan estas formaciones vegetales, observando algunas diferencias en la humedad del suelo (saturación) –aumentando de saturado a sobresaturado (T03 en Peine) o de no saturado a saturado (T09 Peine; T22, T18, T24 y T25 Tilopozo), y disminuyendo de saturado a no saturado en T10 (La Brava)–; y, principalmente, diferencias en el recubrimiento de afloramientos salinos, que aumenta en algunos casos entre ambos monitoreos (M5 y M6) y disminuye en otros –aunque siempre dentro de rangos altos de salinidad–, destacando el herbazal de *Distichlis spicata*, con cuatro transectas en las que aumenta el porcentaje de afloramiento salino en verano (T21, T26, T27 y T28 Tilopozo) y tres en las que disminuye (T08, T09 Peine y T20 Tilopozo), y el matorral de *Tessaria absinthioides*, con una transecta (T25 Tilopozo) que disminuyó su porcentaje de afloramiento salino en verano (<50% a <30%), y dos en las que aumentó este porcentaje (de <10% hasta <50%; T05 y T06 (ver **Tabla N° 1-5 en Anexo I Vegetación y Flora**)).

(3) algunas diferencias en la riqueza registrada entre monitoreos, donde en verano se registra una especie adicional en tres transectas (T21 Tilopozo, T10 La Brava y T11 La Punta), y tres especies adicionales en otra de ellas (T07 Peine); y en el caso de la transecta T03 (Peine) y T29 (Tilopozo) en invierno se registra una especie adicional con respecto al monitoreo de verano. Estas diferencias en la riqueza por

transecta generan un cambio en la riqueza de las formaciones vegetales de matorral de *T. absinthioides*, con tres especies adicionales en verano (ver **Tabla N° 1-6 Anexo I Vegetación y Flora**).

- (4) aumento en el grado de alteración (de 1 a 2) de dos transectas del herbazal de *S. californicus*, T01 y T03, asociado al manejo tradicional de la vegetación (quema controlada comunidades) en el sector de Peine.

**Referente a la composición y coberturas absolutas** registradas en las campañas de invierno (M5) y verano (M6), se observa lo siguiente:

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus* localizado en el sector de Tilopozo y Peine, presenta en ambos monitoreos la mayor cobertura absoluta de toda el área de estudio, tanto en su especie dominante como en las transectas (seis) definidas en esta formación. La especie *S. californicus*, obtuvo valores altos de cobertura absoluta en sus transectas de muestreo, presentando en M5 una cobertura superior al 90% en tres transectas y una media en la formación de 83,2%; mientras que en M6, salvo un caso, aumenta la cobertura absoluta de *S. californicus* por transecta, registrando una cobertura absoluta mayor al 90% en cuatro transectas y una media de 90,2% de cobertura (**Figura N°1-2 en Anexo I de Vegetación y Flora**). La especie se registra igualmente como acompañante en el herbazal de *D. spicata*, con una cobertura baja que sin embargo aumenta de 1,2% en M5 a 2,8% en M6 (**Figura N°1-1 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

La especie *Distichlis spicata* presenta poca variabilidad en sus coberturas, con un rango de 1,0% a 30,4% de cobertura absoluta en las transectas del herbazal de *D. spicata*, y una media de 14,8% en M5; mientras que en M6 el rango de cobertura absoluta de las mismas transectas va de 1,6% a 29,4%, con una media de 14,3% (**Figura N°1-1 en Anexo I de Vegetación y Flora**). La especie está presente como acompañante en otras tres formaciones vegetales: en el herbazal de *Juncus balticus* disminuyó levemente su cobertura media de 8,1% (M5) a 7,9% (M6), en el herbazal de *S. californicus* aumentó su cobertura media de 18,9% (M5) a 24,8% (M6), y en el matorral de *T. absinthioides* disminuyó de 12,6% (M5) a 6,3% (M6).

La especie *Sarcocornia fruticosa*, se observa como especie dominante en cuatro transectas (**Figura N°1-5 en Anexo I de Vegetación y Flora**) y como especie acompañante en otras dos formaciones vegetales (**Figura N°1-2 y Figura N°1-4 en Anexo I de Vegetación y Flora**). En M5 destaca un máximo de 47,8% en la transecta T17 en Aguas de Quelana, correspondiente al matorral dominada por esta especie, y formación en la que alcanza una media de 29,5%. Por problemas de accesibilidad, en M6 no pudieron visitarse tres de las cuatro transectas de la formación dominada por esta especie, disminuyendo su cobertura en la única transecta muestreada (T12 en sector La Punta) de 31,0% a 23,6% en M6. Con respecto a las coberturas de esta especie como



acompañante, en el herbazal de *Triglochin concinna* se mantuvo su cobertura media de 6,4% (M5) a 6,2% (M6) y en el herbazal de *S. californicus*, esta especie aumentó su cobertura media de 0,7% (M5) a 1,6% (M6), y además, en M5 *S. fruticosa* se registraba en más transectas (cuatro) que en M6 (tres).

La especie *Triglochin concinna* se observa en dos transectas en un herbazal dominado por esta especie (**Figura N°1-4 en Anexo I de Vegetación y Flora**), en las que las coberturas de ambos monitoreos se mantienen similares, con una media de 21,0% (M5) y de 21,2% (M6). La especie también se registra como acompañante en otra transecta, en un matorral de *S. fruticosa* del sector Aguas de Quelana (**Figura N°1-5 en Anexo I de Vegetación y Flora**), con una cobertura absoluta de 0,4% en M5 (T15), la que no pudo ser muestreada en M6 por restricciones de acceso.

En cuanto a la especie *Tessaria absinthioides*, ésta se registra solo en el matorral dominado por esta especie, con tres transectas en Peine y tres en Tilopozo (**Figura N°1-6 en Anexo I de Vegetación y Flora**), registrándose en M5 en un rango entre 5,6% y 33,2% de cobertura absoluta entre transectas, con una media de 14,1%, mientras que en M6 la cobertura disminuye, con un rango observado entre 4,2% y 15,2%, alcanzando una media de 7,9% de cobertura en la formación.

La especie *Juncus balticus*, en ambos monitoreos solo se registra en las cuatro transectas donde domina esta especie (una en La Punta y tres en Tilopozo), correspondiente al herbazal de *J. balticus*, donde se observa con coberturas absolutas entre 4,4% y 22,4% entre transectas y una cobertura media de 12,8% en M5, mientras que en M6, el rango se observa entre 1,8% y 13,6%, alcanzando una menor cobertura media de 7,8%, ver **Figura N°1-3 en Anexo I de Vegetación y Flora**.

Por otra parte, las especies acompañantes *Baccharis juncea*, *Lycium humile*, *Nitrophila atacamensis* y *Puccinellia frigida* presentan algunas variaciones en sus coberturas entre M5 y M6. Para *B. juncea* se observa un leve aumento de la cobertura media en verano en el herbazal de *S. californicus* con respecto a M5 (28,2% a 29,4%). La especie *N. atacamensis* presente en la transecta T10 en un herbazal de *T. concinna* (La Brava), disminuye su cobertura absoluta de 2,4% en M5 a 0,2% en M6; y en una transecta (T15 Norte y borde Este) de matorral de *S. fruticosa*, donde se registra con una cobertura absoluta de 8,2% en M5, no se obtiene registro en M6 por restricciones de acceso al sector Aguas de Quelana. Lo mismo ocurre en las mismas formaciones y transectas con *P. frigida*, la que registra una disminución de 1,2% (M5) a 0,2% (M6) en T10, y en T15 solo se tiene registro de la cobertura absoluta en M5 con un 5,0%, ya que la transecta no tiene muestreo en verano (M6). Por otra parte, la especie *L. humile* disminuye sus coberturas medias entre M5 y M6 en las dos formaciones vegetales en que se registra, aunque en M6 se registra en una transecta adicional que hace disminuir la cobertura promedio de esta especie en la formación de *D. spicata*, ya que la cobertura absoluta por

transecta, se observa en aumento en esta formación (**Figura N°1-1 a Figura N°1-5 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Al analizar la cobertura absoluta por transecta, en M5 y M6 los mayores valores se observan en el herbazal de *Schoenoplectus californicus*. De las seis transectas en esta formación, en M5, cinco transectas presentan una cobertura absoluta superior al 100% y las seis en M6, con coberturas mayores en cuatro transectas en M6. Se alcanza un máximo de 178,8% y 185,6% en la transecta T04 del sector Peine en M5 y M6, respectivamente. Con respecto a la cobertura muerta en esta formación, en M5 se registra en cinco transectas (T01, T02, T03 del sector Peine, y T19 y T29 de Tilopozo), mientras que en M6 solo en cuatro (T01, T02, T03 Peine y T29 Tilopozo), destacando además que, en T02 Peine la cobertura aumenta en M6 a un 45,2%, de un 0,6% registrado en M5. Por otra parte, en el sector Peine, en T02 la cobertura absoluta de rastrojos disminuye a un 24,2% de un 47,2% registrado en invierno (M5), ver **Tabla N°1-6 en Anexo I de Vegetación y Flora**.

En cuanto a los valores de menor cobertura absoluta por transecta (menor al 10%), en M5 hay seis y en M6 nueve transectas con coberturas absolutas inferiores al 10%. En el herbazal de *Distichlis spicata* destacan tres transectas en ambos monitoreos, con coberturas inferiores a 5% (T21, T26 y T27 de Tilopozo); en el herbazal de *Triglochin concinna* una transecta, T10 (La Brava), con coberturas de 4,0% en M5 y 0,6% en M6; y por otro lado, en el herbazal de *Juncus balticus*, en M5, solo la transecta T31 de Tilopozo presentaba una cobertura inferior al 10% (8,8%), mientras que en M6 la misma transecta presenta una cobertura menor (4,8%) ya que la transecta T18 (Tilopozo) registra una cobertura de 7,2% en M6 y en M5 era mayor (12,0%). Lo mismo ocurre en el matorral de *T. absinthioides*, que en M5 registraba una transecta con coberturas inferiores (T05: 5,6%), cambiando en M6, además, a otras dos transectas con menos de un 7% de cobertura (T05 de Peine, T23 y T25 de Tilopozo), además de dos transectas en M6 con una cobertura al límite del 10% para T06 (10,0%) y T07 (11,0%), ambas del sector Peine, ver **Tabla N°1-6 en Anexo I de Vegetación y Flora**.

En general, se registra para todas las formaciones estudiadas cobertura muerta (absoluta), presentando algunas diferencias entre monitoreos y entre transectas. El rango de cobertura muerta es variable, estando en M5 entre 0,6% (T29 en Tilopozo) y un máximo de 47,2% (T02 en Peine), ambas en herbazales de *S. californicus*, mientras que en M6, los máximos y mínimos se registran en transectas distintas, con un 0,8% en un herbazal de *T. concinna* (T10 en La Brava) y un 49,4% (T24 en Tilopozo) en un matorral de *T. absinthioides*. Mayoritariamente, las coberturas de rastrojos en M5 se encuentran igual o bajo un 15% (22 transectas), variando en M6 a una menor proporción (12<sup>28</sup> transectas). El herbazal de *S. californicus* es la única formación donde no se observó cobertura muerta en una transecta en M5 (T04 en Peine) y en dos transectas en M6 (T04

<sup>28</sup> Considerando que tres de las transectas con cobertura absoluta muerta inferior al 15% en M5 (T15, T16 y T17) localizadas en el sector Aguas de Quelana, no fueron muestreadas en M6.

y T19 de Tilopozo); pero, a la vez, en esta misma formación es donde se registra el máximo de cobertura absoluta muerta en M5 (T02 en Peine: 47,2%), y la segunda mayor cobertura en M6, en la transecta T29 de Tilopozo (45,2%), la misma con el menor registro de cobertura muerta en M5, aunque cabe destacar que la cobertura total de la vegetación sigue siendo mayor al 100%. Por otra parte, en las otras formaciones vegetales se observa que en 12 transectas en M5 y en siete transectas de M6 las coberturas de rastrojo son inferiores o igual al 10%, las transectas con coberturas entre 10 y 20% siendo nueve en M5 y ocho transectas en M6, alcanzando un máximo de cobertura muerta de 27,8% en una transecta en M5 (T25) y un máximo de 49,4% (T24) y 37,6% (T25) en M6, registrándose estos tres últimos máximos de cobertura muerta absoluta en una formación de matorral de *T. absinthioides* del sector Tilopozo (ver **Tabla N°1-6 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Con respecto a la riqueza de especies, en general se mantienen los registros desde M5 a M6, presentando algunas diferencias en pocas transectas. En M5 se registra una especie más en las transectas T03 (Peine) y T29 (Tilopozo), con respecto a M6; y, al contrario, en M6 se registra una especie adicional en T21 (Tilopozo), T10 y T11 (La Brava y La Punta respectivamente), y tres especies adicionales en T07 (Peine), con respecto a M5. Para el resto de las transectas se mantiene constante la riqueza y varía de una a cuatro especies vasculares registradas por transecta. A nivel de formación vegetal, dadas estas variaciones de riqueza por transecta, se observa un aumento de dos especies registradas en el matorral de *T. absinthioides* en M5 a una riqueza de cinco especies en esta formación en M6 (**Tabla N°1-6 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Con respecto a la cobertura absoluta de otros recubrimientos, en general no se observan mayores diferencias de coberturas al comparar los resultados entre M5 y M6. En las formaciones de herbazal de *Triglochin concinna* y el matorral de *Sarcocornia fruticosa* que presentan más saturación en la humedad del suelo es donde, principalmente, se registró cobertura de agua superficial (sectores La Punta y La Brava y Aguas de Quelana), aunque para esta última formación en M6 las transectas con cobertura de agua no fueron muestreadas. En las transectas de *T. concinna* (T10 y T11 en La Punta y La Brava), se observa una disminución de esta cobertura en M6 en relación a M5, especialmente en la transecta T11 (de 12,0% en M5 a 0,6% en M6). Por otra parte, la cobertura de costra salina es la principal en ambos monitoreos, observándose, principalmente, diferencias en la saturación de la costra salina: por ejemplo en M5 no se observó costra salina sobresaturada, y en M6 se observó en una sola transecta (T11: 8,0%), distribuyéndose su cobertura entre costra salina pura y/o saturada y/o terrosa en ambos monitoreos, con los valores de costra salina pura manteniéndose en general entre ambos monitoreos, salvo disminuciones entre M5 y M6 más marcadas especialmente en el herbazal de *D. spicata* y de *T. concinna*, y en los matorrales de *S. fruticosa* y *T. absinthioides*; mientras que los porcentajes de costra salina saturada tienden a aumentar entre M5 y M6 en las mismas formaciones, o también una diferencia en las transectas que presentaban costra salina terrosa en M5, que en algunos casos aumentaron y en otros disminuyeron su cobertura

en M6, pero aumentando a más transectas con este tipo de recubrimiento en M6, en las formaciones de *D. spicata* y *T. absinthioides* (**Tabla N°1-6 y Tabla N°1-7 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

El herbazal de *Schoenoplectus californicus* es el único que presenta muy baja o nula cobertura de otros recubrimientos, con menos de 1% en la transecta T04 en M5 y nula en M6. Distinto es para el resto de las formaciones, donde el herbazal de *Juncus balticus* presenta altas coberturas sin vegetación, todas correspondiente a costra salina, con más de un 59% en M5 y de 60% en M6, los valores manteniéndose cercanos entre ambos monitoreos, alcanzando un máximo de 90,0% en la transecta T31 (Tilopozo) en M6 y 87,8% en M5. Las otras formaciones registran un rango de cobertura sin vegetación, principalmente entre 50 y 90% en ambos monitoreos, sin mayores diferencias en la cobertura total en ambas estaciones y solo se observan algunas diferencias por transecta, en el tipo de recubrimiento sin vegetación entre M5 y M6, correspondientes, a que en M5 se observa un mayor recubrimiento de costra salina pura en herbazales de *D. spicata* y *T. concinna* (T22, T26 y T28 en Tilopozo, y T10 y T11 en La Punta y La Brava) diferenciándose en M6 con mayor recubrimiento entre costra salina saturada (T22, T10 y T11) o costra salina terrosa (T26 y T28). En el matorral de *T. absinthioides*, la diferencia entre monitoreos se observó en las tres transectas del sector Tilopozo con mayor recubrimiento en M5 de costra salina (T23) a costra salina terrosa en M6, mientras que en T24 y T25 hay mayor cobertura de costra salina terrosa en M5 pasando a mayor cobertura de costra salina saturada en M6 (**Tabla N°1-7 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Seguidamente, al analizar los valores de cobertura promedio por sector, se observa una diferencia en la cobertura vegetal de un 65,4% registrado en M5 a 72,5% en M6 en Peine, correspondiente al sector con mayor cobertura vegetal promedio, aumentando también el porcentaje de cobertura de rastrojo entre ambos monitoreos (de 13,1% en M5 a 17,9% en M6). El sector de Tilopozo, presenta variación estable en su cobertura vegetal, dado entre 30% y 35% en las campañas de verano (**Tabla N°1-8 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

En los sectores de Tilopozo y en La Punta y La Brava, se observa una disminución de cobertura promedio desde invierno 2018 a monitoreo de verano 2019, con un 35,4% y 30,4% en M5, respectivamente, pasando a 30,6% y 24,5% en M6. En relación a la cobertura de rastrojos, se observa un aumento de su cobertura en ambos sectores, aunque más notoriamente en Tilopozo con una cobertura registrada de 13,1% en M5 a un 18,3% en M6 (**Tabla N°1-8 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Para Aguas de Quelana, sector localizado al Norte, no es posible analizar M6, ya que no fue posible realizar el monitoreo por restricciones de accesibilidad al área. En el caso de Soncor, tampoco hay muestreo en M6, no obstante, se conoce que en este sector no hay vegetación o elementos de flora aislados que pudieran monitorearse en el tiempo, ya que

se trata de un área completamente cubierta por costra salina localizado al Noroeste de Quelana.

### **12.1.2.2 Comparación con valores históricos**

De acuerdo a la línea de base levantada para el proyecto (en su proceso de evaluación EIA), se utiliza la información levantada en los meses de abril y julio del año 2014, en la cual se desarrollaron transectas de muestreo en distintas unidades en las formaciones azonales del área, con la misma metodología utilizada en los monitoreos del plan de seguimiento (M1 a M6), con el fin de comparar los resultados entre la línea de base y los monitoreos.

Para mayor detalle, en la **sección 1.6 del Anexo I Vegetación y Flora** se presentan tablas por formación, con la información comparativa de los resultados de abril y julio de 2014 (línea de base), junto a los puntos que pudieran ser comparados en relación a la ubicación de éstos con las transectas del monitoreo del plan de seguimiento, M1 y M2 correspondientes a invierno y verano del primer año de seguimiento (2016-2017), monitoreos M3 y M4 correspondientes a invierno y verano del segundo año de seguimiento (2017-2018), y monitoreos M5 y M6 correspondientes a invierno y verano del tercer año de seguimiento (2018-2019).

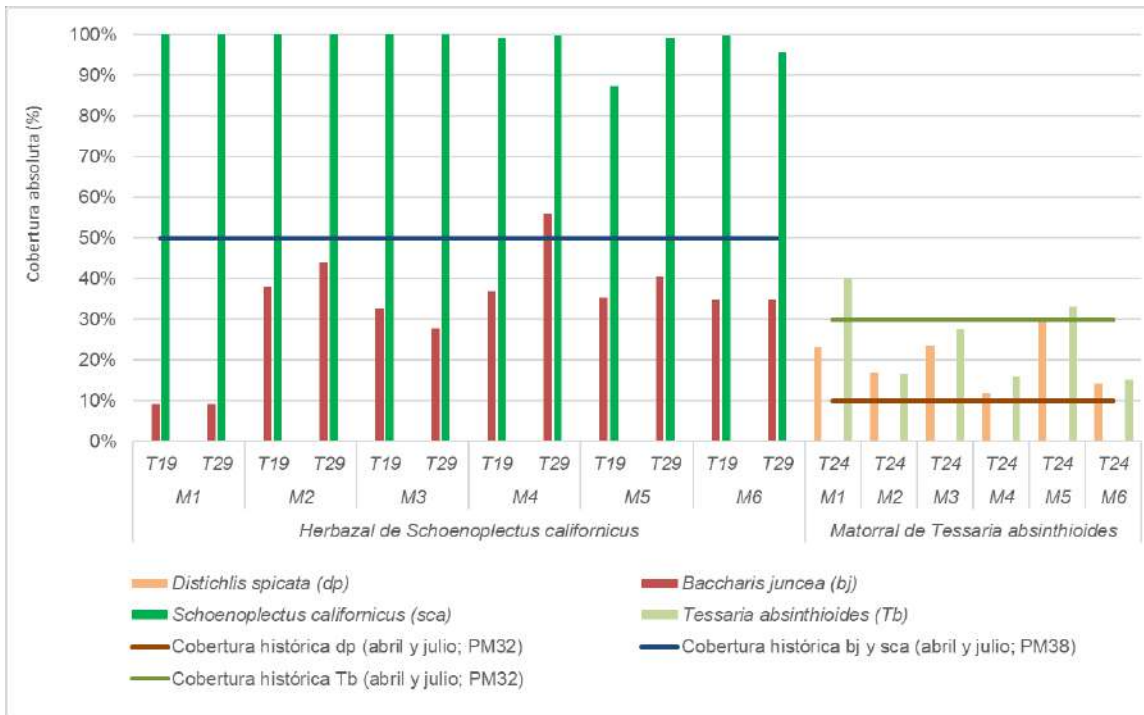
De esta forma, se relacionaron los siguientes puntos de línea base (2014) con las transectas de monitoreo, ordenados por sector (**sección 1.6 del Anexo I Vegetación y Flora**):

- Peine: en herbazal de *Distichlis spicata* el punto de línea base PM49 con la transecta T08 y en matorral de *Tessaria absinthioides* el punto PM5 con las transectas T05, T06 y T07.
- Tilopozo: en herbazal de *Distichlis spicata* el punto PM25 con la transecta T26, en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* se asoció el punto PM38 con las transectas T19 y T29 que se localizan en una misma unidad cartográfica cercana entre ellas, y en matorral de *Tessaria absinthioides* se asociaron los puntos PM37 y PM32 asociados a las transectas T23, T24 y T25, ya que están en una misma unidad cartográfica.
- La Punta: en matorral de *Sarcocornia fruticosa* el punto PM54 con la transecta T12.
- Aguas de Quelana: en matorral de *Sarcocornia fruticosa* el punto FVQ2 con la transecta T15 y el punto FVQ4 con la transecta T17.
- Para el subsector La Brava o bien para el herbazal de *Triglochin concinna* no se encontraron puntos de línea base o puntos con muestreos sobre esta formación vegetal.

No obstante, al observar las coberturas señaladas en los puntos de línea base de 2014, solo para tres formaciones vegetales se puede analizar directamente la relación con respecto a la cobertura registrada en los monitoreos del plan de seguimiento (M1 a M6), de este análisis se observa lo siguiente:

(1) En el sector Tilopozo (**Figura N° 12-1**), en el herbazal de *S. californicus* el punto de referencia de LB (PM38) indica un 50% de cobertura absoluta para las especies *B. juncea* y *S. californicus*, registradas igualmente en abril y julio de 2014. Si bien estas coberturas se registran algo distintas en relación a los monitoreos (M1-M6), demuestran igualmente una alta cobertura siendo importante mantener el seguimiento. En el caso de *B. juncea* registra, igualmente, una cobertura importante en las dos transectas (T19 y T29), registrando un máximo de 56,0% en M4 (verano post-lluvia 2018) y la especie *S. californicus* presenta una mayor cobertura que la registrada en el histórico, alcanzando un 100% de cobertura absoluta entre M1 y M3. En relación a la formación de matorral, el PM37 de LB se relaciona con las coberturas registradas en la transecta T24 del monitoreo. Las coberturas para *D. spicata* se observan sobre el nivel histórico de LB (5-10%) y para la especie *T. absinthioides*, se observa la variación de la cobertura en los tres años de seguimiento, donde se refleja que en los monitoreos de invierno (M1, M3 y M5) es cuando se acerca más al rango histórico de LB (PM37; 30,0%), a pesar de que en la línea de base se indica igualdad de coberturas entre ambos periodos de abril y julio de 2014.

**Figura N° 12-1. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M6) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en sector Tilopozo.**

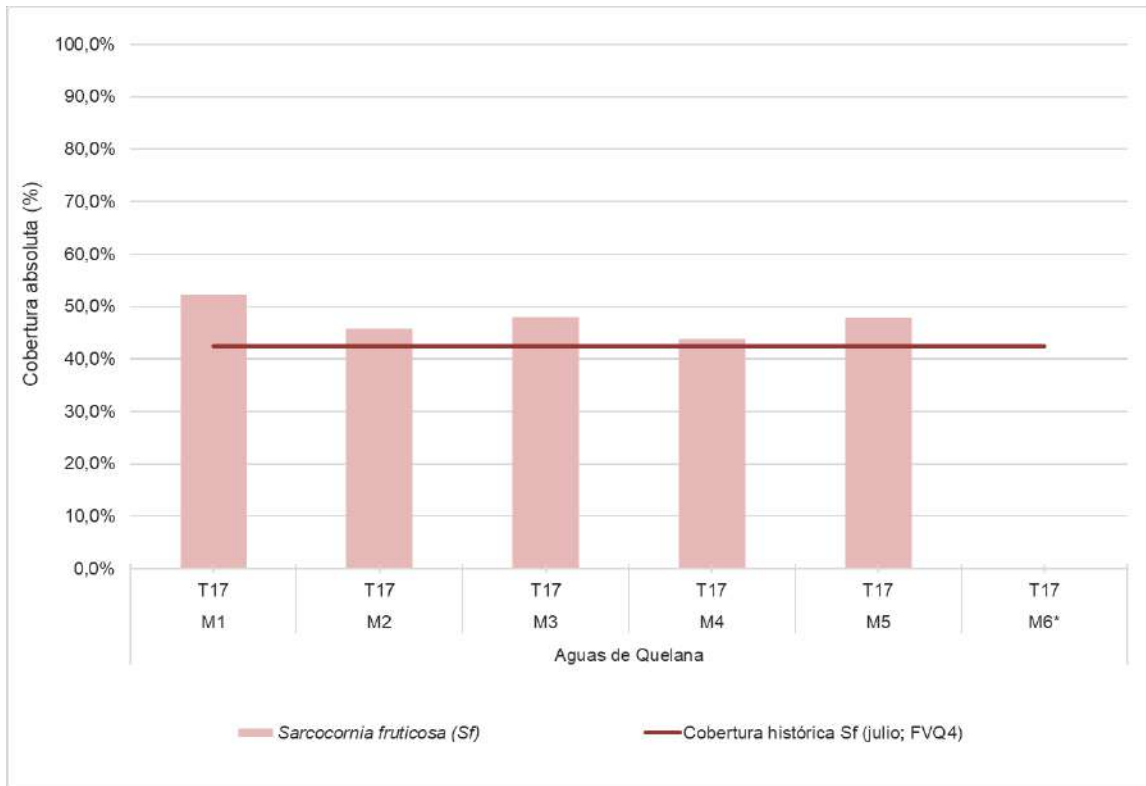


Donde: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019; y Coberturas históricas corresponden a muestreos de línea de base en abril y julio de 2014.

Fuente: Elaboración propia.

(2) En el sector Aguas de Quelana se relaciona un punto de LB FVQ4, con la transecta T17 en un matorral de *S. fruticosa* (Figura N° 12-2). La cobertura histórica registrada en línea base (42,5%; FVQ4) se ajusta a las coberturas absolutas en los monitoreos (43,8 a 52,2%), estando cercano o sobre al rango del valor histórico para la especie *S. fruticosa*.

**Figura N° 12-2. Cobertura absoluta de las especies por monitoreos (M1-M6) en comparación con sus valores históricos de línea de base (2014) en matorral de *Sarcocornia fruticosa* en sector Aguas de Quelana.**



Donde: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, donde no hay en M6 en Aguas de Quelana, ya que no se muestrearon las transectas por restricciones de acceso al área; y Coberturas históricas corresponden a muestreos de línea de base en julio de 2014.

Fuente: Elaboración propia.

(3) Por otra parte, también es importante considerar que en los registros de línea base no se considera la cobertura muerta, lo que también podría estar influenciando en la cobertura total considerada para la formación según los registros en los monitoreos, donde se diferencia este tipo de cobertura, además de los otros recubrimientos relacionados a coberturas del sustrato sin vegetación.

En el siguiente análisis, se comparan las coberturas de los monitoreos realizados en el primer año de seguimiento (M1 y M2), el segundo año de seguimiento (M3 y M4), y en el tercer año de seguimiento (M5 y M6), en referencia al **Monitoreo “0” realizado en Julio de 2016 (MB0)**, monitoreo considerado como condición inicial en la etapa preoperacional del proyecto. Esta comparación, considera un análisis interanual, entre monitoreos de verano (M2-M4-M6) e invierno (M1-M3-M5), además de ver la variación o evolución histórica de estos monitoreos con la condición inicial (MB0).

Un primer análisis en términos generales, se puede observar a través de la evolución de las coberturas por sector. En la **Figura N° 12-3** se observa la **cobertura promedio de vegetación** entre sectores, señalando lo siguiente:

- En el sector **Peine**, correspondiente al sector con mayor cobertura vegetal promedio, se observan variaciones entre campañas, con 91,8% en MB0, la cual baja a 62,5% en M1, subiendo en M2 a 77,9% de cobertura vegetal, desde donde se observa una baja a 62,5% en M4, y luego una recuperación en M5 (65,4%) y M6 (72,5%), esta última variación relacionada a la quema registrada principalmente en herbazales de *S. californicus* (sección 1.8 en **Anexo I Flora y Vegetación**).
- El sector de **Tilopozo**, presenta una leve variación entre monitoreos, principalmente desde MB0 a M5 con rango de promedios entre 33,8 y 39,9%. Luego, en M6 presenta una baja moderada a 30,6%.
- En **La Punta y La Brava**, se observan variaciones leves de cobertura, aunque con consistencia a la baja, en un rango desde 39,1% (en MB0) a 24,5% (en M6).
- Para **Aguas de Quelana**, se observa una leve variación en la cobertura de la vegetación, con 40,5% en MB0, bajando hasta 30,6% en M4 y aumentando a 33,5% en M5 (no se presenta M6, ya que no se realizó el monitoreo de verano 2019 por restricciones de acceso).
- El sector **Soncor** tampoco cuenta con M6, aunque se conoce que en este sector no hay vegetación o elementos de flora aislados que se pudieran monitorear en el tiempo, ya que se trata de un área completamente cubierta por costra salina.

En relación con la vegetación muerta o rastrojos, se detectan aumentos de la cobertura promedio desde MB0 en todos los sectores, aunque principalmente en **Peine y Tilopozo**; con rango desde 3,1% (en MB0) a 17,9% (en M6) y 6,2% (MB0) hasta 18,3% en M6, respectivamente (**Figura N° 12-3**). En el caso de Peine, la cobertura de rastrojo se mantiene más constante entre M3 y M5 (13%), notando que las mayores alzas ocurrieron de MB0 a M1 y desde M5 a M6, a diferencia de Tilopozo que muestra mayor oscilación de su cobertura, donde las mayores alzas se observan en M2 y M6 (11,4% y 18,3%, respectivamente), pero con una disminución en M3 (9,0%) y manteniéndose más constantes entre M4 y M5 (ver detalle en **Tabla N°1-8 de Anexo I Vegetación y Flora**).



En los sectores **La Punta y La Brava y Aguas de Quelana**, se observa en todos los monitoreos coberturas de rastrojo mayores a lo registrado en MB0 y M1, con rango de valores desde 1,3% a 7,7% (en M6) y 1,8 a 7,1% (en M5), respectivamente (en Aguas de Quelana no se tiene registro de datos en M6 por problemas de acceso al lugar de monitoreo). Al igual que en Tilopozo, en ambos sectores se registran oscilaciones en la cobertura de rastrojo entre monitoreos, observando una disminución en M3 con respecto a M2 y en el caso de La Punta y La Brava esta disminución se sostiene en M4, ver **Figura N° 12-3 y Tabla N°1-8 de Anexo I Vegetación y Flora**. El sector Soncor no cuenta con registros de monitoreo.

Respecto a la **riqueza registrada por sector**, indica algunas diferencias leves entre monitoreos, destacando que para M6 aumentó en **Peine**, el cual se debe al registro de tres especies adicionales en un matorral de *T. absinthioides*, las cuales no habían sido registradas en los monitoreos anteriores. En el caso de **Tilopozo** se observa una disminución en la riqueza, con una especie menos observada en M6. Por otro lado, la riqueza se ha mantenido estable en **La Punta y La Brava y Aguas de Quelana**, recordando que las diferencias detectadas se han visto por aumento o disminución de especies acompañantes con muy baja cobertura vegetal y no en la composición de especies dominantes **Figura N° 12-3**.

Cabe destacar que el aumento de riqueza más importante ocurrido en el sector Peine (tres especies), se trata de un registro puntual en una transecta de matorral de *T. absinthioides* en M6 (T07), y que probablemente la regeneración y aparición espontánea de estos elementos florísticos nuevos en la formación fue asociado al evento de mayor precipitación ocurrido en el verano de 2019. El matorral donde se registraron estas especies es de características más zonales, con una superficie de suelos más terrosos en la zona más sur del área de estudio del Salar, zona donde a nivel general se observó mayor aparición de una cobertura de especies herbáceas producto de las lluvias estivales.

En cuanto a la **cobertura de otros recubrimientos**, existen distintas variaciones multitemporales entre los sectores de estudio. **Peine**, encabeza las diferencias presentando un aumento inicial en la cobertura hasta M2 con 71,6% y luego una leve baja hasta M4 con 59,6%, desde donde se observa un aumento hasta llegar a 63,2% en M6. Por su parte, los sectores **Tilopozo, La Punta y La Brava y Aguas de Quelana**, presentan variaciones mínimas entre monitoreos, por lo que su cobertura de otros recubrimientos se observa estable (**Figura N° 12-3**).

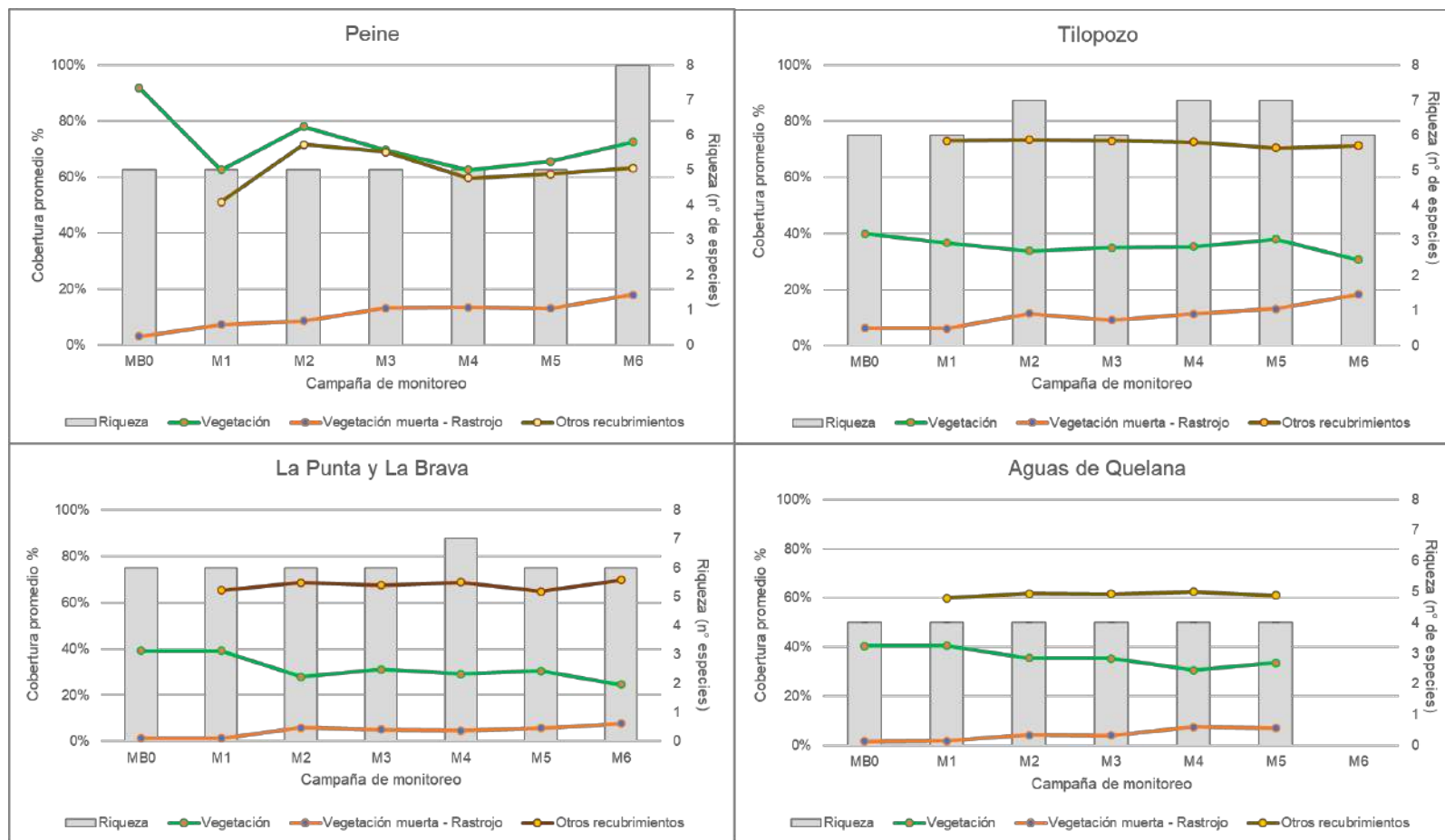
Al comparar los resultados de los tipos considerados en otros recubrimientos entre los sectores para cada monitoreo (no se cuenta con datos para el monitoreo MB0), se puede indicar que, en general, todos los sectores presentan una alta cobertura, siendo Peine y Tilopozo los más heterogéneos con mayor variedad de tipos de recubrimientos, destacando la superficie terrosa no registrada en los otros dos sectores, aunque la costra salina es la mayor para todos los sectores. En la **Figura N° 12-4** se pueden observar los

---

promedios de la cobertura de estos recubrimientos por sector, y, en mayor detalle, en el **Anexo I de Vegetación y Flora**, se observan las coberturas absolutas de estos recubrimientos por transecta y una figura con los promedios por formación vegetal para herbazales y matorrales (**Tabla N°1.7 y Figura N°1-1 en Anexo I de Vegetación y Flora**).

Como se muestra en la **Figura N° 12-4**, los sectores de Aguas de Quelana y La Punta y La Brava no presentan un recubrimiento terroso o de costra salina terrosa, ya que estos sectores están localizados más al interior del salar, por lo tanto el recubrimiento de costra salina es mayoritario destacando una costra salina saturada o sobresaturada principalmente en las estaciones de invierno (M1, M3 y M5), aunque en M6, último monitoreo en verano en 2019, aumenta la costra salina saturada en La Punta y La Brava (el sector Aguas de Quelana no tiene muestreo en M6). Además, en estos sectores destaca la cobertura de agua superficial, que se observa relativamente constante en La Punta y La Brava para todos los monitoreos, mientras que en Aguas de Quelana solo se registra este recubrimiento en los monitoreos de invierno.

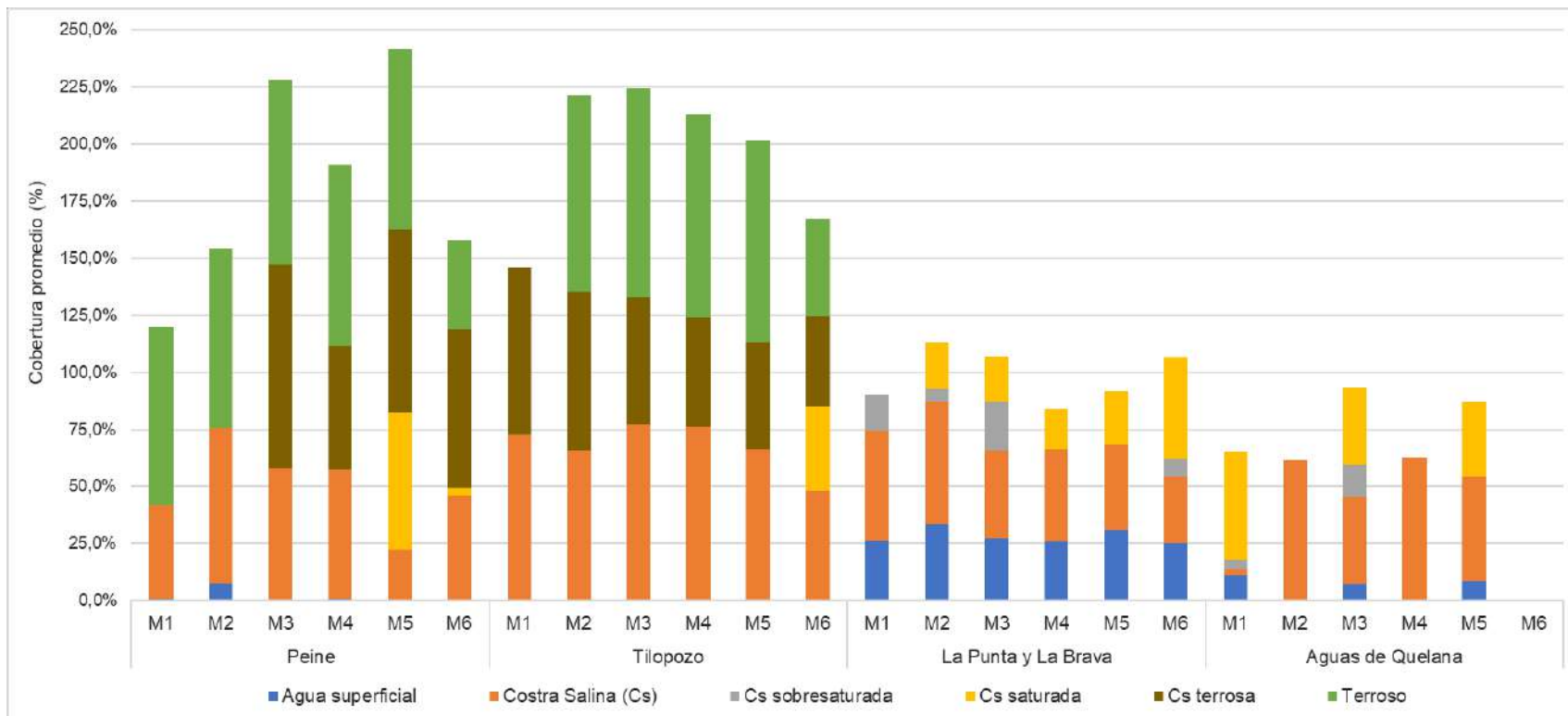
**Figura N° 12-3. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza por sector.**



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019; En Aguas de Quelana no hay datos promedio en M6\*, ya que no se muestrearon las transectas por restricciones de acceso al área.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 12-4. Cobertura promedio de otros recubrimientos por sector en los monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6.**



Donde: M1 monitoreo verano 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018 y M6 monitoreo verano 2019;  
 En Aguas de Quelana no hay datos promedios en M6, ya que no se muestrearon las transectas por restricciones de acceso al área.  
 Fuente: Elaboración propia.

En relación al seguimiento de las **coberturas absolutas en las formaciones vegetales**, destaca el herbazal de *Schoenoplectus californicus* que mantiene las coberturas vegetales en las transectas con más del 100% de cobertura absoluta o cercanas a ésta, en todos los monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6 (**Tabla N°1-6 en Anexo I Vegetación y Flora**). Si bien, en el herbazal de *S. californicus* se ha visto, en términos generales, una disminución de la cobertura total por transecta desde MB0, esto se observa especialmente en las estaciones de invierno (M1, M3 y M5), repuntando la cobertura vegetal en los monitoreos de post-lluvia o verano en algunos casos.

En esta formación de *S. californicus*, en el sector Peine, la transecta que presenta mayor disminución de su cobertura en el tiempo corresponde a T01, descendiendo de 207,2% en MB0 a 118,2% en M1, aunque repunta en M2 (164,6%) y M6 (133,0%). Las transectas T02 y T03, registran variaciones con coberturas inferiores al 100% en algunos monitoreos de invierno (T02) o verano (T03). En la transecta T03, donde la cobertura en M4 alcanza una cobertura mínima de 96,2%, registra también una mayor cobertura muerta en M4 (15,4%), no obstante, la cobertura de esta transecta vuelve a aumentar en M5 (109,4%) y en M6 (121,2%), Asimismo, T02 es la transecta que disminuye mayormente en monitoreos de invierno, bajo un 100% en M1, M3 y M5, repuntando en monitoreos de post-lluvia, aunque esto podría indicar que la formación de esta transecta tendría una mayor relación con variables hidroclimáticas que estarían determinando su disponibilidad hídrica. En el sector Tilopozo, en cambio, las coberturas de verano (M2, M4 y M6) son similares a la condición inicial (MB0), inclusive en T19 la cobertura es mayor en M2 que en MB0 y en T29 la cobertura es mayor en M2, M4, M5 y M6 que en MB0, probablemente por una activación en la actividad vegetal producto del incendio provocado en 2017 (**Tabla N°1-6 y sección 1.8 en Anexo Vegetación y Flora**).

Con respecto a las otras formaciones, éstas presentaron mayores diferencias con la cobertura total de la vegetación, o a nivel de especie y en la cobertura de rastrojos, con respecto a la condición inicial determinada para la primera fase pre operacional de este estudio (**Tabla N°1-6 en Anexo I Vegetación y Flora**).

En el caso del herbazal de *Juncus balticus*, éste presenta una variación oscilante en las coberturas durante los tres años de seguimiento. En M2 había descendido notoriamente la cobertura vegetal con respecto a MB0 y M1, no obstante, ésta se mantuvo o subió en los monitoreos siguientes (M3 y M4) y especialmente en el de invierno 2018 (M5), para volver a descender en el verano 2019 (M6), a valores cercanos o menores a los registrados en verano 2017 (M2), ver **Tabla N°1-6 en Anexo I Vegetación y Flora**.

En el herbazal de *Distichlis spicata*, se observa algo similar a la formación anterior, con una variación oscilante de las coberturas totales de las transectas entre monitoreos. Por una parte se observa una disminución general de la cobertura desde MB0, aunque con algunas alzas observadas por transectas entre M3 y M5, destacando en dos de ocho transectas, un alza de cobertura en M6 con respecto a MB0 (T09 en Peine y T22 en Tilopozo), ver **Tabla N°1-6 en Anexo I Vegetación y Flora**. En cinco transectas de esta

formación se registra el mayor valor de cobertura en un monitoreo posterior a MB0, principalmente observado en los monitoreos de verano (M2, M4, M6) para T09 de Peine y T20, T21, T22 y T28 en Tilopozo; y en las otras tres transectas (T08 en Peine, y T26 y T27 en Tilopozo) el descenso de la cobertura ha sido más paulatino desde MB0 hasta M5, aunque repuntando en algunos monitoreos, en M6 en el caso de las transectas T26 y T27.

El herbazal de *Triglochin concinna* presenta dos transectas de monitoreo, de las cuales T11, ubicada en La Punta, ha mantenido bastante constante sus coberturas en todos los monitoreos (48,0 a 52,2%). En la transecta T10 en subsector La Brava, el seguimiento ha registrado un comportamiento distinto, con una variación en descenso paulatino de la cobertura desde MB0 y M1 (14,6%) a M6 (0,6%), salvo un leve aumento en M5 (4,0%).

En el matorral de *Sarcocornia fruticosa*, se observa un descenso de las coberturas vegetales por transectas desde MB0 a M6, aunque mostrando un patrón de variación distinto, con una marcada alza de las coberturas en los monitoreos de invierno (M3 y M5) con respecto a los valores iniciales de MB0 y M1. Cabe mencionar, que tres de las transectas en esta formación no fueron muestreadas en M6 por restricciones de acceso al sector Aguas de Quelana.

La formación de matorral de *Tessaria absinthioides* también presenta, en general, una disminución de las coberturas por transecta desde MB0 hasta M6. La variación de sus coberturas presentan diferencias por sectores, donde las alzas observadas entre monitoreos fueron observadas en el caso de Peine en verano de 2018 (M4), principalmente (T06 y T07), a diferencia de Tilopozo, donde se observa un aumento de la cobertura en monitoreos de invierno (M3 y M5). No obstante, esta es una de las formaciones que presenta mayor variación

A nivel de transectas, las variaciones de cobertura observadas entre monitoreos reflejan, en general, una disminución desde MB0 a M6, con excepción en tres transectas en el herbazal de *D. spicata* (T09 en Peine y T21 y T22 de Tilopozo), que presentan una cobertura mayor en M6 en relación a la registrada en el monitoreo inicial (MB0). En términos generales, con los tres años de monitoreo no se observa una tendencia clara hacia el aumento o descenso de las coberturas en alguna formación o sector en particular, ya que generalmente, las variaciones oscilan entre monitoreos (**Tabla N°1-6 en Anexo I Vegetación y Flora**).

Esta variación de las coberturas se comportaría distinto entre los tipos de formaciones vegetales, resultando una mayor recesión en la cobertura de matorrales en la estación de verano (post-lluvia), probablemente por una respuesta a la actividad fotosintética más lenta en relación a los herbazales, aunque para el caso de los herbazales (vegas), los registros de cobertura vegetal y de rastros no muestran una tendencia al aumento o descenso únicamente en la estación de post-lluvia. Probablemente el comportamiento en los herbazales se relacione mayormente a la variabilidad interanual, enmarcándose a una

variación de mayor data en relación a las variaciones propias del sistema (ver análisis de tendencias en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema**).

### **12.1.3 Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI**

#### **12.1.3.1 Comparación con valores históricos**

La superficie con vegetación a partir de la COT en el área de estudio es de 7.238,9 hectáreas en el último monitoreo de verano de 2019, y en base al método NDVI el cálculo de la vegetación activa para esta superficie con vegetación representa un 21,0% (1.518,6 hectáreas). De esta superficie, para las formaciones de seguimiento del Plan de Manejo Biótico la superficie total para el área de estudio es de 5.856,4 hectáreas, de las cuales 1.193,3 hectáreas representan una cobertura activa según análisis NDVI-2019 (**Tabla N° 12-4**).

De acuerdo a los registros mínimos y máximos propuestos para monitoreo de vegetación, a partir de imágenes Landsat para sectores de Tilopozo – La Punta y La Brava y Peine (Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015 - Apéndice B), las superficies de vegetación activa se encuentran dentro de los rangos históricos señalados en la **Tabla N° 12-4**, y por sobre el mínimo histórico, considerando el total de la vegetación por sector. Si solo se consideran las formaciones de seguimiento, se registra una disminución de la cobertura activa con respecto al máximo histórico en el segundo año de monitoreo (verano 2018), aunque este aumenta al tercer año en 2019.

En cuanto a los valores históricos mínimos provenientes desde imágenes de alta resolución, la superficie de vegetación activa en los sectores de Tilopozo – La Punta y La Brava y Peine, superan los valores mínimos y máximos históricos en los tres años de monitoreo. Cabe recordar, que para el sector de Peine, se había observado una disminución de la cobertura activa entre el monitoreo de 2017 al 2018, sin embargo, en el verano de 2019 la cobertura activa aumentó a una superficie similar a la registrada en 2017.

En el sector de Soncor, el resultado de superficie de vegetación activa es menor en los tres monitoreos a la superficie mínima y máxima histórica, diferencias que se deben al mayor detalle definido por la COT en las campañas posteriores a la RCA, en el contexto del PMB, de verano 2017, 2018 y 2019.

En el sector de Quelana, el valor de superficie de vegetación activa es mayor al valor mínimo y máximo histórico en los tres monitoreos, diferencia que se debe al aumento de la superficie del área de muestreo para el monitoreo. No obstante, se observa una disminución de la cobertura activa desde 393,8 hectáreas en verano 2017 a 248,5 hectáreas en el 2019.

---

Por otra parte, se observa que para los sectores Soncor y Quelana la cobertura de vegetación es la misma para el total del sector como para las formaciones de seguimiento, ya que son áreas donde la vegetación es principalmente azonal, a diferencia de los sectores Peine y Tilopozo que se localizan más al sur y aumentan la superficie de vegetación con matorrales zonales que se desarrollan en los bordes del salar.



**Tabla N° 12-4. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos de Landsat y alta resolución por sector.**

Sector	VERANO 2017 (Anual I)		VERANO 2018 (Anual II)		VERANO 2019 (Anual III)		VALORES HISTÓRICOS DESDE LANDSAT		VALORES HISTÓRICOS DESDE ALTA RESOLUCIÓN	
	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)
Tilopozo - La Punta y La Brava	2.727,9	613,2	2.706,4	422,8	2.706,4	603,5	202	1.580	113,6	343,3
Peine	2.990,9	677,1	2.989,0	496,1	2.989,0	660,5	310	1.919	157,7	242,8
Soncor	24,8	7,6	24,8	6,0	24,8	6,1	-	-	21,2	37,7*
Quelana	1.518,8	393,8	1.518,8	291,5	1.518,8	248,5	-	-	20,8	32,4**
<b>TOTAL</b>	<b>7.262,4</b>	<b>1.691,8</b>	<b>7.238,9</b>	<b>1.216,4</b>	<b>7.238,9</b>	<b>1.518,6</b>				

\* Valor máximo histórico para el sector de Soncor, fechado en abril de 2011 y \*\*Valor máximo histórico para el sector de Quelana, fechado en abril de 2015; ambos valores fueron determinados en el estudio, sin embargo, no se incluyen dentro de la Tabla 5.3 "Resumen de registros máximos y mínimos propuestos para monitoreo de vegetación y cuerpos acuáticos, mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana", del Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).

Fuente: Elaboración propia.

---

De acuerdo al resumen de registros máximos y mínimos propuestos para monitoreo de vegetación, mediante herramientas de teledetección (comprometido en Tabla 5.3 del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015 - Apéndice B), en la **Tabla N° 12-5** se presentan las superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas (herbazal) de *Schoenoplectus californicus*, y su comparación respecto de los datos históricos y de línea de base. Respecto a esta formación vegetal, para el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo, ésta supera la superficie mínima en los tres años de monitoreo, encontrándose dentro del rango de los registros históricos. En tanto, el sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico en los tres periodos y en orden decreciente desde el 2017 al 2019. De acuerdo a esto, para interpretar la evolución de estas coberturas en los años de seguimiento es que se incorpora un rango mayor de tiempo para analizar a través de un análisis multitemporal la tendencia del NDVI en el tiempo (ver detalles en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema**).

**Tabla N° 12-5. Superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas de *Schoenoplectus californicus*, en relación a los registros históricos de alta resolución.**

SECTOR	VERANO 2017		VERANO 2018		VERANO 2019		REGISTROS HISTÓRICOS*	
	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Superficie mínima (ha)	Superficie máxima (ha)
Peine	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	20,3	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	7,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	3,2	22,6	23,0
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	4,5	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,4		
<b>Total Peine</b>		<b>20,3</b>		<b>11,9</b>		<b>6,6</b>		
Tilopozo - La Punta y La Brava	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	28,0	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	7,9	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	8,0	26,0	59,2
	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	5,1	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	30,2	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i>	9,4		
					Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	9,8		
<b>Total Tilopozo - La Punta y La Brava</b>		<b>33,1</b>		<b>38,1</b>		<b>27,2</b>		

\*Valores históricos obtenidos a partir de alta resolución correspondientes a la Tabla 5.3 del Apéndice B, Anexo 2 (2015).

Fuente: Elaboración propia

## 12.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

### 12.2.1 Representatividad del muestreo

Los muestreos correspondientes a las 6 campañas semestrales (invierno 2016, verano e invierno 2017, verano e invierno 2018, verano 2019) en el área de estudio se consideran representativos, por las siguientes razones:

- En términos espaciales, las estaciones de muestreo abarcan todos los ambientes y taxa, en los tres sectores de estudio. Estos ambientes corresponden a humedal salar, humedal pajonal, matorral, herbazal, quebrada y áreas desprovistas de vegetación (que, en este caso, corresponde a costras salinas).
- En relación al diseño de muestreo (estratificado/dirigido) y considerando la variedad de ambientes, la localización y número de los puntos de muestreo permite una adecuada representación de la fauna registrada.
- Por otra parte, el muestreo general de los transectos es complementado con diversas técnicas, como los trampeos de micromamíferos, muestreo nocturno de anfibios y aves nocturnas, además de la utilización de trampas cámara. Todo lo anterior permite ampliar el registro de fauna, incorporando especies escasas, evasivas, esporádicas y de difícil detección.
- Finalmente, la participación de un alto número de especialistas (n = 6) y la gran cantidad de tiempo dedicado (6 días en cada campaña), determinan un alto esfuerzo de muestreo, adecuado para representar la fauna vertebrada presente en el área de estudio.

En total, la riqueza acumulada de 54 especies en las 6 campañas realizadas representa un 87,1% de la fauna acumulada del área de estudio, cuyo registro de línea de base es de 62 especies (1 anfibio, 2 reptiles, 49 aves y 10 mamíferos; PMB 2015). El porcentaje mencionado se considera muy aceptable, ya que es esperable que la fauna registrada sea un subconjunto del valor acumulado de varios años de estudio. Parte de la diferencia registrada entre el total acumulado y el registrado por el muestreo, podría explicarse por la baja probabilidad de detectar varias de las especies del total acumulado, debido a algunas características especiales, como: muestreos en otras épocas (no sólo invierno), distribución restringida, abundancia y frecuencia bajas, actividad nocturna y crepuscular, especies migratorias, especies accidentales y con escasos registros, especies evasivas. Cabe considerar también que la composición de fauna incluye diferencias por el registro de varias especies nuevas para el área (detalles en *acápite 12.2.8.1 Riqueza y Composición*).

### 12.2.2 Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres

En el área de estudio, y en relación a la riqueza acumulada, considerando las seis campañas semestrales de monitoreo realizadas por el PMB a la fecha, ésta asciende a un total de 54 especies, identificándose 1 especie de anfibio, 2 especies de reptiles, 41 especies de aves y 10 especies de mamíferos (**Tabla N° 12-6**). En la sexta campaña de verano 2019 se incorporan 6 especies nuevas para el monitoreo (churrete acanelado, la garza azul, la golondrina bermeja, el zorro chilla, la yaca del norte y la lauchita de pie sedoso). De ellas, el churrete acanelado y la garza azul son especies nuevas comparando con los datos históricos del PMB (2015), presentados en el Anexo2, Adenda 5.

De las 54 especies de fauna detectadas, 20 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 7 especies se encuentran en categoría de conservación listadas en el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI); otras 10 especies se encuentran clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (D.S. N° 75/2005, que fue remplazado por el D.S. N° 29/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, y decretos posteriores); en tanto que las 3 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 la única especie de anfibio registrada, a las dos especies de reptiles detectadas, nueve de las especies de aves y ocho especies de mamíferos (**Tabla N° 12-6**).

Del total de 20 especies en categoría de conservación, 11 se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro (una especie, un reptil), Vulnerable (ocho especies; seis aves y dos mamíferos) y Casi amenazada (dos especies, un ave y un mamífero). Por su parte, nueve especies se catalogan sin amenaza (precautorias; **Tabla N° 12-6**).

Bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 49 de las 54 especies detectadas en el área de estudio, se encuentran en condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria, en condición de densidades poblacionales reducidas y/o beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas (categorías no excluyentes, ya que una especie puede incluirse en uno, dos o los tres criterios; detalles en **Tabla N° 12-6**).

Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, ninguna de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 12-6**).

De acuerdo a su origen geográfico, 3 de las especies registradas son endémicas de Chile (las 2 especies de reptiles y 1 especie de mamífero), en tanto que otras 50 especies son nativas (1 especie de anfibio, 41 especies de aves y 8 especies de mamíferos), y finalmente, 1 especie es catalogada como introducida (un mamífero, *Equus asinus*; **Tabla N° 12-6**).

En relación a las especies especialistas de hábitat, 21 especies se consideran especialistas, como por ejemplo el sapo espinoso (*Rhinella spinulosa*; en ambientes de humedal), la

lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar) y 19 aves (asociadas a ambientes de humedal; **Tabla N° 12-6**).

Por otro lado, la movilidad de las especies detectadas se desglosa de la siguiente forma: 4 especies son de baja movilidad, 4 especies se clasifican con movilidad media, y por último 46 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 12-6**).

Finalmente, en cuanto al Índice de Riesgo, destaca la presencia de 1 especie clasificada con un índice de riesgo máximo (*Liolaemus fabiani*, Lagartija de Fabián), en tanto que otras 7 se encuentran clasificadas con un riesgo alto, 9 se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 36 se encuentran clasificadas con un riesgo bajo. A la única especie introducida (el burro), no le fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 12-6**).

Del análisis por sector, la mayor riqueza se presenta en el sector de Tilopozo, con 33 especies registradas (el único anfibio detectado, un reptil, 23 aves y ocho mamíferos). Le sigue el sector de Peine, con 24 especies registradas (dos reptiles, 15 aves y siete mamíferos); y finalmente el sector con la menor riqueza; La Punta y La Brava con 22 especies (un reptil, 19 aves y dos mamíferos; **Tabla N° 12-6**).

Por otro lado, considerando las especies y su presencia en cada sector, las únicas especies que se encuentran en los tres sectores son el colegial del norte (*Lessonia oreas*), zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) y el lauchón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*); en tanto que otras especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (como el sapo espinoso, la lagartija de Fabián y la mayoría de las aves), y otras sólo se encuentran en ambientes terrestres (detalle en **Tabla N° 12-6**).

**Tabla N° 12-6. Lista Sistemática de especies de fauna registradas a lo largo de las 6 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2019). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.**

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTORES		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<b>AMPHIBIA</b>											
ANURA											
BUFONIDAE											
<i>Rhinella spinulosa</i>	Sapo Espinoso	LC <sup>3</sup>	BE	-	N	S	B	50,35			X
<b>TOTAL RIQUEZA AMPHIBIA</b>									<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>REPTILIA</b>											
SQUAMATA											
TROPIDURIDAE											
<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	R <sup>1</sup>	SE	-	E	N	B	44,35		X	X
<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabián	EN <sup>6</sup>	SE	-	E	S	B	83,35	X	X	
<b>TOTAL RIQUEZA REPTILIA</b>									<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>AVES</b>											
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	X
ANSERIFORMES											
ANATIDAE											
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	S/EC	-	-	N	S	A	30,00		X	
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	S/EC	-	-	N	S	A	15,00	X	X	
<i>Oressochen melanopterus</i>	Piuquén	VU <sup>1</sup>	-	-	N	S	A	54,50	X		

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTORES		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
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 <sup>1</sup>	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	X	
<i>Tringa flavipes</i>	Pitotoy chico	S/EC	BS	-	N	S	A	25,85	X		X
COLUMBIFORMES											
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	7,50			X
FALCONIFORMES											
FALCONIDAE											
<i>Falco femoralis</i>	Halcón perdiguero	I <sup>9</sup>	BE	-	N	N	A	11,35			X
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	LC <sup>8</sup>	BSE	-	N	N	A	7,00			X
<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	



CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTORES		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Fulica cornuta</i>	Tagua cornuda	NT <sup>7</sup>	S	-	N	S	A	32,65	X		
<i>Fulica gigantea</i>	Tagua gigante	VU <sup>1</sup>	S	-	N	S	A	48,65	X		
PASSERIFORMES											
FURNARIIDAE											
<i>Geositta cunicularia</i>	Minero común	S/EC	B	-	N	N	A	1,65			X
<i>Geositta isabellina</i>	Minero grande	S/EC	BS	-	N	N	A	3,35			X
<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
<i>Cinclodes fuscus</i>	Churrete acanelado	S/EC	B	-	N	S	A	16,65			X
HIRUNDINIDAE											
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	S/EC	BE	-	N	N	A	10,85	X	X	
<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina bermeja	S/EC	BSE	-	N	N	A	5,00	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
TYRANNIDAE											
<i>Agriornis micropterus</i>	Mero de Tarapacá	S/EC	BSE	-	N	N	A	5,00			X
<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	X	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

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTORES		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	Dormilona de nuca rojiza	S/EC	BE	-	N	N	A	3,35			X
PELECANIFORMES											
ARDEIDAE											
<i>Ardea alba</i>	Garza grande	S/EC	B	-	N	S	A	16,65	X		
<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 <sup>7</sup>	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Flamenco de James o Parina chica	VU <sup>1</sup>	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
<i>Phoenicopus chilensis</i>	Flamenco chileno	VU <sup>1</sup>	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
PODICIPEDIFORMES											
PODICIPEDIDAE											
<i>Podiceps occipitalis</i>	Blanquillo	S/EC	E	-	N	S	A	24,15	X		
<b>TOTAL RIQUEZA AVES</b>									<b>19</b>	<b>15</b>	<b>23</b>
<b>MAMMALIA</b>											
ARTIODACTYLA											
CAMELIDAE											
<i>Lama guanicoe</i>	Guanaco	VU <sup>2</sup>	S	-	N	N	A	56,65			X
CARNIVORA											
CANIDAE											
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC <sup>2</sup>	E	-	N	N	A	3,65	X	X	X
<i>Lycalopex griseus</i>	Zorro chilla	LC <sup>2</sup>	E	-	N	N	A	3,65			X
FELIDAE											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTORES		
									La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
<i>Puma concolor</i>	Puma	NT <sup>4</sup>	E	-	N	N	A	17,65		X	
PERISSODACTYLA											
EQUIDAE											
<i>Equus asinus</i>	Burro	S/EC	-	-	I	N	A	-		X	X
DIDELPHIMORPHIA											
DIDELPHIDAE											
<i>Thylamys pallidior</i>	Yaca del norte	S/EC	BSE	-	N	N	M	27,50		X	
RODENTIA											
CRICETIDAE											
<i>Eligmodontia puerulus</i>	Lauchita de pie sedoso	LC <sup>5</sup>	S	-	N	N	M	11,15			X
<i>Abrothrix andina</i>	Ratón andino	NP <sup>10</sup>	E	-	N	N	M	11,15		X	X
<i>Phyllotis xanthopygus</i>	Ratón orejudo amarillo	NP <sup>10</sup>	S	-	N	N	M	11,15	X	X	X
CTENOMYIDAE											
<i>Ctenomys fulvus</i>	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	VU <sup>1</sup>	S	-	E	N	B	73,65		X	X
<b>TOTAL RIQUEZA MAMMALIA</b>									<b>2</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>TOTAL RIQUEZA SECTOR</b>									<b>22</b>	<b>24</b>	<b>33</b>

**ESTADOS DE CONSERVACIÓN:** EN: En Peligro; I: Insuficientemente conocida; LC: Preocupación menor; NP: Sin prioridad inmediata; NT: Casi amenazada; R: Rara; VU: Vulnerable; S/EC: sin estado de conservación.

**FUENTES ESTADOS DE CONSERVACIÓN:** (1) D.S. N°5/1998 MINAGRI; (2) D.S. N°33/2011 MMA; (3) D.S. N°41/2011 MMA; (4) D.S. N°42/2011 MMA; (5) D.S. N°13/2013 MMA; (6) D.S. N°52/2014 MMA; (7) D.S. N°38/2015 MMA; (8) D.S. N°6/2017 MMA; (9) Rottman & López-Calleja 1992; (10) Cofré & Marquet 1999.

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

**MN:** monumento natural.

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

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

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

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

Fuente: Elaboración Propia.

## 12.2.3 Análisis por clase

### 12.2.3.1 Anfibios

Del total de 54 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante el total de campañas, sólo una de ellas corresponde a un anfibio (1,8%), perteneciente al orden Anura, familia Bufonidae. Esta especie, *Rhinella spinulosa*, está catalogada en la categoría de conservación “sin amenaza”, ya que clasifica en Preocupación menor (**Tabla N° 12-6**). Este registro se tuvo en el sector de Tilopozo.

En cuanto a su origen, se cataloga como especie nativa; es especialista de hábitat y presenta baja movilidad. Finalmente, el índice de riesgo calculado para la especie la clasifica como de riesgo alto (**Tabla N° 12-6**).

### 12.2.3.2 Reptiles

Del total de 54 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, 2 de ellas corresponden a reptiles (3,7%), ambas pertenecientes al Orden Squamata y a la familia Tropicuridae (**Tabla N° 12-6**).

Las 2 especies se encuentran clasificadas en categoría de conservación; sin embargo, solo una “bajo amenaza”. Esta especie corresponde a la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), la que está clasificada En peligro; mientras que la especie lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*) se clasifica como “sin amenaza”, en categoría Rara (**Tabla N° 12-6**).

Estas 2 especies son endémicas de Chile y presentan baja movilidad; sin embargo, solo la lagartija de Fabián es especialista de hábitat, asociada a bordes de salares (**Tabla N° 12-6**). Finalmente, en cuanto al índice de riesgo de las especies de reptiles registradas, la lagartija de Fabián se cataloga con un riesgo máximo (83,35), mientras que la lagartija de Constanza presenta un riesgo medio (44,35; **Tabla N° 12-6**).

En relación a la presencia de ambas especies de reptiles en los distintos sectores, es interesante mencionar que ambas especies se segregan espacialmente: mientras que la lagartija de Fabián se encuentra asociada a ambientes acuáticos (en el borde de salares) de los sectores de La Punta y La Brava y Peine, la lagartija de Constanza se ubica más bien en los ambientes terrestres de Peine y Tilopozo (**Tabla N° 12-7**).

### 12.2.3.3 Aves

Del total de 54 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, 41 de ellas corresponden a aves (75,9%), las que se distribuyen en 10 órdenes y 17 familias (**Tabla N° 12-6**).

Del total de aves registradas en el área de estudio, 9 especies (21,9%) se encuentran en categoría de conservación. Las especies consideradas “*bajo amenaza*” corresponden a la gaviota andina, la tagua gigante, el piquén, y las 3 especies de flamencos, clasificadas en categoría Vulnerable, además de la tagua cornuda, considerada Casi amenazada. Las especies restantes, el halcón perdiguero y el halcón peregrino, en tanto, están catalogadas “*sin amenaza*”, clasificadas en categoría Insuficientemente conocida y de Preocupación menor respectivamente (**Tabla N° 12-6**).

En cuanto a su origen, todas las especies de aves registradas son nativas, mientras que 19 de estas especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 41 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta; y en cuanto al índice de riesgo, 4 especies presentan un riesgo alto (el piquén y las 3 especies de flamencos), otras 7 especies presentan un riesgo medio, y las 29 especies restantes presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 12-6**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de Tilopozo presenta la mayor riqueza de aves, con 23 especies registradas (mayormente especies asociadas a ambientes terrestres). Les siguen en riqueza el sector de La Punta y La Brava, con 19 especies registradas, y Peine, con 15 especies, la mayoría correspondientes a especies asociadas a ambientes acuáticos (**Tabla N° 12-7**).

### 12.2.3.4 Mamíferos

Del total de 54 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, 10 de ellas corresponden a mamíferos (18,51%), las que se distribuyen en 5 órdenes y 7 familias (**Tabla N° 12-6**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, 8 (80,0%) se encuentran en categoría de conservación. Las 3 especies consideradas “*bajo amenaza*” corresponden al tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*), el guanaco (*Lama guanicoe*), clasificados en categoría Vulnerable, y al puma (*Puma concolor*), clasificado en categoría Casi amenazada. Las 5 especies catalogadas “*sin amenaza*” en su estado de conservación, en tanto, corresponden al zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), zorro chilla (*Lycalopex griseus*) y lauchita de pie sedoso (*Eligmodontia puerulus*), clasificados en categoría Preocupación menor, y al ratón andino (*Abrothrix andina*) junto al ratón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*), ambos clasificados en categoría Sin prioridad inmediata (**Tabla N° 12-6**).

En cuanto a su origen, una de las especies es endémica de Chile (el tuco-tuco de Atacama), otras 8 especies son nativas, y la especie restante es introducida (el burro).

Por otro lado, ninguna especie se considera especialista de hábitat. De las 10 especies de mamíferos registradas, 5 especies se consideran de alta movilidad, otras 4 especies con movilidad media, y una especie con movilidad baja (el tuco-tuco de Atacama). Finalmente, en cuanto al índice de riesgo que presentan las especies, dos especies presentan un riesgo alto (el tuco-tuco de Atacama y el guanaco), otra especie un riesgo medio (yaca del norte), y otras 6 especies presentan un índice bajo; para el burro, en tanto, no es aplicable el índice de riesgo, por ser especie introducida (**Tabla N° 12-6**).

Por otra parte, comparando los sectores, Tilopozo presenta la mayor riqueza, con 8 especies, seguido de Peine, con 7 especies. La menor riqueza, en tanto, se presenta en el sector de La Punta y La Brava, con sólo 2 especies registradas (**Tabla N° 12-6**).

#### 12.2.4 Composición por ambiente

En el caso de los anfibios, la única especie de la clase que fue registrada durante la realización de las 6 campañas de monitoreo (el sapo espinoso), se detectó en el ambiente humedal pajonal del sector de Tilopozo, sólo en la campaña de verano 2018 (**Tabla N° 12-7**).

Para los reptiles, de las dos especies detectadas en las campañas, la lagartija de Fabián sólo se registra en el ambiente de humedal salar de los sectores La Punta y La Brava y Peine, en tanto que la lagartija de Constanza se encuentra en el humedal pajonal de Tilopozo, y en 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° 12-7**).

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes de humedal: el mayor número de especies registrado corresponde al humedal salar de La Punta y La Brava, con 19 especies detectadas (en su mayoría especies asociadas a ambientes acuáticos), seguido por los registros de 17 especies en el humedal pajonal de Tilopozo (sólo dos especies asociadas a ambientes acuáticos) y 14 especies en el humedal salar de Peine (casi todas especies asociadas a ambientes acuáticos). A estos registros de riqueza, le siguen el ambiente de quebrada de Tilopozo con 8 especies detectadas (todas terrestres), y los matorrales de Tilopozo, con 7 especies registradas (todas terrestres). Por otra parte, se registraron muy pocas especies de aves en los ambientes de herbazal de Tilopozo y matorral de Peine, con sólo una especie, y ninguna en área desprovista de vegetación costra salar (**Tabla N° 12-7**).

Para los mamíferos, y a diferencia de las aves, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes terrestres, ya que se registran 8 especies en el matorral de Tilopozo y 7 especies en el matorral de Peine, seguidos por el registro de 6 especies en el ambiente de humedal pajonal de Tilopozo, 5 especies en el herbazal de Tilopozo 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 2 especies, y área desprovista de vegetación costra salar de Tilopozo y humedal salar de Peine, registrándose en ellos sólo una especie (**Tabla N° 12-7**).

Agrupando las cuatro clases de vertebrados registradas en el total de las campañas, el ambiente con la mayor riqueza es el humedal pajonal del sector Tilopozo, con 25 especies registradas en total (un anfibio, un reptil, 17 aves y 6 mamíferos), lo que representa un 46,3% de toda la fauna registrada en las campañas de monitoreo, seguido por el humedal salar de La Punta y La Brava, con 22 especies (un reptil, 19 aves y 2 mamíferos) y el humedal salar de Peine junto con el matorral de Tilopozo, con 16 especies. A continuación, se encuentran los ambientes de quebrada de Tilopozo (12 especies), el matorral de Peine (con 9 especies), el herbazal (7 especies), y finalmente el ambiente área desprovista de vegetación costra salar de Tilopozo (una especie), el cual presenta la menor riqueza acumulada en las campañas (**Tabla N° 12-7**).

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. Las excepciones corresponderían al registro de la única especie de anfibio (sapo espinoso) y a los 12 nuevos registros de especies desde el inicio de los monitoreos del PMB (2015).

**Tabla N° 12-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 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
<b>AMPHIBIA</b>								
Sapo Espinoso						X		
<b>TOTAL RIQUEZA AMPHIBIA</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>REPTILIA</b>								
Lagartija de Constanza			X		X	X	X	X
Lagartija de Fabián	X	X						
<b>TOTAL RIQUEZA REPTILIA</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>AVES</b>								
Vari ceniciento						X	X	
Aguilucho común			X			X		
Pato jergón chico		X						
Pato juarjual	X	X						
Piuquén	X							
Chorlo de la puna	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
Gaviota andina	X	X						
Caití	X	X						
Playero de Baird	X	X						
Pollito de mar tricolor	X	X						
Pitotoy chico	X					X		
Tortolita de la puna						X		
Tórtola					X	X	X	
Halcón perdiguero						X		
Halcón peregrino						X		
Cernícalo						X		
Tagua andina		X						
Tagua cornuda	X							
Tagua gigante	X							
Churrete acanelado						X		
Minero común							X	
Minero grande								X
Minero chico							X	X
Minero de la Puna						X	X	X
Tijeral común								X
Golondrina bermeja	X					X		
Golondrina de dorso negro	X	X						
Bailarín chico común	X					X		
Chirihue verdoso							X	
Mero de Tarapacá						X		
Mero gaucho						X	X	X
Colegial del norte	X	X				X		
Dormilona cenicienta						X		X
Dormilona chica						X		X
Dormilona de nuca rojiza								X
Garza azul		X						
Garza grande	X							
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Flamenco de James o Parina chica	X	X						
Flamenco chileno	X	X						
Blanquillo	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
<b>TOTAL RIQUEZA AVES</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>MAMMALIA</b>								
Guanaco						X	X	
Zorro chilla							X	
Zorro culpeo	X	X	X		X	X	X	X
Puma			X					
Burro			X		X	X	X	
Yaca del norte			X					
Lauchita de pie sedoso							X	
Ratón andino			X		X	X	X	X
Ratón orejudo amarillo	X		X	X	X	X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X		X	X	X	
<b>TOTAL RIQUEZA MAMMALIA</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>3</b>
<b>TOTAL POR AMBIENTE</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>25</b>	<b>16</b>	<b>12</b>

Nota: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1-10.

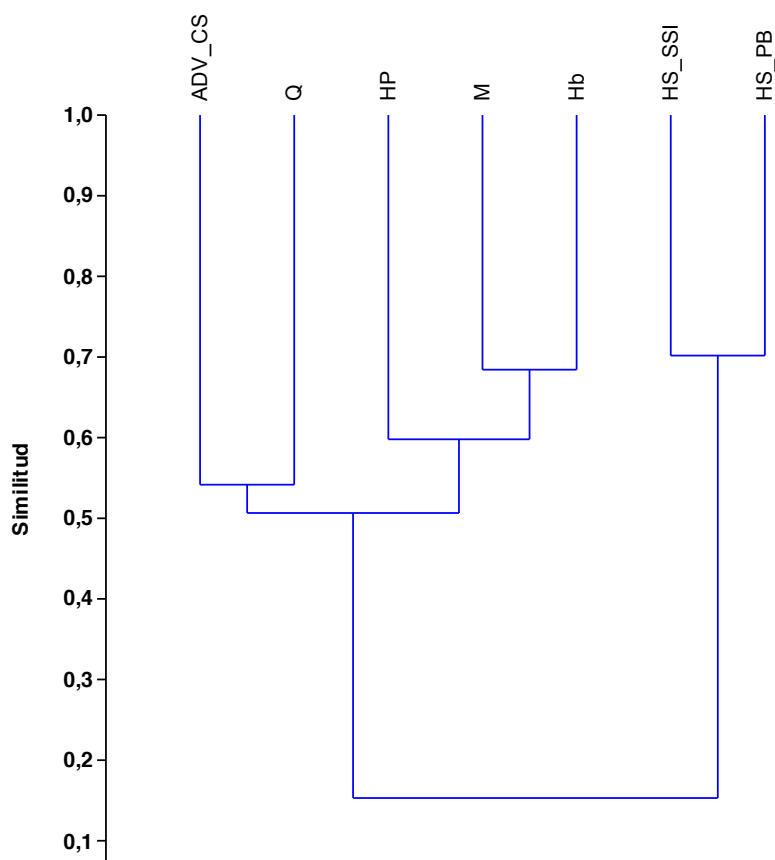
Fuente: Elaboración Propia.

### 12.2.5 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 12-7** (el que agrupa las seis campañas de monitoreo), se obtiene el fenograma de similitud de fauna (**Figura N° 12-5**).

Según los resultados de similitud, se forman dos grandes agrupaciones: los dos sistemas acuáticos de humedal salar, y el humedal pajonal con los restantes ambientes terrestres. Los ambientes de humedal salar, correspondientes a La Punta y La Brava por una parte, y a las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna) por otra, resultaron ser los más similares en el total de campañas, agrupándose a una similitud cercana al 70%. Por su parte, en el otro gran grupo, el ambiente de quebrada, junto con el área desprovista de vegetación costra salar, se asocia al resto de los ambientes con una similitud cercana al 52% (**Figura N° 12-5**).

**Figura N° 12-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 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), y la explicación de su similitud está en la mayor riqueza compartida de su fauna de aves acuáticas. La otra agrupación de mayor similitud es entre el humedal pajonal, matorral y el herbazal, a los que se agrupan luego el área desprovista de vegetación costra salar y las quebradas. Estos cinco ambientes (mayoritariamente terrestres) poseen una composición de especies bastante similar (y probablemente asociado a mayores riquezas de mamíferos), básicamente porque en todos ellos debiera haber una cobertura vegetal relativamente similar, ofreciendo recurso alimenticio y refugio a la fauna de vertebrados.

Al analizar los registros de presencia y abundancia de las especies, separados por ambientes, hay que considerar que los resultados son generales y que se deben considerar con cautela, por varias razones: a) muchas especies de fauna utilizan varios ambientes, por lo que éstos no son excluyentes; b) la presencia de una especie en un ambiente indica obviamente su uso, pero su ausencia no necesariamente implica que la especie no usa dicho ambiente (es probable que aún no se ha registrado la especie); c) para especies escasas y/o de gran movilidad, es muy probable que dada la baja cantidad

de registros, éstos no den cuenta del uso total de ambientes por dichas especies; y d) el grado de división de los ambientes puede sesgar la validez de las extrapolaciones: mientras más divisiones de ambientes se hagan, los resultados son menos generales y deben ser más cautelosos.

### 12.2.6 Abundancia y frecuencia (comparación entre campañas)

En el caso de la única especie de anfibio, ésta fue registrada sólo en verano 2018, con 1 ejemplar detectado en un punto de muestreo (100% de abundancia y 4% de frecuencia; **Tabla N° 12-8** y **Tabla N° 12-9**). Lo anterior se podría explicar por la baja frecuencia de la especie (en un solo punto de muestreo), y que en general, es más probable registrarla en verano, estando menos activa en invierno.

En el caso de las dos especies de reptiles, la abundancia absoluta total fue mayor en verano 2018 y verano 2019 (con 34 ejemplares) y menor en invierno 2016 (con 16 individuos; **Tabla N° 12-8**). En todas las campañas, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, la que varió entre 9 a 28 ejemplares avistados (56,3% a 82,4% de abundancia relativa), mientras que la lagartija de Constanza representó entre 17,6% a un 47,6%, con 4 a 10 individuos (**Tabla N° 12-8**). En el caso de la frecuencia, el patrón se mantiene, ya que la lagartija de Fabián fue la más frecuente, registrada entre 4 a 10 de los 25 puntos de muestreo (lo que representa entre un 16% a un 40% de frecuencia relativa), mientras que la lagartija de Constanza tuvo entre un 4% a un 20% de frecuencia (variando en su registro entre uno a cinco puntos de muestreo; **Tabla N° 12-9**). En este último año (invierno 2018 y verano 2019) se mantiene el patrón de los años anteriores, en que las abundancias de invierno son menores a las de verano.

En relación a las aves registradas, la abundancia absoluta total fue mayor en verano 2018 (con 520 ejemplares), y menor en verano 2017 (con 292 individuos), por lo que estos dos periodos de monitoreo de verano se asocian a los extremos de abundancias. 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 92 individuos (31,5% en verano 2017), seguida por el flamenco chileno (máximo de 125 individuos, con un 33,2% en invierno 2017, y mínimo de 46 ejemplares, con un 15,8% en verano 2107; **Tabla N° 12-8**). Otras especies abundantes en el total de campañas son: el chorlo de la Puna (15 a 50 individuos), el playero de Baird (5 a 28 ejemplares), el caití (14 a 40 individuos) y la parina chica (6 a 51 ejemplares); en cambio otras son abundantes sólo en una a dos campañas, como el chirihue verdoso (con 68 ejemplares en verano 2018 y 126 individuos en invierno 2018), el minero chico (29 individuos en verano 2018) y el bailarín chico (20 ejemplares, verano 2018), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia baja en las campañas, variando entre 1 a 12 ejemplares (**Tabla N° 12-8**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el chorlo de la Puna (entre 7 a 10 puntos, variando entre un 28% a un 40% de frecuencia), el flamenco chileno (12% a 32%), la parina grande y el caití (12% a 24%), el playero de Baird (8% a 36%) y la gaviota andina (4% a 24%), mientras que el resto de las especies son poco frecuentes, variando entre 1 a 4 puntos (4% a 16% de frecuencia; **Tabla N° 12-9**). En general, las abundancias totales de

las aves en este último año (invierno 2018 y verano 2019) están dentro del rango de todo el monitoreo.

En el caso de los macromamíferos, la especie más abundante fue el zorro culpeo, de la cual se observó un máximo de 11 individuos en 9 puntos de muestreo en verano 2018, además de un registro indirecto, y un mínimo de 3 ejemplares en tres puntos en verano 2017, por lo que su frecuencia varió desde 12% a 44%. Le siguen el burro, con un máximo de 8 ejemplares registrados en un punto, además de 5 puntos con registros indirectos (en las campañas de invierno 2016, verano 2017 y verano 2018), lo que representa un 24% de frecuencia, además de un máximo de 32% de frecuencia en verano 2019. El tuco-tuco de Atacama presenta un máximo de abundancia de 8 individuos registrados en 7 puntos en verano 2018, además del registro mayoritario por evidencia indirecta (cuevas activas) en 7 puntos (en invierno 2016), por lo que tiene una frecuencia máxima de 28%. En el caso del puma, se registró sólo una evidencia indirecta en un punto de muestreo en verano 2018 (4% de frecuencia; **Tabla N° 12-8** y **Tabla N° 12-9**). En general, los valores de abundancia y frecuencia de los macromamíferos de este último año (invierno 2018 y verano 2019), están dentro del rango de todo el monitoreo.

**Tabla N° 12-8. Abundancia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2019.**

CLASE Nombre común	AA						AR (%)					
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19
<b>AMPHIBIA</b>												
Sapo Espinoso	-	-	-	1	-	-	-	-	-	100	-	-
<b>TOTAL AMPHIBIA</b>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	100	-	-
<b>REPTILIA</b>												
Lagartija de Constanza	7	10	4	6	5	8	43,8	47,6	21,1	17,6	29,4	23,5
Lagartija de Fabián	9	11	15	28	12	26	56,3	52,4	78,9	82,4	70,6	76,5
<b>TOTAL REPTILIA</b>	16	21	19	34	17	34	100	100	100	100	100	100
<b>AVES</b>												
Vari ceniciento	2	-	-	1	-	2	0,5	-	-	0,2	-	0,4
Aguilucho común	-	-	1	3	1	1	-	-	0,3	0,6	0,2	0,2
Pato jergón chico	-	-	-	3	-	-	-	-	-	0,6	-	-
Pato juarjual	7	4	6	11	6	4	1,6	1,4	1,6	2,1	1,2	0,9
Piuquén	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0,2	-	-
Chorlo de la puna	20	26	15	50	28	31	4,6	8,9	4	9,6	5,4	6,7
Gaviota andina	6	3	11	1	12	5	1,4	1	2,9	0,2	2,3	1,1
Caití	15	14	19	33	14	40	3,4	4,8	5,1	6,3	2,7	8,6
Playero de Baird	5	23	18	19	13	28	1,1	7,9	4,8	3,7	2,5	6,0
Pollito de mar tricolor	4	44	2	42	-	-	0,9	15,1	0,5	8,1	-	-
Pitotoy chico	-	-	-	6	-	-	-	-	-	1,2	-	-
Tortolita de la puna	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0,2	-	-
Tórtola	6	1	-	-	1	1	1,4	0,3	-	-	0,2	0,2
Halcón perdiguero	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0,2	-	-
Halcón peregrino	-	2	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-
Cernícalo	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0,2	-
Tagua andina	-	-	1	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-
Tagua cornuda	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0,2	-
Tagua gigante	-	-	1	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-
Churrete acanelado	-	-	-	-	-	1						0,2
Minero común	-	1	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-
Minero grande	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0,2	-	-
Minero chico	-	12	-	29	5	2	-	4,1	-	5,6	1	0,4
Minero de la Puna	-	-	2	21	11	5	-	-	0,5	4	2,1	1,1

CLASE Nombre común	AA						AR (%)					
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19
Tijeral común	1	2	-	2	-	-	0,2	0,7	-	0,4	-	-
Golondrina bermeja	-	-	-	-	-	5						1,1
Golondrina de dorso negro	3	-	4	-	3	-	0,7	-	1,1	-	0,6	-
Bailarín chico común	4	5	6	20	9	3	0,9	1,7	1,6	3,8	1,8	0,6
Chirihue verdoso	-	-	-	68	126	-	-	-	-	13,1	24,5	-
Mero de Tarapacá	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0,2	-	-
Mero gaucho	-	2	-	-	2	5	-	0,7	-	-	0,4	1,1
Colegial del norte	-	2	2	2	1	5	-	0,7	0,5	0,4	0,2	1,1
Dormilona cenicienta	-	-	1	1	-	-	-	-	0,3	0,2	-	-
Dormilona chica	-	1	-	4	3	2	-	0,3	-	0,8	0,6	0,4
Dormilona de nuca rojiza	1	-	-	2	-	2	0,2	-	-	0,4	-	0,4
Garza azul	-	-	-	-	-	1						0,2
Garza grande	-	1	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-
Flamenco andino o Parina grande	262	92	156	113	172	202	59,8	31,5	41,5	21,7	33,5	43,5
Flamenco de James o Parina chica	39	11	6	17	51	50	8,9	3,8	1,6	3,3	9,9	10,8
Flamenco chileno	63	46	125	67	53	69	14,4	15,8	33,2	12,9	10,3	14,9
Blanquillo	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	0,2	-
<b>TOTAL AVES</b>	<b>438</b>	<b>292</b>	<b>376</b>	<b>520</b>	<b>514</b>	<b>464</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>MAMMALIA</b>												
Guanaco	-	2x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zorro chilla						1	-	-	-	-	-	-
Zorro culpeo	6 + 3x	3	3 + 4x	11 + 1x	6 + 7x	5+6x	-	-	-	-	-	-
Puma	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-
Burro	8 + 5x	8 + 5x	4x	8 + 5x	5 + 5x	5+7x	-	-	-	-	-	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7x	4 + 6x	6 + 6x	8 + 4x	7 + 4x	2+4x	-	-	-	-	-	-

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

**Nota 2:** el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1-10.

**Abundancia = AA:** Abundancia absoluta total; **AR:** Abundancia relativa.

**Campaña = I 16:** Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019.

La X indica presencia indirecta.

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 12-9. Frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2019.**

CLASE Nombre Común	FA						FR (%)						
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	
<b>AMPHIBIA</b>													
Sapo Espinoso	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-	4,0	-	-
<b>REPTILIA</b>													
Lagartija de Constanza	5/25	3/25	1/25	5/25	2/25	5/25	20,0	12,0	4,0	20,0	8,0	20,0	
Lagartija de Fabián	4/25	7/25	5/25	10/25	4/25	6/25	16,0	28,0	20,0	40,0	16,0	24,0	
<b>AVES</b>													
Vari ceniciento	2/25	-	-	1/25	-	1/25	8,0	-	-	4,0	-	4,0	
Aguilucho común	-	-	1/25	3/25	1/25	1/25	-	-	4,0	12,0	4,0	4,0	
Pato jergón chico	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	
Pato juarjual	3/25	3/25	3/25	4/25	3/25	2/25	12,0	12,0	12,0	16,0	12,0	8,0	
Piuquén	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	
Chorlo de la puna	8/25	10/25	7/25	9/25	8/25	10/25	32,0	40,0	28,0	36,0	32,0	40,0	
Gaviota andina	3/25	2/25	6/25	1/25	2/25	3/25	12,0	8,0	24,0	4,0	8,0	12,0	
Caití	6/25	4/25	6/25	3/25	5/25	2/25	24,0	16,0	24,0	12,0	20,0	8,0	
Playero de Baird	2/25	9/25	3/25	5/25	6/25	8/25	8,0	36,0	12,0	20,0	24,0	32,0	
Pollito de mar tricolor	2/25	7/25	1/25	2/25	-	-	8,0	28,0	4,0	8,0	-	-	
Pitotoy chico	-	-	-	2/25	-	-	-	-	-	8,0	-	-	
Tortolita de la puna	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	
Tórtola	2/25	1/25	-	-	1/25	1/25	8,0	4,0	-	-	4,0	4,0	
Halcón perdiguero	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	
Halcón peregrino	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	-	-	
Cernícalo	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	
Tagua andina	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	-	
Tagua cornuda	-	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	
Tagua gigante	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	-	
Churrete acanelado						1/25						4,0	
Minero común	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	-	-	
Minero grande	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	
Minero chico	-	1/25	-	2/25	1/25	1/25	-	4,0	-	8,0	4,0	4,0	
Minero de la Puna	-	-	1/25	4/25	3/25	2/25	-	-	4,0	16,0	12,0	4,0	
Tijeral común	1/25	1/25	-	1/25	-	-	4,0	4,0	-	4,0	-	-	
Golondrina bermeja						2/25						8,0	
Golondrina de dorso negro	2/25	-	4/25	-	1/25	-	8,0	-	16,0	-	4,0	-	
Bailarín chico común	2/25	2/25	2/25	3/25	3/25	1/25	8,0	8,0	8,0	12,0	12,0	4,0	
Chirihue verdoso	-	-	-	2/25	2/25	-	-	-	-	8,0	8,0	-	
Mero de Tarapacá	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	

CLASE Nombre Común	FA						FR (%)					
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19
Mero gaicho	-	2/25	-	-	2/25	4/25	-	8,0	-	-	8,0	16,0
Colegial del norte	-	2/25	1/25	1/25	1/25	4/25	-	8,0	4,0	4,0	4,0	16,0
Dormilona cenicienta	-	-	1/25	1/25	-	-	-	-	4,0	4,0	-	-
Dormilona chica	-	1/25	-	2/25	1/25	1/25	-	4,0	-	8,0	4,0	4,0
Dormilona de nuca rojiza	1/25	-	-	1/25	-	1/25	4,0	-	-	4,0	-	4,0
Garza azul						1/25						4,0
Garza grande	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	-	-
Flamenco andino o Parina grande	5/25	6/25	6/25	3/25	3/25	3/25	20,0	24,0	24,0	12,0	12,0	12,0
Flamenco de James o Parina chica	3/25	2/25	1/25	1/25	3/25	3/25	12,0	8,0	4,0	4,0	12,0	12,0
Flamenco chileno	7/25	8/25	8/25	5/25	5/25	3/25	28,0	32,0	32,0	20,0	20,0	12,0
<b>MAMMALIA</b>												
Guanaco	-	2/25	-	-	-	-	-	8,0	-	-	-	-
Zorro chilla	-	-	-	-	-	1/25						4,0
Zorro culpeo	9/25	3/25	7/25	9/25	11/25	10/25	36,0	12,0	28,0	36,0	44,0	40,0
Puma	-	-	-	1/25	-	-	-	-	-	4,0	-	-
Burro	6/25	6/25	4/25	6/25	6/25	8/25	24,0	24,0	16,0	24,0	24,0	32,0
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	7/25	7/25	7/25	7/25	6/25	6/25	28,0	28,0	28,0	28,0	24,0	24,0

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

**Nota 2:** el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1-10.

**Frecuencia = FA:** Frecuencia absoluta; **FR:** Frecuencia relativa.

**Campaña = I 16:** Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019.

La X indica presencia indirecta.

Fuente: Elaboración Propia.

### 12.2.7 Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas)

En un análisis global, comparando las seis campañas realizadas, y en cuanto a la abundancia relativa por ambiente (estandarizando por el número de transectos), los reptiles presentan la mayor abundancia relativa en el ambiente de humedal pajonal, variando entre 1,0 a 4,0 individuos/transecto (verano 2018 y verano 2017, respectivamente), seguido por el humedal salar (con 0,8 a 2,5 individuos/transecto, en invierno 2016 y verano 2018, respectivamente), la quebrada (1,0 ind/transecto, sólo en invierno 2016), el herbazal (0,5 ind/transecto, en invierno 2016 y verano 2018) y el matorral (con 0,1 a 0,4 individuos/transecto, en invierno 2016, verano 2018 y verano 2019), mientras que los otros ambientes y campañas no registraron ejemplares (**Tabla N° 12-10**).



En el caso de las aves, y para todas las campañas, claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar, variando entre 24,5 individuos/transecto en verano 2017 a 39,6 ind/transecto en verano 2019; seguido por el matorral (máximo de 18,0 ind/transecto, en invierno 2018), la quebrada (máximo de 15,0 ind/transecto, en verano 2017), el humedal pajonal, variando entre 3,0 ind/transecto (en tres campañas) a 13,0 ind/transecto (verano 2018). Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal (1,5 ind/transecto, en invierno 2016) y el área desprovista de vegetación costra salar, sin registro de ejemplares (**Tabla N° 12-10**).

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° 12-10. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 6 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2019).**

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																																			
	Humedal salar (11)						ADV costra salar (1)						Herbazal (2)						Humedal pajonal (2)						Matorral (8)						Quebrada (1)					
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19
<b>REPTILIA</b>	0,8	1,0	1,4	2,5	1,1	2,4	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0	2,0	4,0	2,0	1,0	2,5	2,5	0,1	0,3	0	0,4	0	0,4	1,0	0	0	0	0	0
<b>AVES</b>	38,7	24,5	33,6	34,2	32,9	39,6	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	3,0	3,0	3,0	13,0	3,5	6,0	0,1	0,1	0	13,5	18,0	1,4	1,0	15,0	0	10,0	1,0	6,0

Nota: entre paréntesis, se indica el número de transectos realizados por cada ambiente.

**Campaña = I 16:** Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019.

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las 4 especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en los 6 ambientes, y con un IDR que varió (en las campañas en que se encontró, con uno a 12 ejemplares), entre 0,8% (en el ambiente herbazal y humedal pajonal, en verano 2018, y en matorral, en invierno 2018) a 11,7% (en la quebrada, en invierno 2016). En cambio, el ratón andino fue registrado en 4 ambientes, variando entre un IDR de 0,8% (en tres ambientes y cuatro campañas) a un 13,3% (en el ambiente de humedal pajonal en verano 2019; **Tabla N° 12-11**). La yaca del norte y la lauchita de pie sedoso solo se registraron en la campaña de verano 2019, ambas con un ejemplar capturado en el ambiente de matorral, con un IDR de 0,8% (**Tabla N° 12-11**).

Comparando la abundancia relativa total de las dos especies de micromamíferos más abundantes entre las campañas, prácticamente no hay diferencia de abundancia en verano que en invierno. Lo anterior se verifica comparando los rangos, sobre todo para el ratón orejudo amarillento, cuyo rango de los veranos es muy similar (0,8% a 10,0%) al de los inviernos (0,8% a 11,7%). Para el ratón andino, en cambio, el IDR varía entre 0,8% a 5,0% (en invierno), y de 0,8% a 13,3% (en verano; **Tabla N° 12-11**).

**Tabla N° 12-11. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 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
<b>INVIERNO 2016</b>												
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
<b>VERANO 2017</b>												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	1,7	2/120	0,8	1/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	3,3	4/120	3,3	4/120	9,2	11/120	6,7	4/60
<b>INVIERNO 2017</b>												
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
<b>VERANO 2018</b>												
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	0,8	1/120	0	0/120	0	0/120	5,0	3/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	6,7	4/60	0,8	1/120	0,8	1/120	2,5	3/120	6,7	4/60
<b>INVIERNO 2018</b>												
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
<b>VERANO 2019</b>												
Yaca del norte	0	0/60	0	0/60	0	0/120	0	0/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón andino	0	0/60	0	0/60	1,7	2/120	13,3	16/120	10,0	12/120	1,7	1/60
Lauchita de pie sedoso	0	0/60	0	0/60	0	0/120	0	0/120	0,8	1/120	0	0/60
Ratón orejudo amarillo	0	0/60	0	0/60	3,3	4/120	1,7	2/120	10,0	12/120	1,7	1/60

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

**AMBIENTES:** HS: Humedal salar; ADV\_CS: área desprovista de vegetación costra salina; HB: herbazal; HP: humedal pajonal; M: matorral; Q: quebrada.

Fuente: Elaboración Propia.

### 12.2.8 Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres

En la línea de base del proyecto, se establecieron diferentes escalas de comparación (tanto en riqueza y composición como en abundancia), y como controles a comparar se estableció el **total acumulado de varias campañas** (entre 2006 a 2015). En particular, para comparar con las campañas de invierno, se consideró la última campaña histórica de invierno realizada (julio 2014, en PMB, 2015), antes del primer monitoreo PMB de invierno 2016; y para comparar con las campañas de verano, se consideró la última campaña histórica de verano realizada (febrero 2015, en PMB, 2015) antes del primer monitoreo PMB de verano realizado en 2017.

Si bien este informe anual presenta un enfoque estacional (comparativa entre veranos e inviernos), para efectos de fauna y del análisis de sus rangos históricos, se incorpora información de LdB de verano dado que en esta temporada se presentan datos que marcan máximos o mínimos históricos para algunos grupos de fauna, que de otra manera no se podría analizar integralmente, por ausencia de un parámetro de referencia (Ej. Anfibios).

De todas las campañas de Línea de Base, las de invierno 2014 y verano 2015 son las únicas posibles de comparar en términos de riqueza y abundancia (y en especial para las aves), mientras que el resto son comparables básicamente en la riqueza y composición de la fauna (y con la debida cautela, ya que no se incluyen los mismos ambientes y sectores que en este monitoreo). Además, es necesario destacar que en la campaña de Línea de Base de verano 2015, los datos aparecen agrupados en sistemas lagunares, no pudiéndose separar en los sistemas de La Punta y La Brava y Peine (como sí está separado en la campaña de Línea de Base de invierno 2014). De este modo, para la abundancia de aves, primero se hace una comparación general de todas las lagunas (con dos campañas de Línea de Base, invierno y verano), y luego se realiza una comparación más específica, separando los dos sectores: La Punta-La Brava y Peine, aunque con una sola campaña de Línea de Base (invierno 2014).

Finalmente, para el caso de los micromamíferos y reptiles, debido a la carencia de datos históricos cuantitativos comparables en la PMB, la comparación se hará entre las campañas de monitoreo.

### 12.2.8.1 Riqueza y composición

En una primera escala gruesa de comparación, las 54 especies registradas en estas seis campañas 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 (**Tabla N° 12-12**). 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 verano 2019 se incluyen dentro de las 62 especies del total acumulado. Las excepciones a esta situación corresponden a la detección de 9 nuevas especies: garza grande (*Ardea alba*, registrada en verano 2017), piuquén (*Oressochen melanopterus*, registrada en verano 2018), tagua andina (*Fulica ardesiaca*) y tagua gigante (*Fulica gigantea*), ambas registradas en invierno 2017, puma (*Puma concolor*, registrada en verano 2018), tagua cornuda (*Fulica cornuta*) y blanquillo (*Podiceps occipitalis*), ambas registradas en la campaña de invierno 2018, y finalmente, 2 especies registradas en la última campaña de verano 2019: garza azul (*Egretta caerulea*) y churrete acanelado (*Cinclodes fuscus*). Todos estos casos corresponden al primer registro de estas especies para la zona, ya que no aparecen en ninguna de las campañas anteriores reportadas en el PMB (2015).

Las campañas preliminares al monitoreo poseen diferente esfuerzo de muestreo (una, dos o varias estaciones) y se realizan en distintas estaciones del año, por lo que la comparación es general. En particular, comparado con el total acumulado con siete campañas de línea de base de RWL (desde junio de 2008 a febrero de 2015), el que corresponde a 45 especies (un anfibio, dos reptiles, 32 aves y 10 mamíferos, **Tabla N° 12-12**), la composición de especies de estas seis campañas de agosto 2016 a abril 2019 es levemente mayor (45 a 54, respectivamente), variando la proporción básicamente para la clase aves (32 versus 41). La información de 2006 por otro lado, no corresponde a datos propios de la Línea de Base del Proyecto (PMB 2015), sino que obedece a estudios más generales citados en el PMB (SQM 2006-2012 y MEL 2009), y su inclusión tuvo por objetivo complementar la riqueza y composición conocida de especies en el área de estudio, llegando con esta información a una riqueza total de 62 especies, pero que no se utilizan directamente para efectos comparativos de abundancia.

**Tabla N° 12-12. Comparación de la riqueza de especies (por clase) entre las campañas de estudio de Línea Base, con las campañas de invierno 2016, verano e invierno 2017, verano e invierno 2018, y verano 2019.**

CLASE	CAMPAÑAS														
	LÍNEA BASE (PMB)						TOTAL ACUMULADO		ACTUAL						
	Jun/Sep 2008	Mar 2010	Sept 2013	Abr 2014	Jul 2014	Feb 2015	Jun 08-Feb 15	+ Otros estudios (2006-2015)*	Ago 2016	Mar 2017	Ago 2017	Abr 2018	Ago 2018	Abr 2019	Ago 2016-Abr 2019
Anfibios	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1
Reptiles	1	2	0	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Aves	12	6	21	14	10	10	32	49	15	19	17	27	21	21	41
Mamíferos	5	4	4	5	5	6	10	10	5	6	4	6	5	8	10
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>45</b>	<b>62</b>	<b>22</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>36</b>	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>54</b>

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, como los sistemas probablemente más sensibles, como ambientes acuáticos), en el total acumulado la composición de especies en ambos sistemas es bastante similar. En términos referenciales, a partir de la revisión del PMB (2015) presentado en Adenda 5, Anexo 2 del EIA, para el sistema La Punta y La Brava, en el total acumulado histórico (entre 2008 y 2015, en todas las estaciones, y anterior a estos monitoreos), se han registrado 14 especies de aves, 1 mamífero y 1 reptil, mientras que en las seis campañas de invierno 2016 a verano 2019 se han observado 22 especies (19 aves, un reptil y dos mamíferos; **Tabla N° 12-7**).

Igualmente, a partir de la revisión en PMB (2015) presentado en Adenda 5, Anexo 2 del EIA, el Sistema Peine (considerando sólo el ambiente humedal salar formado por las lagunas Salada, Saladita e Interna) presenta un total acumulado histórico (entre 2008 y 2015, en todas las estaciones) de 17 especies (1 reptil y 16 aves), mientras que en las seis campañas de invierno 2016 a verano 2019 se registraron 16 especies (1 reptil, 1 mamífero y 14 aves; **Tabla N° 12-7**). A pesar que en el Sistema Peine también se encuentra un ambiente terrestre (matorral), el cual presenta especies identificadas en el monitoreo, éste no fue considerado en la LB del PMB (2015), por lo que no se puede comparar. Como es esperable, la riqueza de ambos sistemas de las campañas de invierno 2016 hasta el verano 2019 es un subconjunto (Peine) o muy similar (La Punta y La Brava) al total acumulado en varias campañas anteriores; con excepción de varias especies nuevas para el área, y que no habían sido registradas en el PMB (2015), como el pato jergón chico (observado en verano 2018 en Peine), el piquén (observado en verano 2018 en La Punta y la Brava), el pitotoy chico (observado en verano 2018 en La Punta y la Brava), la tagua andina y tagua gigante (ambas observadas en invierno 2017 en Peine y La Punta y la Brava, respectivamente), la garza grande (observada en verano

2017 en La Punta y la Brava), la tagua cornuda y el blanquillo (observadas en invierno de 2018 en La Punta y La Brava) y la garza azul (registrada en verano 2019 en Peine).

En la escala de riqueza por campaña estacional, y comparando el registro de las campañas de invierno 2016 a invierno 2018, con la última campaña de invierno de líneas de base anterior (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: 2 reptiles, 17 aves y 4 mamíferos), e invierno 2018 (con 28 especies: 2 reptiles, 21 aves y cinco 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° 12-12**).

En la otra estación, comparando el registro de las campañas de verano 2017 a verano 2019, con la última campaña de verano de líneas de base anterior (verano 2015, PMB 2015), se observa que la riqueza total de verano de 2017 (con 27 especies, de las cuales 2 son reptiles, 19 son aves y 6 son mamíferos), verano 2018 (con 36 especies: 1 anfibio, 2 reptiles, 27 aves y 6 mamíferos) y verano 2019 (con 31 especies: 2 reptiles, 21 aves y 8 mamíferos), son superiores a la registrada en febrero de 2015, con 17 especies (1 reptil, 10 aves y 6 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 verano de Línea de Base (2015) un subconjunto de la fauna registrada en los veranos recientes de monitoreo (**Tabla N° 12-12**).

Específicamente, en invierno, para las aves, en el sistema acuático de La Punta y La Brava, la riqueza de especies observada en invierno de 2016 (con 9 especies), invierno 2017 (con 13 especies) e invierno 2018 (con 12 especies), es mucho mayor a la observada en invierno de 2014 (con 6 especies; **Tabla N° 12-13**). Idéntico resultado se observa en el Sistema Peine (sólo las lagunas Salada, Saladita e Interna), con 6 aves en invierno 2014 y 9 en los tres inviernos de monitoreo (2016, 2017 y 2018; **Tabla N° 12-13**). En relación a la composición de especies, y para ambos sistemas, las especies de aves registradas en 2014 son un subconjunto de las observadas en 2016 a 2018, y tal vez el caso más interesante se da en La Punta y La Brava, con la ausencia de ejemplares de parina grande, y en menor medida, de gaviota andina, en 2014; mientras que en las lagunas Salada, Saladita e Interna, destaca la ausencia de pollito de mar tricolor y gaviota andina en 2014 (**Tabla N° 12-13**).

En verano, para las aves, en los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine, la riqueza de especies observada en las estaciones estivales del monitoreo: verano de 2017 (con 12 especies), verano 2018 (con 14 especies) y verano 2019 (con 11 especies) es mucho mayor a la observada en verano de 2015 (PMB, con 7 especies; **Tabla N° 12-13**). En relación a la composición de especies, y para ambos sistemas, las especies de aves registradas en 2015 son un subconjunto de las observadas en 2017 a 2019, y tal vez el

caso más interesante es la ausencia de ejemplares de parina chica, pollito de mar tricolor, gaviota andina y pato juarjual en 2015 (**Tabla N° 12-13**).



**Tabla N° 12-13. Comparación de la riqueza y composición de aves en los sistemas acuáticos del área de estudio, para las campañas históricas del PMB (invierno 2014 y verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2019).**

Nombre común	Humedal Salar											
	La Punta-La Brava				Peine (Salada, Saladita e Interna)				La Punta-La Brava y Peine			
	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Verano 2015 (PMB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019
Pato colorado									X			
Pato jergón chico											X	
Pato juarjual	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Piuquén											X	
Chorlo de la puna	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gaviota andina		X	X	X		X	X	X		X	X	X
Caití	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Playero de Baird	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X
Pollito de mar tricolor			X			X				X	X	
Pitotoy chico											X	
Tagua andina							X					
Tagua cornuda				X								
Tagua gigante			X									
Golondrina bermeja												X
Golondrina de dorso negro			X			X	X	X				
Bailarín chico común		X	X	X						X	X	
Colegial del norte			X	X					X	X	X	X

Nombre común	Humedal Salar											
	La Punta-La Brava				Peine (Salada, Saladita e Interna)				La Punta-La Brava y Peine			
	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Verano 2015 (PMB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019
Garza azul												X
Garza grande										X		
Flamenco andino o Parina grande		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Flamenco de James o Parina chica	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X
Flamenco chileno	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Blanquillo				X								
<b>TOTAL POR AMBIENTE</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>11</b>

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de la composición de especies de reptiles, se registran dos especies en las campañas de monitoreo estivales (2017, 2018 y 2019), la lagartija de Constanza y lagartija de Fabián, mientras que en la campaña de Línea de Base de febrero de 2015, se registró solo la lagartija de Fabián. En invierno, las 2 especies registradas en las campañas de invierno 2016, 2017 y 2018 (lagartija de Constanza y lagartija de Fabián) son las mismas observadas en las campañas de Línea de Base de 2014 (dos campañas: Abril y Julio; **Tabla N° 12-14**).

Algo similar ocurre para las especies de mamíferos, con mayor riqueza de especies en las campañas de verano de monitoreo (6 a 8 especies) que en la campaña de Línea de Base de verano de 2015 (5 especies), mientras que en los inviernos la riqueza del monitoreo (con 4 a 5 especies) es similar a la Línea de Base de 2014 (5 especies). Algunas especies son compartidas en casi todos los periodos, como el zorro culpeo, el tuco-tuco de Atacama y los roedores ratón orejado amarillo (*Phyllotis xanthopygus*) y ratoncito andino (*Abrothrix andina*), además del burro. Para los veranos, existen algunas leves diferencias entre verano de 2015 (LB) con el monitoreo, como la presencia de guanaco (*Lama guanicoe*, verano 2017), puma (*Puma concolor*, verano 2018) y lauchita de pie sedoso (*Eligmodontia puerulus*), junto con la yaca de la puna (*Thylamys pallidior*) en verano 2019. En invierno, hay algunas leves diferencias, como la presencia de la yaca del norte y la ausencia de burros, en las campañas de 2014 (**Tabla N° 12-14**).

**Tabla N° 12-14. Comparación de la riqueza y composición de reptiles y mamíferos en el área de estudio, para las campañas históricas del PMB (abril y julio 2014, verano 2015), y del monitoreo (invierno 2016 a verano 2019).**

CLASE Nombre Común	CAMPAÑA							
	2014 (PMB)*	Verano 2015 (PMB)	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019
<b>REPTILES</b>								
Lagartija de Constanza	X		X	X	X	X	X	X
Lagartija de Fabián	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Subtotal reptiles</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>MAMÍFEROS</b>								
Guanaco				X				
Zorro chilla								X
Zorro culpeo	X	X	X	X	X	X	X	X
Puma						X		
Yaca del norte	X							X
Burro		X	X	X	X	X	X	X
Lauchita de pie sedoso								X
Ratón andino	X	X	X	X		X	X	X
Ratón orejudo amarillo	X	X	X	X	X	X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Subtotal mamíferos</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>8</b>
<b>RIQUEZA TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>10</b>

El asterisco (\*) indica que se incluyen dos campañas (abril y julio).

Fuente: Elaboración Propia.

### 12.2.8.2 Abundancia

#### Aves

Para las aves, en la primera escala de comparación, agrupando todos los sistemas lagunares (La Punta-La Brava-Peine) y considerando tanto las seis campañas de monitoreo como las dos campañas de Línea de Base, se han registrado 23 especies en total (**Tabla N° 12-15**). De ellas, sólo una especie (el pato colorado) se ha registrado en la Línea de Base y no en el monitoreo (aunque con dos ejemplares solamente, en verano 2015; **Tabla N° 12-15**). Por el contrario, 14 especies se han observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con tres especies numéricamente abundantes, como el pollito de mar tricolor (con rango entre dos a 44 ejemplares), la gaviota andina (uno a 12 individuos)

y el bailarín chico (dos a 14 ejemplares), mientras que el resto son muy escasas (uno a 3 individuos; **Tabla N° 12-15**). Finalmente, ocho especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan los flamencos (**Tabla N° 12-15**).

**Tabla N° 12-15. Comparación de la abundancia de aves en los sistemas lagunares (La Punta-La Brava y Peine), para los periodos de Línea de Base y monitoreo.**

SISTEMAS LAGUNARES (LA PUNTA - LA BRAVA Y PEINE)								
Nombre Común	Línea Base		Monitoreos					
	Invierno 2014	Verano 2015	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019
Pato colorado	0	2	0	0	0	0	0	0
Pato jergón chico	0	0	0	0	0	3	0	0
Pato juarjual	8	0	0	4	0	11	6	4
Piuquén	0	0	0	0	0	1	0	0
Chorlo de la puna	5	9	20	26	15	50	28	31
Gaviota andina	0	0	6	3	11	1	12	5
Caití	16	2	15	14	19	33	14	40
Playero de Baird	1	22	5	23	18	19	13	28
Pollito de mar tricolor	0	0	4	44	2	42	0	0
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	3	0	0
Tagua andina	0	0	0	0	1	0	0	0
Tagua comuda	0	0	0	0	0	0	1	0
Tagua gigante	0	0	0	0	1	0	0	0
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	0	1
Golondrina de dorso negro	0	0	3	0	3	0	3	0
Bailarín chico común	0	0	2	4	4	14	7	0
Colegial del norte	0	2	0	2	2	2	1	4
Garza azul	0	0	0	0	0	0	0	1
Garza grande	0	0	0	1	0	0	0	0
Parina grande	135	32	262	92	156	113	172	202
Parina chica	79	0	39	11	6	17	51	50
Flamenco chileno	32	15	63	46	125	67	53	69
Blanquillo	0	0	0	0	0	0	1	0
<b>TOTAL</b>	<b>276</b>	<b>84</b>	<b>419</b>	<b>270</b>	<b>363</b>	<b>376</b>	<b>362</b>	<b>435</b>

Fuente: Elaboración propia.

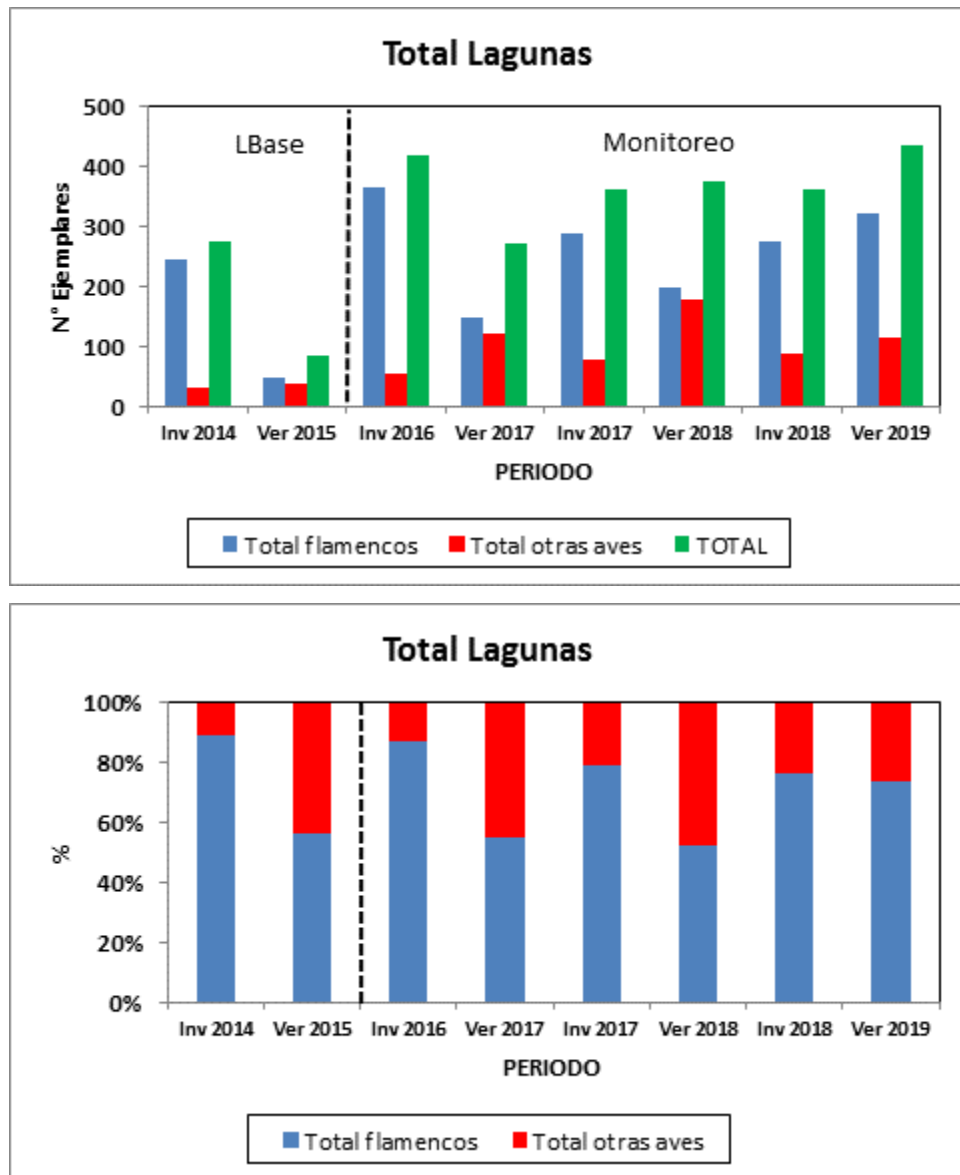
Finalmente, se agrupan las abundancias de los flamencos en relación al resto de las aves. Esto se analiza pues estas tres especies acuáticas son, por una parte, las más importantes numéricamente, y por otra, todas se consideran amenazadas, como vulnerables.

En relación a la abundancia absoluta, se observa una variación estacional: en la Línea de Base como en el primer año de monitoreo (invierno 2016 y verano 2017), las abundancias totales son mayores en invierno que en verano, mientras que en el segundo periodo anual de monitoreo (invierno 2017 y verano 2018), dichas abundancias totales son similares. Finalmente, en el último periodo anual de monitoreo (invierno 2018 y verano 2019), las abundancias totales se invierten, siendo mayor en verano que en invierno (**Figura N° 12-6**).

Por otra parte, los flamencos son numéricamente dominantes en todas las campañas (aunque mucho mayor en invierno que en verano) y tanto en la línea de Base como en el monitoreo (**Figura N° 12-6**). Las abundancias totales de las aves son mayores en todo el periodo de monitoreo que en las dos campañas de Línea de Base. Así, en el monitoreo las abundancias totales varían entre 270 a 435 ejemplares, mientras que en Línea de Base los valores oscilaron entre 84 y 276 ejemplares. En particular, para los flamencos, también las abundancias totales son mayores en el monitoreo (149 a 364) que en la Línea de Base (47 a 246). En abundancia relativa (y considerando todas las campañas), los flamencos varían en un rango entre 52% a 74% en veranos, mientras que aumentan a un rango entre 76% a 89% aproximadamente, en inviernos (**Figura N° 12-6**).

Por lo tanto, y en resumen, analizando a los sistemas lagunares como un todo, la riqueza y abundancia de aves acuáticas muestran resultados similares (e incluso mayores) en el monitoreo en comparación a la Línea de Base.

**Figura N° 12-6. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa los periodos en Línea de Base y Monitoreo.**



Fuente: Elaboración Propia.

En el caso del análisis de **abundancia de aves separado por sector** (en el que se incluye como referencia histórica la campaña de Línea de Base de invierno 2014, ya que es la única disponible para comparar, en términos de los dos sistemas hidrológicos analizados independientemente), para el **sistema hidrológico Peine** (lagunas Salada, Saladita e Interna), se han registrado 14 especies en total (**Tabla N° 12-16**). De ellas, 8 especies se han observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con 2 especies más

abundantes: el pollito de mar tricolor (con rango entre 0 a 42 ejemplares) y el playero de Baird (0 a 17 ejemplares), mientras que el resto son muy escasas (0 a 3 individuos; **Tabla N° 12-16**). Finalmente, otras seis especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan los flamencos (**Tabla N° 12-16**).

**Tabla N° 12-16. Comparación de la abundancia de aves en el sistema hidrológico Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), para los periodos de Línea de Base y monitoreo.**

SISTEMA HIDROLÓGICO PEINE (LAGUNAS SALADA - SALADITA - INTERNA)							
Nombre Común	Línea Base	Monitoreos					
	Invierno 2014	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019
Pato jergón chico	0	0	0	0	3	0	0
Pato juarjual	4	1	2	3	4	2	4
Chorlo de la puna	3	6	14	7	14	5	7
Gaviota andina	0	2	0	3	0	1	2
Caití	14	6	12	6	33	7	38
Playero de Baird	0	0	12	17	9	3	12
Pollito de mar tricolor	0	4	24	0	42	0	0
Tagua andina	0	0	0	1	0	0	0
Golondrina de dorso negro	0	3	0	3	0	3	0
Colegial del norte	0	0	0	0	0	0	1
Garza azul	0	0	0	0	0	0	1
Parina grande	135	219	85	145	112	160	200
Parina chica	40	11	11	0	17	35	49
Flamenco chileno	14	47	34	104	58	39	66
<b>TOTAL</b>	<b>210</b>	<b>299</b>	<b>194</b>	<b>289</b>	<b>292</b>	<b>255</b>	<b>380</b>

Fuente: Elaboración propia.

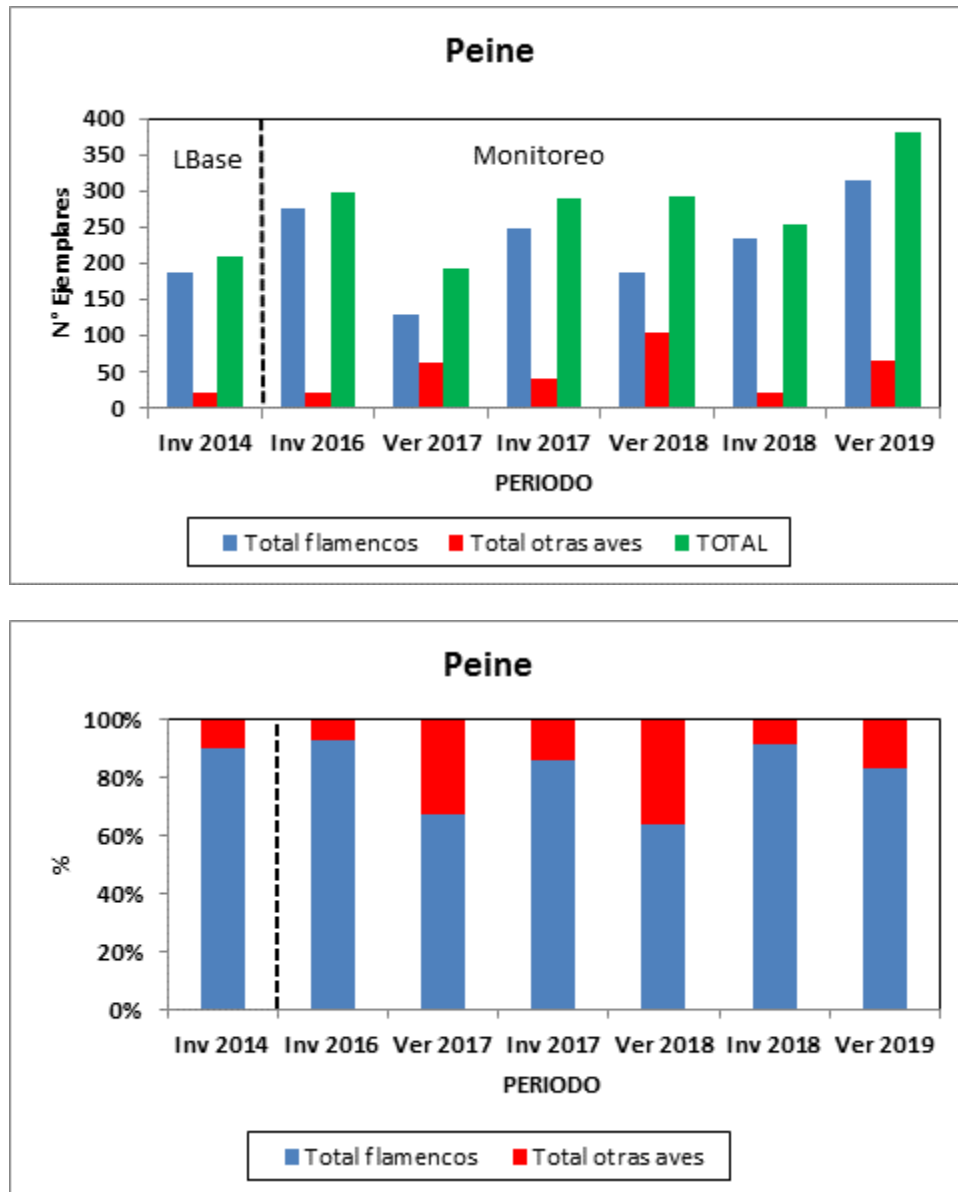
Al comparar las abundancias de los flamencos y el resto de las aves, se observa una variación estacional: las abundancias totales son mayores en invierno que en verano (hasta invierno 2017), lo que se invierte en el último periodo anual de monitoreo (2018 y 2019), donde la abundancia total es mayor en verano que en invierno (**Figura N° 12-7**). Por otra parte, los flamencos son numéricamente dominantes en todas las campañas, independiente de la estación y tanto en la Línea de Base como en el monitoreo (**Figura N° 12-7**). Las abundancias totales de las aves son mayores en el monitoreo (salvo verano 2017) que la campaña de Línea de Base. Así, en el monitoreo las abundancias totales varían entre 194 a 380 ejemplares, mientras que en Línea de Base el valor es de 210 ejemplares. Para los flamencos, también las abundancias totales son mayores en el monitoreo (130 a 315) que en la Línea de Base (189). En abundancia relativa, los



flamencos varían entre un rango de cerca de 64% (en verano 2018), a un máximo de más de un 92% (en invierno 2016; **Figura N° 12-7**).

Por lo tanto, analizando al sistema hidrológico de Peine, la riqueza y abundancia de aves acuáticas muestran resultados relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo en relación a la Línea de Base.

**Figura N° 12-7. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema hidrológico Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**



Fuente: Elaboración propia.

Para el **sistema hidrológico de La Punta y La Brava** (y considerando los monitoreos de verano y el único de línea de base disponible, de invierno 2014), se han registrado 19 especies en total (**Tabla N° 12-17**). De ellas, 13 especies se han observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con 4 especies más abundantes: la parina grande (con rango entre 1 a 43 ejemplares), el pollito de mar tricolor (entre 0 a 20 individuos), el bailarín chico (2 a 14 ejemplares) y la gaviota andina (entre 1 a 11 individuos), mientras que el resto son muy escasas (uno a 3 individuos; **Tabla N° 12-17**). Finalmente, otras seis especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan las otras dos especies de flamencos, la parina chica y el flamenco chileno (**Tabla N° 12-17**).

**Tabla N° 12-17. Comparación de la abundancia de aves en el sistema hidrológico La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base y monitoreo.**

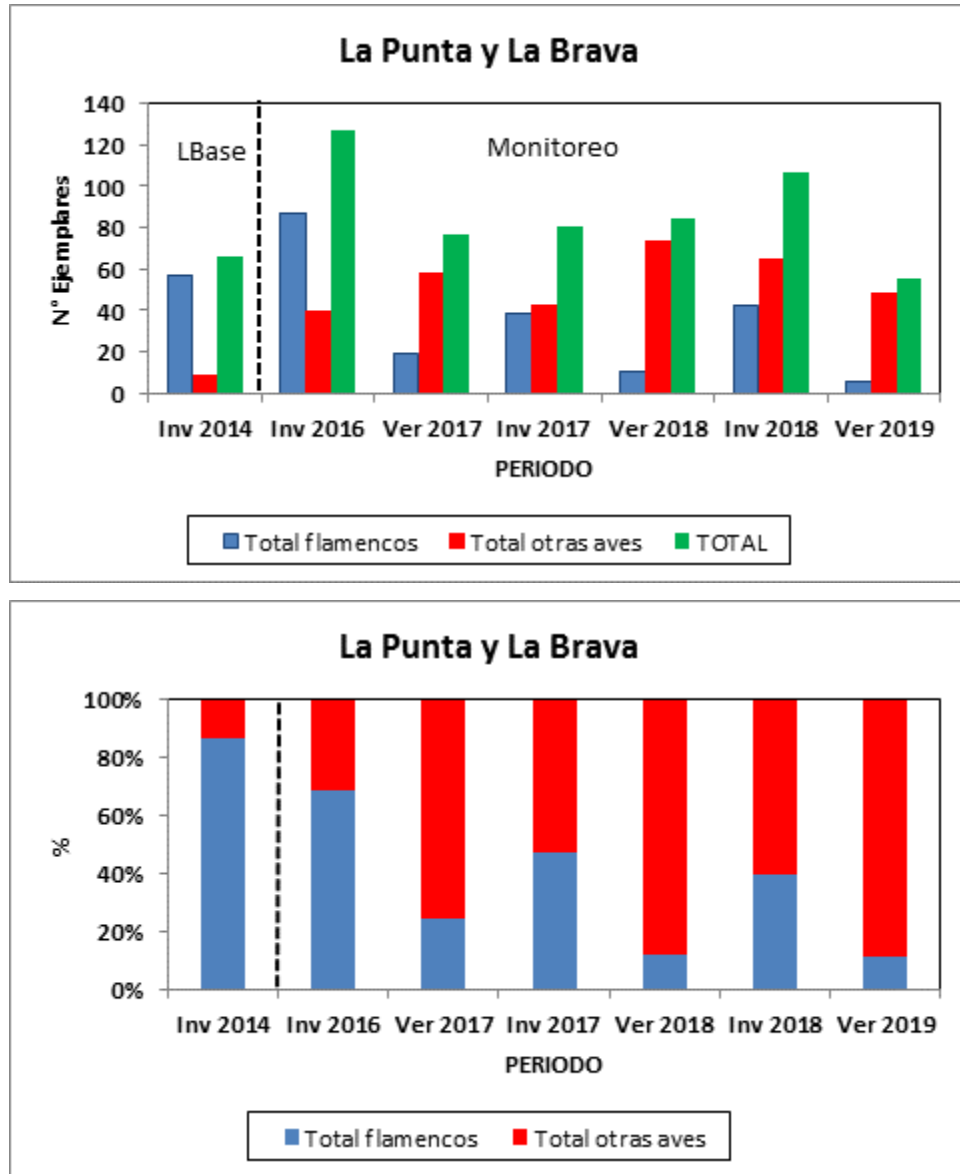
SISTEMA HIDROLÓGICO LA PUNTA - LA BRAVA							
Nombre Común	Línea Base	Monitoreos					
	Invierno 2014	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019
Pato juarjual	4	6	2	3	7	4	0
Piuquén	0	0	0	0	1	0	0
Chorlo de la puna	2	14	13	8	36	23	24
Gaviota andina	0	4	3	8	1	11	3
Caití	2	9	2	13	0	7	2
Playero de Baird	1	5	11	1	10	10	16
Pollito de mar tricolor	0	0	20	2	0	0	0
Pitotoy chico	0	0	0	0	3	0	0
Tagua cornuda	0	0	0	0	0	1	0
Tagua gigante	0	0	0	1	0	0	0
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	1
Golondrina de dorso negro	0	0	0	1	0	0	0
Bailarín chico común	0	2	4	4	14	7	0
Colegial del norte	0	0	2	2	2	1	3
Garza grande	0	0	1	0	0	0	0
Parina grande	0	43	7	11	1	12	2
Parina chica	39	28	0	6	0	16	1
Flamenco chileno	18	16	12	21	9	14	3
Blanquillo	0	0	0	0	0	1	0
<b>TOTAL</b>	<b>66</b>	<b>127</b>	<b>77</b>	<b>81</b>	<b>84</b>	<b>107</b>	<b>55</b>

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las abundancias de los flamencos y el resto de las aves, existe una variación estacional, donde la abundancia es mayor en inviernos que en veranos (especialmente para los flamencos, aunque con valores absolutos mucho menores que en Peine; **Figura N° 12-8**). Por otra parte, los flamencos son dominantes sólo en la Línea de Base y en la primera campaña de monitoreo (invierno 2016), lo que se revierte en las otras 5 campañas de monitoreo (**Figura N° 12-8**). Las abundancias totales de las aves son mayores en el monitoreo que en la campaña de Línea de Base, a excepción del verano 2019. Así, en el monitoreo las abundancias totales varían entre 55 a 127 ejemplares, mientras que en Línea de Base el valor es de 66 ejemplares. Sin embargo, para los flamencos, las abundancias totales son mayores sólo en el monitoreo de invierno 2016 (87 individuos) que en la Línea de Base (57), mientras que en las otras 5 campañas de monitoreo los valores son menores a la Línea de Base (6 a 42 ejemplares; **Figura N° 12-8**). Cabe destacar que los valores absolutos de flamencos son bastante menores en La Punta y La Brava (decenas de ejemplares como máximo) que en Peine (centenares de individuos). En abundancia relativa, los flamencos varían entre un mínimo de cerca de 11% (en verano 2019), a un máximo de más de un 86%, en invierno 2014 (**Figura N° 12-8**).

Por lo tanto, analizando al sistema hidrológico de La Punta y La Brava, si bien la riqueza de aves es mayor en el monitoreo que en la Línea de Base, las abundancias de aves acuáticas muestran resultados disímiles: son relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo y la Línea de Base, pero no ocurre lo mismo en el caso particular de los flamencos, con menores valores en el monitoreo que en la Línea de Base.

**Figura N° 12-8. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema hidrológico La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**

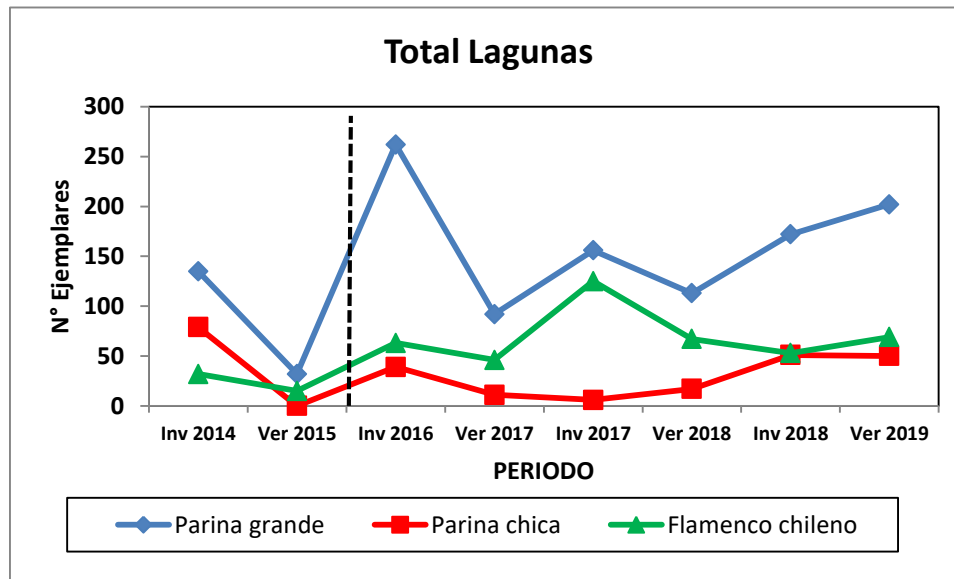


Fuente: Elaboración propia.

A una escala más fina de análisis, comparando las tres especies de flamencos, en los sistemas lagunares de La Punta-La Brava y Peine considerados en conjunto, la especie dominante es la parina grande, y muestra mayores valores en el monitoreo (92 a 262 ejemplares) que en la Línea de base (32 a 135 ejemplares; **Figura N° 12-9**). El flamenco chileno, la segunda especie dominante, también muestra mayores valores en el monitoreo

(46 a 125 ejemplares) que en la Línea de base (15 a 32 ejemplares; **Figura N° 12-9**). Finalmente, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo (6 a 51) son menores al valor máximo de la Línea de Base (con rango entre 0 a 79 ejemplares; **Figura N° 12-9**).

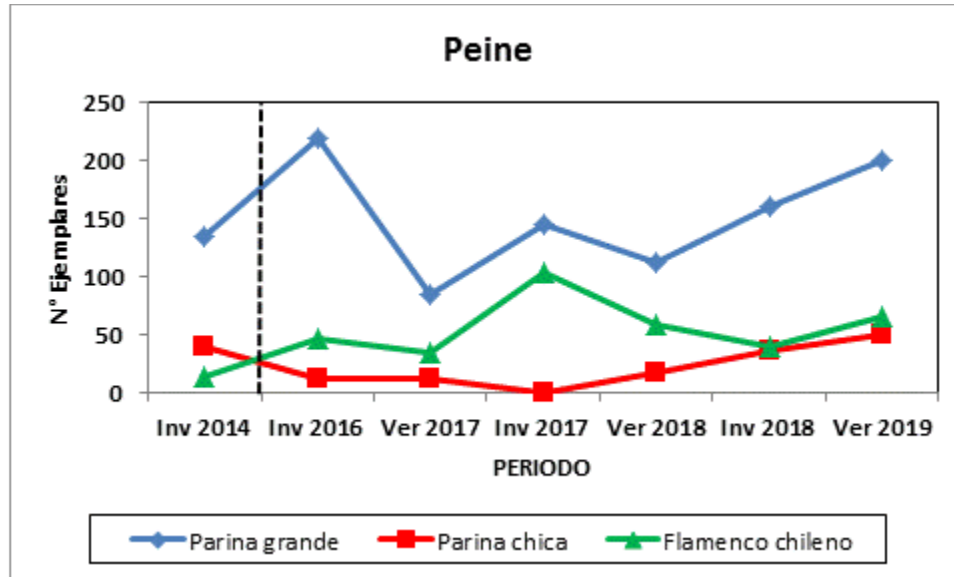
**Figura N° 12-9. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**



Fuente: Elaboración propia.

Para el sistema hidrológico Peine, comparando las tres especies de flamencos, la especie dominante es la parina grande, y muestra mayores valores en el monitoreo (85 a 219 ejemplares) que en la Línea de base (135 individuos; **Figura N° 12-10**), sobre todo considerando los inviernos. El flamenco chileno, la segunda especie dominante, también muestra mayores valores en el monitoreo (34 a 104 ejemplares) que en la Línea de base (14 individuos; **Figura N° 12-10**). Finalmente, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo en su mayoría (0 a 35) son menores a la Línea de Base (40 ejemplares, a excepción del verano 2019 con 49 individuos; **Figura N° 12-10**).

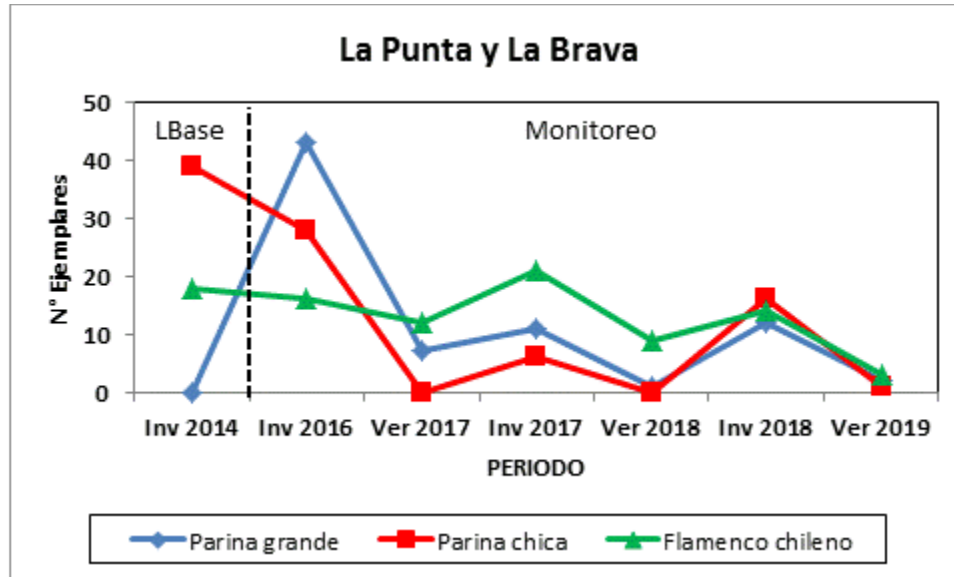
**Figura N° 12-10. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema hidrológico Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**



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 (1 a 43 ejemplares) que en la Línea de base (sin registro; **Figura N° 12-11**). El flamenco chileno muestra similares valores en la mayor parte de los monitoreos (3 a 21 ejemplares) que en la Línea de base (18 individuos; **Figura N° 12-11**). Por último, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo (0 a 28) son menores a la Línea de Base (39 ejemplares; **Figura N° 12-11**).

**Figura N° 12-11. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema hidrológico de La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.**



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, pero sólo en el sistema La Punta y La Brava, y con valores absolutos de pocos ejemplares, mientras que en Peine, las abundancias son mayores en el monitoreo que en la Línea de Base.

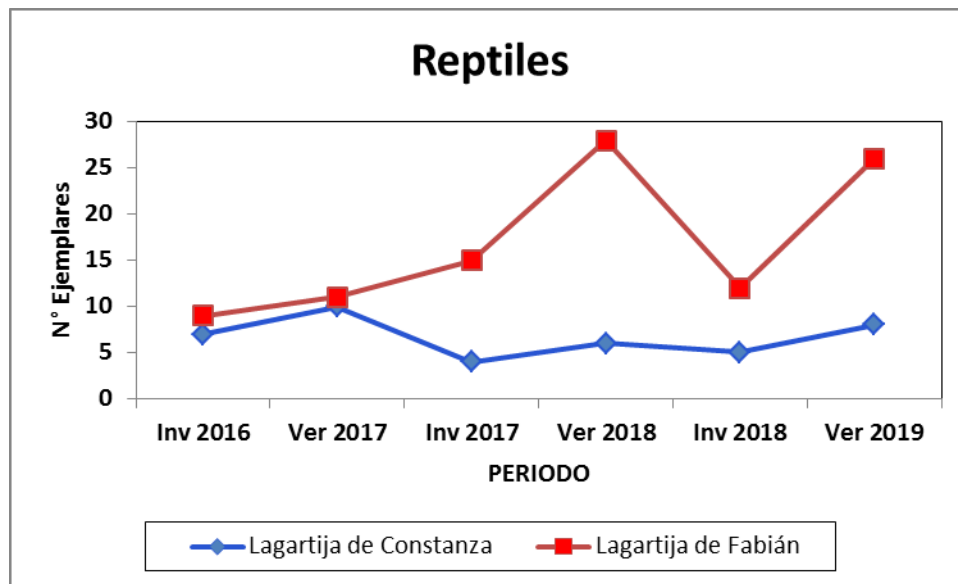
En resumen, para ambos sistemas acuáticos y en los dos periodos analizados (Línea de Base y monitoreo), las abundancias se comportan de forma variable: algunas especies aumentan (o aparecen nuevas especies en el monitoreo), otras disminuyen (parina chica en La Punta y La Brava) y otras no muestran cambios notorios, pero se mantiene el patrón general de que las tres especies de flamencos son las que dominan numéricamente los salares.

### **Reptiles**

En el caso de los reptiles, los valores de abundancia son poco comparables, ya que en invierno de 2014 se indica un valor de 5 ind/ha de cada una de las dos especies (*Liolaemus constanzae* en matorral, y *Liolaemus fabiani* en humedal), pero no se especifica el número de transectos realizados por ambiente, lo que dificulta la comparación. Sin embargo, comparando las abundancias absolutas de las dos especies en todo el monitoreo (y para toda el área de estudio), se observa que para la lagartija de

Constanza (la especie menos dominante numéricamente), se han contabilizado entre 4 a 10 ejemplares (con el mayor valor en verano de 2017), mientras que en el caso de la lagartija de Fabián, su número ha oscilado entre 9 a 28 ejemplares, con el máximo en verano de 2018 (**Figura N° 12-12**).

**Figura N° 12-12. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de reptiles registradas en el área de estudio. Los valores son ejemplares contabilizados en 25 transectos para cada especie.**



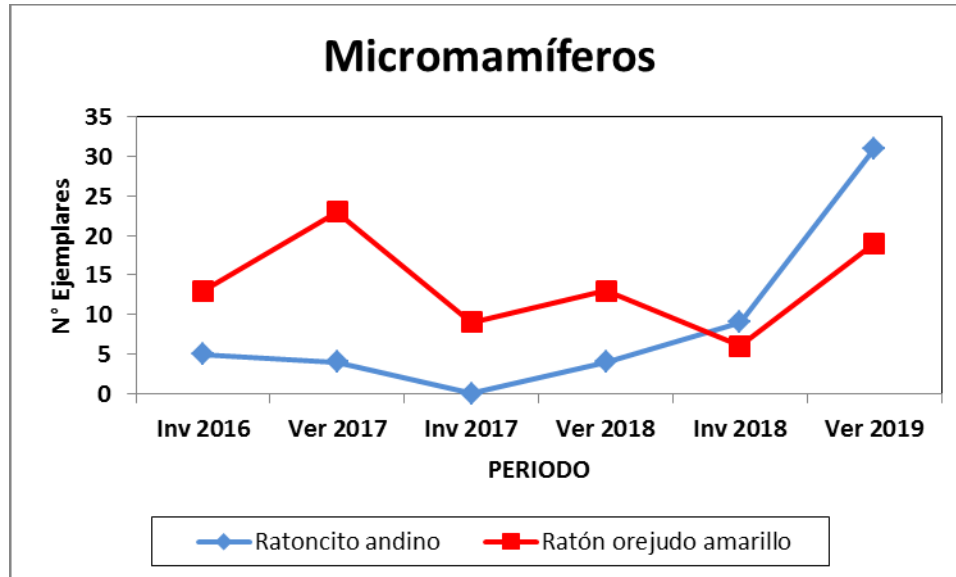
Fuente: Elaboración propia.

### **Mamíferos**

Finalmente, para los mamíferos la comparación de abundancia no es aplicable, ya que para invierno de 2014 y verano 2015 se indica sólo la presencia de mamíferos (algunos incluso mediante presencia indirecta), sin especificar la abundancia (PMB, 2015). En el caso específico de los micromamíferos, y al igual que los reptiles, comparando su abundancia a lo largo del monitoreo, se observa que el ratoncito andino ha variado su abundancia entre 0 a 31 individuos, con una tendencia al aumento en las últimas campañas, mientras que el ratón orejado amarillo ha variado entre seis a 23 ejemplares, con una tendencia estacional de mayores abundancias en los veranos (**Figura N° 12-13**).



**Figura N° 12-13. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de micromamíferos registradas en el área de estudio. Los valores son ejemplares capturados en 9 puntos de muestreo (con un total de 180 trampas por 3 noches).**



Fuente: Elaboración propia.

Si bien en las campañas de monitoreo 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 muestral podría implicar un aumento de la probabilidad de registros nuevos, haciéndolo más representativo del área de estudio.

## 12.3 En relación con Tapetes Microbianos

### 12.3.1 Análisis Año 3: Monitoreo invierno 2018 y verano 2019

Los resultados del monitoreo invierno 2018 y verano 2019, indican para ambos periodos la presencia de tapetes microbianos en 11 de los 16 puntos de monitoreo establecidos (68,8%), lo cual es concordante con lo observado en las campañas de invierno 2017, verano 2017 y 2018.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta de macrozonas, se observan tres principales tipologías de tapetes en las campañas de invierno 2018 y verano 2019. Estas tipologías corresponden a:

- A.-TIPO 1: Tapetes que presentan 3 macrozonas de pigmentación: Subsuperficial, Intermedia y Profunda.
- B.-TIPO 2: Tapetes que presentan 2 macrozonas de pigmentación: Subsuperficial - Intermedia/ Intermedia-Profunda/ Subsuperficial -Profunda.
- C.-TIPO 3: Tapetes que presentan solo una macrozona subsuperficial: Subsuperficial

A continuación, se presentan los principales cambios de la estructura de pigmentación de tapetes microbianos en el Sector Peine y La Punta-La Brava respecto a las campañas de invierno 2018 y verano 2019.

**En el sector Peine**, en invierno 2018 la tipología observada con mayor proporción corresponde a Tipo 1, mientras que en verano 2019 correspondió a tapetes de Tipo 2. Al comparar las capas pigmentadas de tapetes Tipo 1 entre ambos periodos, se observan diferencias en la variedad de pigmentación de capas respecto a la macrozona profunda. De este modo, en invierno 2018, las capas profundas observadas incluyen mayor variación de pigmentación (tonalidades color café y color verde, capas de coloración gris, negro, púrpura), respecto a verano 2019 (coloración café y verde).

En relación a tapetes de tipo 2, entre invierno 2018 y verano 2019 se observa, en general, semejanza de tipo de pigmentación en ambos periodos. La macrozona subsuperficial presenta capas de tonalidades verdes, coloración naranja y tonalidades de color amarillo. A su vez, en la macrozona intermedia se distinguen capas color púrpura/rosado.

Respecto a los tapetes Tipo 3, en invierno 2018 y verano 2019 se observa la presencia de capas pigmentadas comunes en ambos periodos, las cuales presentan coloración verde, naranja y amarillo, no obstante, en verano 2019 se distingue además la presencia de capas color rosado. En la **Tabla N° 12-18** se muestran las principales capas pigmentadas en tapetes según tipo de tapete.

**Tabla N° 12-18 Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector Peine, invierno 2018 y verano 2019.**

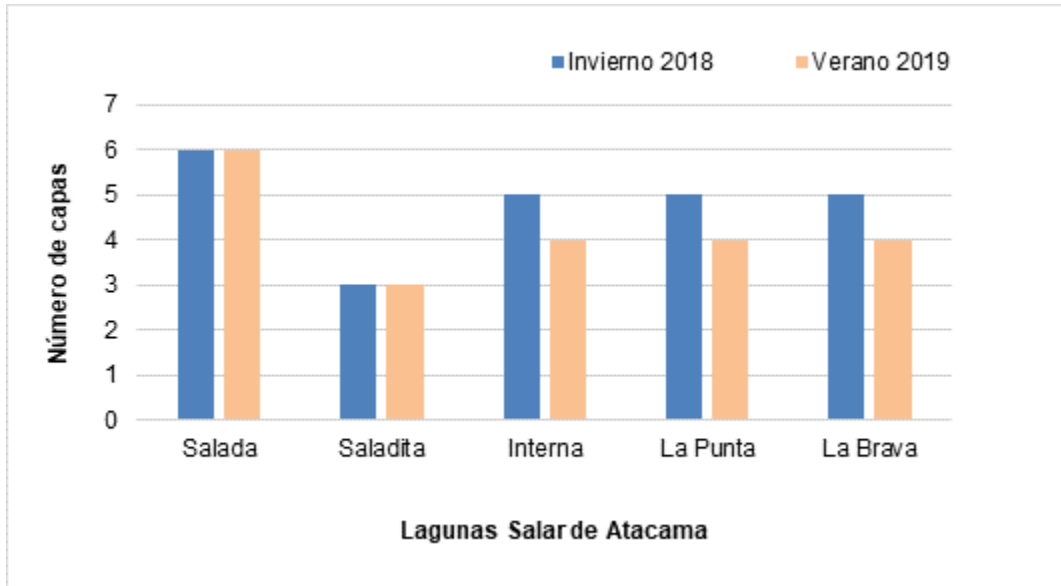
MACROZONA	PEINE	
	INVIERNO 2018	VERANO 2019
<b>Tipo 1</b>		
<b>Subsuperficial</b>	Capas color naranja y tonalidades color verde	
<b>Intermedia</b>	Capas con tonalidades color púrpura y tonalidades color rosada	
<b>Profunda</b>	Capas con coloración gris, negro, púrpura, tonalidades color café y color verde	Capas color café, color verde
<b>Tipo 2</b>		
<b>Subsuperficial</b>	Capas color naranja, tonalidades color amarillo, y tonalidades color verde	
<b>Intermedia</b>	Capas color púrpura, color rosado	
<b>Tipo 3</b>		
<b>Subsuperficial</b>	Capas color naranja, tonalidades color verde	Capas color rosado, tonalidades color verde

Fuente: Elaboración propia

La disminución de tapetes tipo 1 en verano 2019 respecto invierno 2018, se relaciona con lo observado en tapetes localizados en Laguna Salada, donde disminuyó la detección de tapetes Tipo 1 en verano 2019, especialmente en el punto S-6A. El punto S-6A en invierno 2018 presentó tapetes Tipo 1, los que distinguían por la presencia de capas subsuperficiales de color verde. En verano 2019, se detectaron tapetes que no presentaban capas subsuperficiales verdes, y fueron clasificados como Tipo 2. En general, los tapetes de S-6A presentaron una estratificación uniforme y aspecto hidratado.

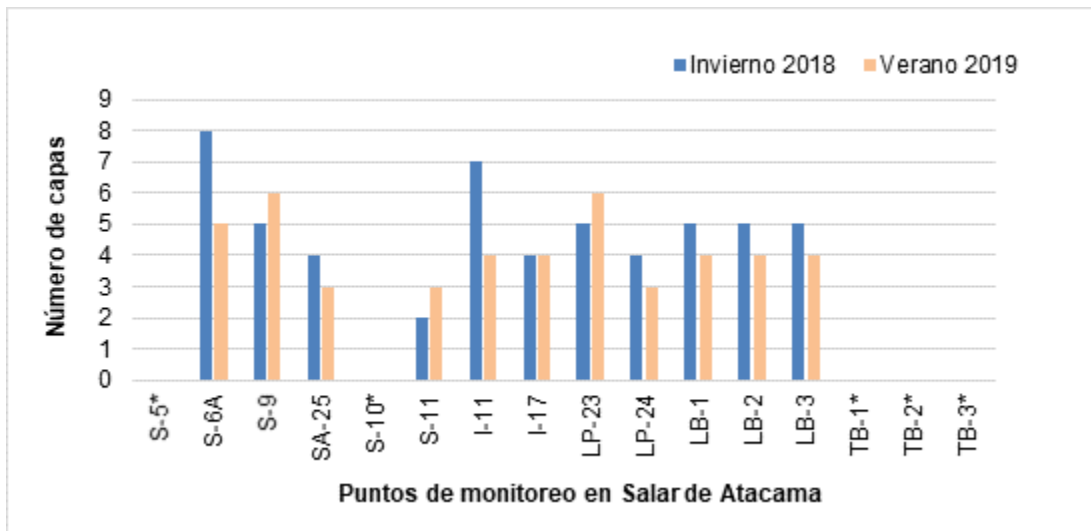
Respecto al número promedio de capas de tapetes por laguna en invierno 2018 y verano 2019 en el Sector Peine, se observan valores similares para Laguna Salada y Saladita, mientras que Laguna Interna se observa disminución de capas (**Figura N° 12-14**). Sin embargo, si se comparan los valores promedios del número de capas de los puntos de monitoreo (**Figura N° 12-15**) se observan diferencias en Laguna Salada entre invierno 2018 y verano 2019 y se destaca una disminución del número de capas en S-6A en verano 2019 (5 capas) respecto invierno 2018 (8 capas). Al respecto en la **Figura N° 12-15** las estaciones que indican asterisco no registraron presencia de tapetes. Particularmente, las diferencias están dadas en S-6A por la ausencia de capas subsuperficiales de color verde y menor variedad de capas pigmentadas en la zona profunda de los tapetes en verano 2019 (**Tabla N° 7-25**) respecto a invierno 2018 (**Tabla N° 7-26**).

**Figura N° 12-14. Distribución del número promedio de capas pigmentadas de tapetes microbianos, campañas invierno 2018 y verano 2019.**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 12-15. Distribución del número de capas pigmentadas de tapetes microbianos por punto de monitoreo, campañas invierno 2018 y verano 2019.**



Donde: (\*) = sin presencia de tapetes microbianos. Fuente: Elaboración propia

En Laguna Saladita, por otro lado, en los puntos de monitoreo de invierno 2018 y verano 2019 se observó diferencia del número de capas entre periodos. De este modo, en el punto SA-25 se observa disminución de capas en verano 2019 respecto invierno 2018 y en S-11 el aumento de capas en verano 2019 comparado a invierno 2018 (**Figura N° 12-15**).

Respecto a Laguna Interna, la disminución del promedio de número de capas se observó solamente en los tapetes del punto I-11 en verano 2019 respecto invierno 2018 (**Figura N° 12-15**). Los tapetes de I-11 en invierno 2018 presentaron 7 capas promedio, mientras que en verano 2019, 4 capas promedio, esta diferencia está relacionada con las capas de la zona profunda. De manera que en verano 2019 se observó menos número de capas en la zona Profunda de los tapetes (1 capa) (**Tabla N° 7-30**) respecto a invierno 2018 (hasta 4 capas) (**Tabla N° 7-8**).

También se debe señalar que en invierno 2018 se detectaron tapetes superficiales (no sumergidos) y tapetes sumergidos en el área de monitoreo, mientras que en verano 2019 solo tapetes sumergidos. Esto último se puede relacionar con la condición sumergida presente durante el desarrollo del monitoreo de verano 2019, debido al aumento del nivel de agua. En monitoreos anteriores (invierno 2016, verano 2017, invierno 2017, verano 2018) esta área del borde lagunar no se encontraba inundada.

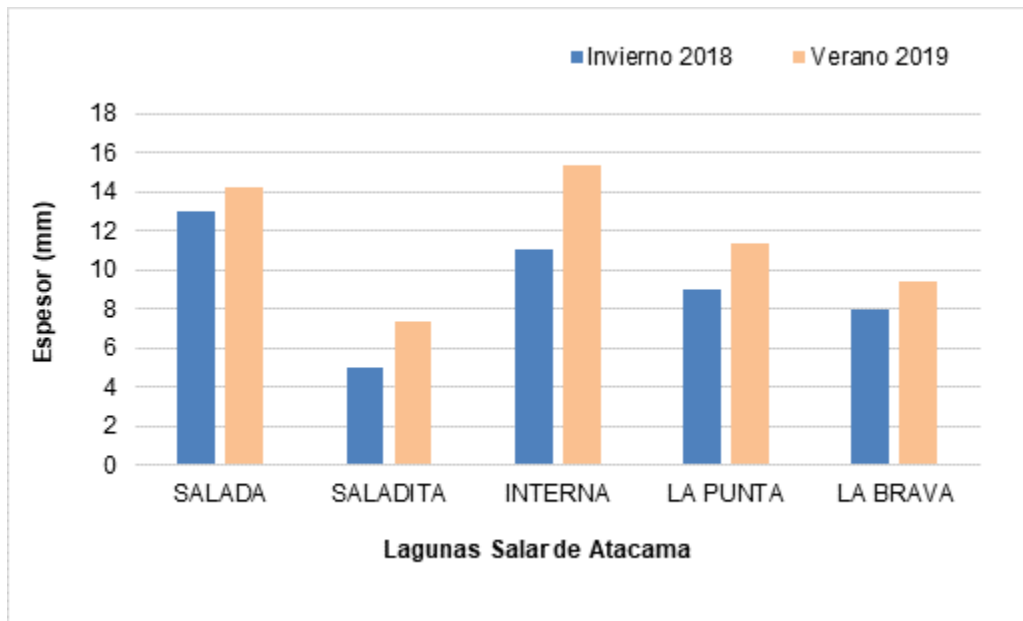
Otra diferencia de los tapetes observados en verano 2019 respecto a invierno 2018, se relaciona con los tipos de tapetes presentes en verano 2019, el cual incluyó hasta tres tipologías (1, 2 y 3) de las cuales se observó principalmente la tipología 2, mientras que en invierno 2018 se observó principalmente la tipología 1 en tapetes, los cuales corresponden a tapetes de mayor estratificación (complejidad). Al respecto, en verano 2019, se observa por primera vez predominancia de tapetes Tipo 2 para el Sector Peine, si se considera todos los monitoreos anteriores para el sector (campañas de inviernos y de veranos).

Se debe destacar, que la información del número de capas solo proporciona características físicas del tapete microbiano, y a partir de esta metodología no se puede comprender la dinámica de estas comunidades. De esta forma, estudios más específicos con metodologías adecuadas (Ejemplo: métodos de biología molecular) pueden conducir a una comprensión de la dinámica de estas comunidades (Bolhuis et al, 2014). La variable “estratificación de colores” solo corresponde a un indicador de cambio (Farias y Contreras, 2017) y para explicar los procesos relacionados con este cambio se requiere de otros estudios más profundos y específicos al respecto (Cardoso et al., 2019).

Por otro lado, en relación a los valores de espesor, en invierno 2018 se detectó el mayor valor de espesor máximo en Laguna Salada (S6-A), mientras que en verano 2019 se detectó en Laguna Interna (I-17). A su vez, los valores de espesor promedio en Laguna Salada, Saladita e Interna son mayores en verano 2019 respecto invierno 2018 (**Figura N° 12-16**). Sin embargo, al comparar el espesor promedio por punto de monitoreo se observan algunas diferencias (**Figura N° 12-17**). Al respecto en la **Figura N° 12-17**, las

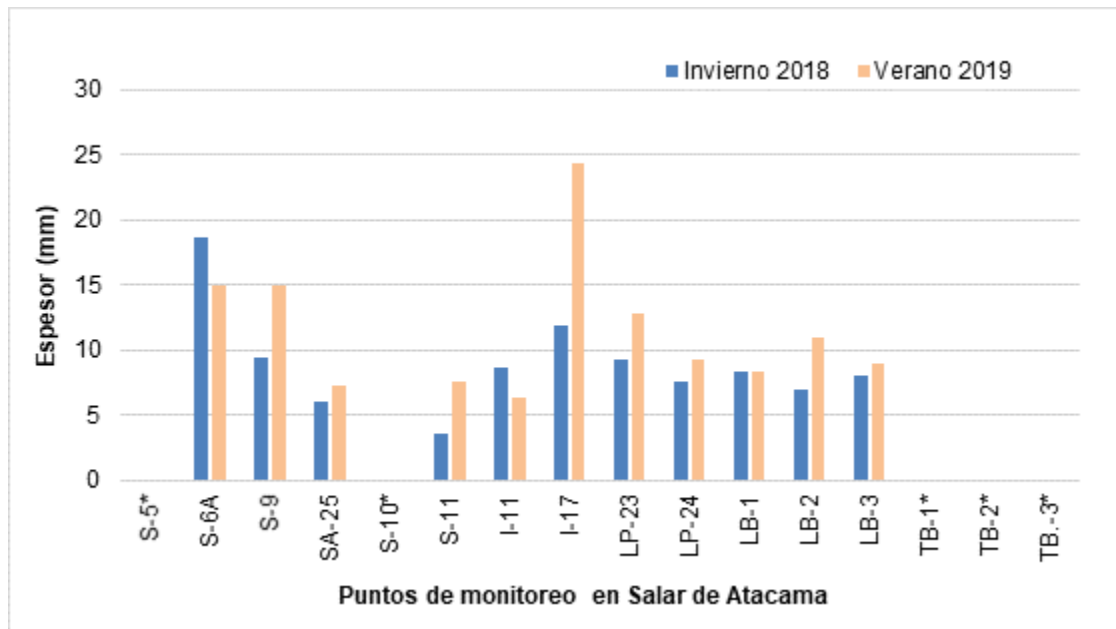
estaciones que indican asterisco no registraron presencia de tapetes. Respecto al espesor promedio por punto de monitoreo, en particular, en el Punto S-6A de Laguna Salada, se observó una situación contraria, de disminución de espesor, lo cual se puede relacionar con la ausencia de capas subsuperficiales de color verde y menor número de capas pigmentadas en la zona profunda de los tapetes. Para el caso de los tapetes del Punto S-9, se observó aumento de espesor, por lo demás, también aumento del número de capas. Respecto a Laguna Saladita, entre puntos de monitoreo se observa un aumento en verano respecto a invierno 2018. Para el caso de Laguna Interna, el aumento de espesor en verano 2019 respecto a invierno 2018 se detecta solo en el punto I-17

**Figura N° 12-16. Espesor promedio de tapetes microbianos, campañas invierno 2018 y verano 2019.**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 12-17. Espesor promedio de tapetes microbianos en Salar de Atacama, según punto de monitoreo, campañas invierno 2018 y verano 2019.**



Donde: (\*) = sin presencia de tapetes microbianos. Fuente: Elaboración propia

**En relación al sector La Punta – La Brava**, en invierno 2018 la tipología observada con mayor proporción corresponde a Tipo 1, al igual que en verano 2019. Al comparar las capas pigmentadas de tapetes Tipo 1 entre ambos periodos, se distingue, en general, semejanza en las macrozonas subsuperficial e Intermedia en ambos periodos. De este modo, en la macrozona subsuperficial se observaron capas color naranja y capas con tonalidades verdes, en la zona Intermedia capas de pigmentación púrpura y tonalidades de color rosado. En la macrozona Profunda, en tanto, capas de coloraciones café, verde y púrpura, además de otras capas que se observan diferencialmente entre invierno y verano.

En relación a tapetes de Tipo 2 y Tipo 3, entre invierno 2018 y verano 2019 se observa también, en general, capas pigmentadas comunes en ambos periodos. En los tapetes Tipo 2, la macrozona subsuperficial presentó capas de tonalidades verdes y color naranja. A su vez, en la macrozona intermedia se distinguieron capas color púrpura/rosado. Respecto a los tapetes Tipo 3, se observaron capas subsuperficiales de coloración verde y naranja. En la **Tabla N° 12-19** se muestran las principales capas pigmentadas en tapetes respecto del total de muestras según tipo de tapetes.

**Tabla N° 12-19. Cuadro resumen de principales capas pigmentadas en tapetes del Sector La Punta-La Brava, invierno 2018 y verano 2019.**

MACROZONA	LA PUNTA-LA BRAVA	
	INVIERNO 2018	VERANO 2019
<b>Tipo 1</b>		
Subsuperficial	Capas color naranja, tonalidades color verde	
Intermedia	Capas color púrpura, tonalidades color rosado	
Profunda	Capas con tonalidades color café y verde, capas color púrpura	
	Capas color negro, amarillo	Capas color naranja, blanco
<b>Tipo 2</b>		
Subsuperficial	Capas color naranja, tonalidades color verde	
Intermedia	Capas color rosado, Púrpura	
<b>Tipo 3</b>		
Subsuperficial	Capas color verde, naranja	

Fuente: Elaboración propia

Respecto al número promedio de capas de tapetes en invierno 2018 y verano 2019 por sistema lagunar, se observa disminución en verano 2019 respecto invierno 2018 tanto en Laguna La Punta como en Laguna La Brava (**Figura N° 12-14**). Respecto a Laguna La Punta, esta disminución se observa en el Punto LP-24 (**Figura N° 12-15**), y se debe a que en verano 2019 se observaron tapetes con menor estratificación (hasta 4 capas) (**Tabla N° 7-36**), respecto a invierno 2018 (hasta 6 capas) **Tabla N° 7-14**).

Respecto a los tapetes de Laguna La Brava, por otro lado, la disminución de capas promedio observada tanto a nivel de Laguna (**Figura N° 12-14**) como entre puntos de monitoreo (**Figura N° 12-15**) se debe a cambios en los tapetes “superficiales” de LB-1. De este modo en verano 2019 los tapetes superficiales de LB-1 presentaron en promedio 4 capas (**Figura N° 7-7**), lo cual es menor comparado con invierno 2018 donde los tapetes superficiales presentaron en promedio 7 capas (**Figura N° 7-3**).

Específicamente, en estos tapetes superficiales de LB-1 la diferencia de número de capas se observa en la zona subsuperficial y zona profunda, de este modo, en verano 2019 (**Tabla N° 7-37**) se observó menor número de capas en cada una de estas zonas respecto a invierno 2018 (**Tabla N° 7-15**).

Los tapetes detectados en LB-2 y LB-3 en verano 2019 presentaron menor número de capas promedio respecto a invierno 2018. En LB-2 los tapetes presentaron menos número de capas en verano 2019 respecto a invierno 2018 debido a la disminución del número de capas en la zona Intermedia de los tapetes en verano 2019. Al respecto, en



verano 2019 (**Tabla N° 7-38**) en la zona intermedia se observó solo una capa mientras que en invierno 2018 se detectaron 2 capas (**Tabla N° 7-16**).

En LB-3, en tanto, los tapetes presentaron disminución de número de capas en verano 2019 respecto a invierno 2018. En algunos tapetes superficiales de LB-3 se observó en verano 2019 respecto a invierno 2018 menos número de capas en la zona profunda. De esta forma, en verano 2019 se observó tapetes que exhibían solo una capa (**Tabla N° 7-39**) mientras que en invierno 2018 los tapetes presentaron hasta tres capas (**Tabla N° 7-17**), incluso algunos tapetes en verano 2019 no presentaron estas capas como tampoco capas intermedias (color rosado/púrpura) (**Tabla N° 7-39**). En cuanto a los tapetes sumergidos, en verano 2019 se observó menor número de capas en la zona Intermedia (**Tabla N° 7-39**) respecto a invierno 2018 (**Tabla N° 7-17**).

En relación al espesor máximo, tanto en invierno 2018 (**Figura N° 7-4**) como verano 2019 (**Figura N° 7-8**) el mayor valor se detectó en Laguna La Punta (LP-23). A su vez, en las Lagunas La Punta y La Brava los valores de espesor promedio por laguna son mayores en verano 2019 respecto invierno 2018 (**Figura N° 12-16**). Sin embargo, al comparar el espesor promedio por punto de monitoreo se observan algunas diferencias (**Figura N° 12-17**). De este modo, respecto a Laguna La Brava, los tapetes de LB-1 presentan espesor similar, y solo en LB-2 y LB-3 se observa un aumento del espesor para verano 2019, especialmente en LB-2. Al respecto, para el caso de tapetes superficiales el aumento del espesor en verano 2019 (10 mm) en relación a invierno 2018 (5 mm) se puede asociar con las características físicas del sustrato sobre el cual se localizaron los tapetes, el cual se presentó menos compacto y más deshidratado en verano 2019 (**Fotografía N° 7-87**), en comparación a lo observado en invierno 2018 (**Fotografía N° 7-39**).

**Respecto al Sector Tilopozo**, no se detectó la presencia de tapetes microbianos en invierno 2018 y verano 2019, al igual que en reportes anteriores (verano 2017, invierno 2017, verano 2018). Este sector ha registrado presencia de tapetes microbianos, en el punto de muestreo TB-2, sólo en la campaña invierno 2016.

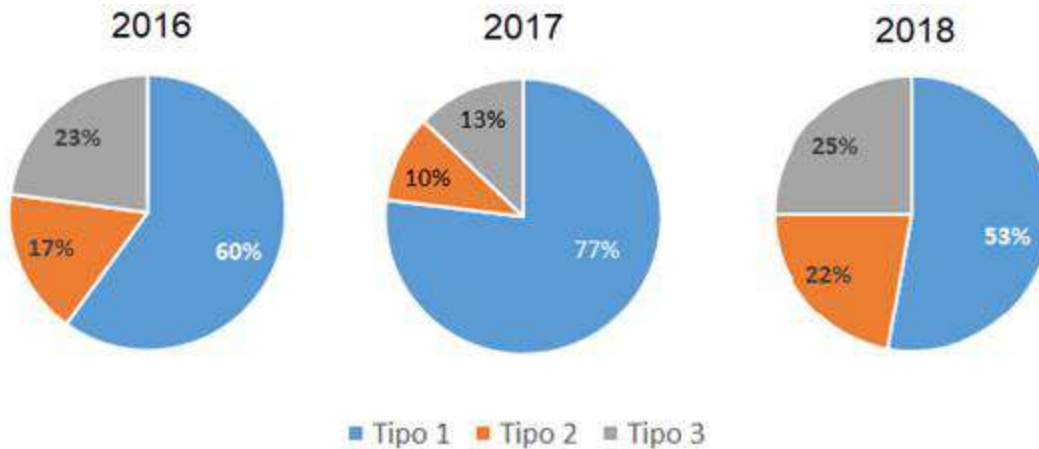
### 12.3.2 Análisis evolución inviernos 2016, 2017 y 2018

Referente a la evolución observada en las tres campañas de monitoreo semestrales de invierno 2016, 2017 y 2018, destacan los siguientes aspectos:

Del monitoreo se tiene que en la primera campaña invierno 2016, el 75% de los puntos de muestreo presentó tapetes microbianos, sin embargo, en las campañas siguientes invierno 2017 e invierno 2018 solamente el 68% de los puntos presentó estas comunidades microbianas. Dicha disminución se relaciona con el Sector Tilopozo, en particular con el punto TB-2, el cual presentó tapetes microbianos en invierno 2016, no obstante, en las campañas de monitoreo posteriores estas comunidades no se detectaron.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos del total de muestras de invierno (Sector Peine, Sector La Punta-La Brava, Tilopozo) según año, se observa la presencia de tres tipologías de tapetes en las campañas invierno 2016, 2017 y 2018 (Figura N°3-5).

**Figura N° 12-18. Proporción de tipos de Tapetes según zonas macroscópicas de pigmentación en Salar de Atacama (Sector Peine, La Punta-La Brava, Tilopozo), campañas de invierno 2016, 2017, 2018.**



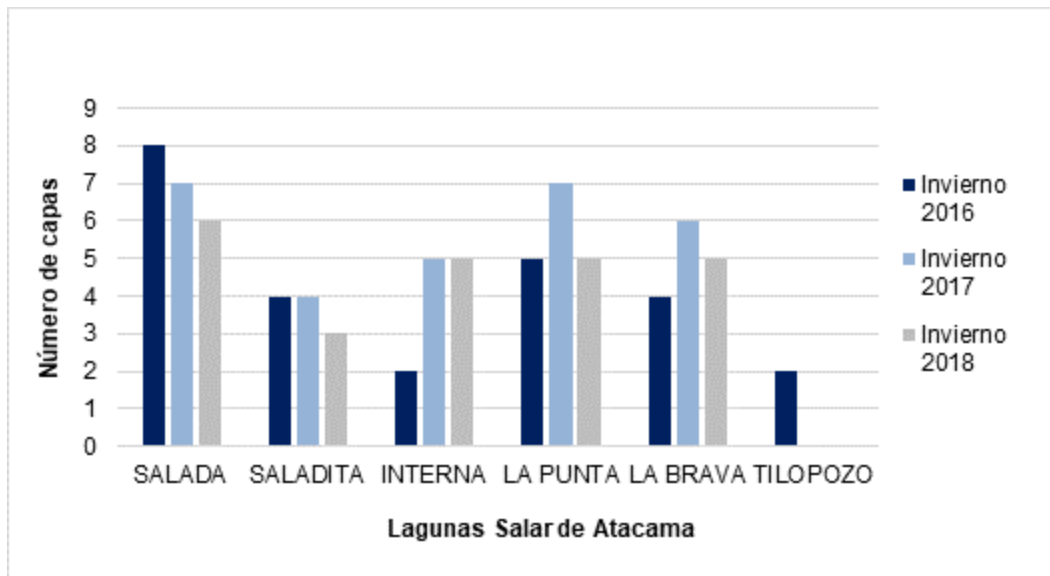
Fuente: Elaboración propia

Entre estas tipologías de tapete, se observó mayor presencia de tapetes Tipo 1 en las tres campañas de invierno, sin embargo, se observa variación en la proporción de tapetes Tipo 1 en las tres campañas (Figura N° 12-18). De esta forma, en invierno 2017 respecto invierno 2016, aumenta la proporción de tapetes Tipo 1 (Figura N° 12-18, 2016; 2017), mientras que en invierno 2018 esta proporción disminuye respecto a invierno 2017 (Figura N° 12-18, 2017; 2018).

Respecto al número de capas observadas en invierno 2016, 2017, 2018, si se comparan los promedios por sistema lagunar (Figura N° 12-19), se observa disminución del número

de capas en Laguna Salada y Laguna Saladita. Se destaca, sin embargo, que esta disminución se observa solo desde invierno 2018, para Laguna Saladita, ya que en invierno 2016 y 2017, no se observa diferencia en el número de capas promedio. Contrariamente, en Laguna Interna se observaron tapetes con mayor laminación en invierno 2017 e invierno 2018, respecto a invierno 2016.

**Figura N° 12-19. Distribución del número de capas pigmentadas de tapetes microbianos, en Lagunas monitoreadas, campañas invierno 2016, 2017 y 2018.**

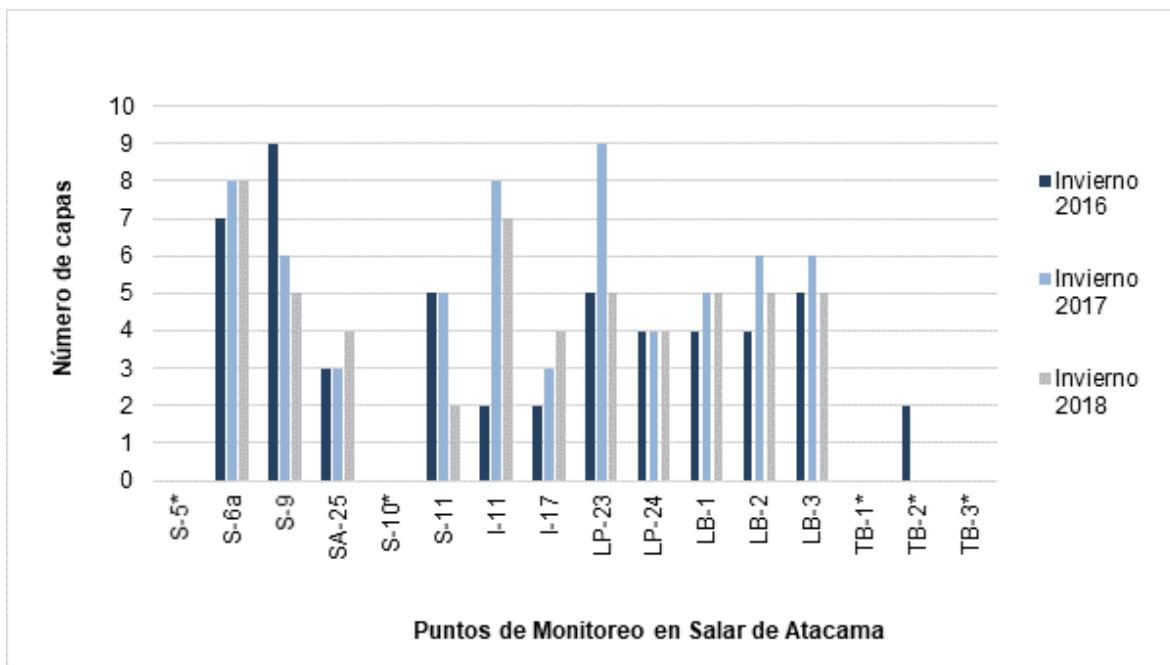


Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para las Lagunas La Punta y La Brava el número de capas pigmentadas en tapetes es variable en invierno 2016, 2017 y 2018, siendo el periodo de invierno 2017 el que presenta mayor número de capas (**Figura N° 12-19**).

Al comparar el número promedio de capas de los tapetes presentes según puntos de monitoreo, se observa para Laguna Salada disminución solo en la estación de monitoreo S-9 (**Figura N° 12-20**) desde invierno 2016 a invierno 2018. Pare el caso de S-6A se observa aumento de capas en invierno 2017 respecto invierno 2016, y en invierno 2018, el número de capas promedio es semejante a invierno 2017 (**Figura N° 12-20**).

**Figura N° 12-20. Distribución del número de capas pigmentadas de tapetes microbianos en Salar de Atacama, según punto de monitoreo. Campañas verano 2017, 2018 y 2019.**



Donde: (\*) = sin presencia de tapetes microbianos. Fuente: Elaboración propia

Respecto a Laguna Saladita, invierno 2018, la disminución del valor promedio de capas entre puntos de monitoreo respecto invierno 2017 se evidencia sólo en S-11; ya que al observar SA-25 en invierno 2018 el número de capas aumentó comparación a invierno 2017 (**Figura N° 12-20**).

En relación al número de capas promedio en I-11 e I-17, según punto de monitoreo, en Laguna Interna, se observa variación del promedio de capas en las tres campañas de verano, observándose en I-17 aumento desde invierno 2016 hasta invierno 2018, mientras que en I-11 se observa fluctuación del número de capas promedio entre los tres periodos, y solo en invierno 2018 se observa disminución respecto a invierno 2017 (**Figura N° 12-20**).

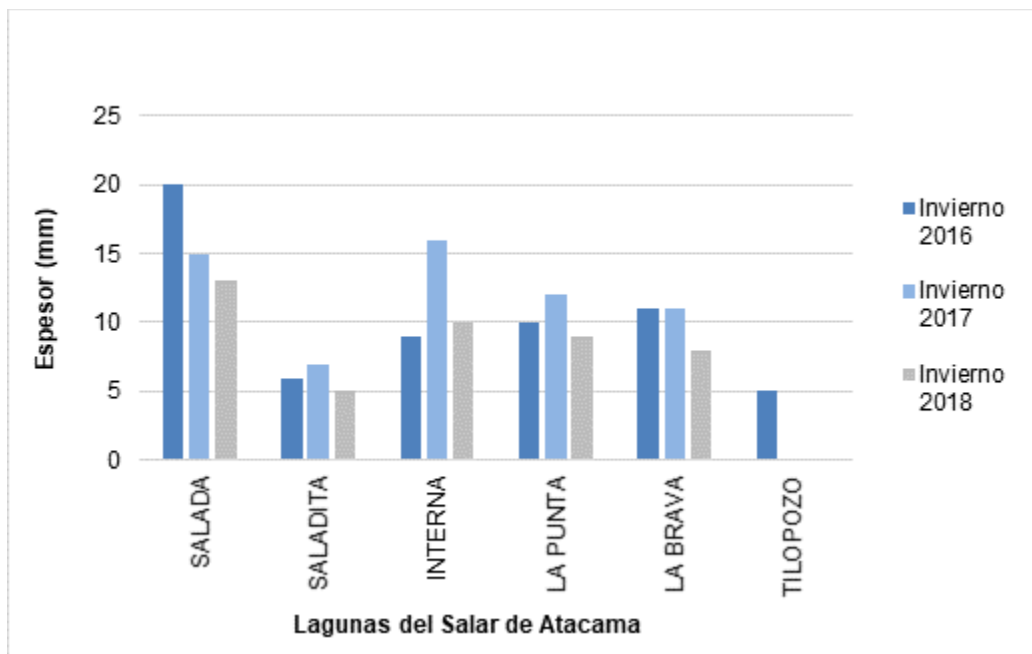
Por otro lado, en Laguna La Punta, al comparar el número de capas promedio según puntos de monitoreo, se observó que en LP-23 disminuyó del número promedio de capas en invierno 2018 respecto 2017. Para el punto LP-24 se destaca semejanza del promedio de capas entre invierno 2016, 2017 y 2018 (**Figura N° 12-20**).

En relación al espesor de los tapetes, el valor promedio por laguna más alto, respecto a las 3 campañas de invierno realizadas para el Sector, fue registrado en invierno 2016 y correspondió a 20 mm en Laguna Salada (**Figura N° 12-21**). Respecto a la variación del espesor promedio por laguna en las 3 campañas de invierno se observó disminución en

Laguna Salada y Laguna La Brava. Al respecto, en Laguna Salada la disminución es gradual desde invierno 2016 hasta invierno 2018. Referente a Laguna La Brava, el espesor promedio fue similar entre invierno 2016 e invierno 2017, sin embargo, en invierno 2018 disminuye respecto a invierno 2017.

En las otras lagunas se observan valores que fluctúan entre campañas, y se destaca lo observado en Laguna Saladita y Laguna La Punta. En Laguna Saladita se observó disminución del espesor en la última campaña de invierno (2018), respecto a las campañas anteriores (2016 y 2017). De la misma forma, en Laguna La Punta se observa disminución del espesor promedio en invierno 2018 respecto a las campañas anteriores (invierno 2016, 2017).

**Figura N° 12-21. Espesor promedio de Tapetes en Salar de Atacama, campañas de invierno 2016, 2017, 2018.**



Fuente: Elaboración propia

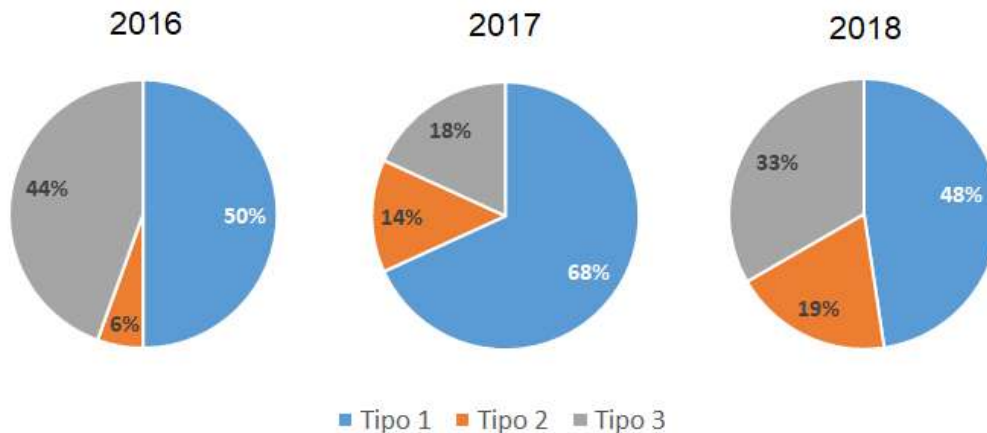
Respecto a la morfología de los tapetes microbianos, a partir de las tres campañas de invierno llevadas a cabo, se distinguen principalmente 2 tipos: 1) Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados y pigmentados, característicos de laguna Salada; y 2) Tapetes convexos, con apariencia, consistencia y textura dura (coriácea, semejante al cuero), los cuales se detectaron principalmente en Laguna La Brava (LB-1).

A continuación se discuten los aspectos más relevantes referidos a la estructura de pigmentación de tapetes microbianos según cada sector en los monitoreos semestrales de invierno 2016, 2017 y 2018 realizados.

- Sector Peine

El Sector Peine presentó durante las tres campañas de invierno (2016, 2017, 2018) tapetes Tipo 1 (**Figura N° 12-22**) (**Tabla N° 12-20**), sin embargo, se observó variación en la proporción de tapetes Tipo 1 en las tres campañas.

**Figura N° 12-22. Proporción de tipos de Tapetes en Sector Peine, según zonas macroscópicas de pigmentación, campañas de invierno 2016, 2017, 2018.**



Fuente: Elaboración propia

De esta forma, en invierno 2017 respecto invierno 2016, aumenta la proporción de tapetes Tipo 1, mientras que en invierno 2018 disminuye respecto a invierno 2017 (**Figura N° 12-22**). Lo anterior se explica porque en Saladita (S-11, SA-25) y Salada (S-9) el registro de tapetes Tipo 1 disminuyó en 2018 respecto invierno 2017. El punto S-11 presentó en invierno 2017 principalmente tapetes Tipo 1 (**Tabla N° 12-22**), sin embargo, en invierno 2018 se registró pérdida de estratificación en estos tapetes, siendo clasificados en invierno 2018 como tapetes de Tipo 2 (**Tabla N° 12-21**) y Tipo 3 (**Tabla N° 12-23**).

Respecto al punto S-9, en invierno 2018 se observaron menos tapetes Tipo 1 respecto a invierno 2017, observándose más presencia de tapetes con menor estratificación (tapetes Tipo 2) respecto a invierno 2017. Estos tapetes, de menor estratificación, presentaron ausencia de capas subsuperficiales (especialmente color verde) o capas intermedias

(color rosado o púrpura), y fueron clasificados, de este modo, en invierno 2018 como tapetes Tipo 2 (Tabla N° 12-21).

**Tabla N° 12-20. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna Salada, invierno 2016, 2017, 2018.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 1. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete microbiano.

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)																		
		Salada 2016						Salada 2017						Salada 2018						
		S-6			S-9			S-6			S-9			S-6			S-9			
		MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 4	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3
Subsuperficial	Rosado																			
	Blanco																			
	Gris																			
	Verde opaco																			
	Naranja																			
	Amarillo																			
	Verde																			
	Verde claro																			
	Verde oscuro																			
	Verde opaco claro																			
	Naranja claro																			
	Amarillo claro																			
	Inter media	Blanco																		
Rosado																				
Rosado claro																				
Purpura																				
Profunda	Naranja claro																			
	Naranja																			
	Verde opaco																			
	Verde opaco claro																			
	Verde oscuro																			
	Verde opaco oscuro																			
	Blanco																			
	Café																			
	Café claro																			
	Café verde																			
	Café opaco																			
	Café morado																			
	CAFÉ OSCURO																			
PÚRPURA																				

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)																			
		Salada 2016						Salada 2017						Salada 2018							
		S-6			S-9			S-6			S-9			S-6			S-9				
		MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 4	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1
	ROSADO GRIS																				
	GRIS																				
	GRIS CLARO																				
	VERDE AMARILLO																				
	CAFÉ NARANJA																				
	ROSADO																				
	NEGRO																				

Donde: S/C = sin capas pigmentadas. Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 12-21 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 de Laguna Salada, Saladita e Interna, invierno 2016, 2017, 2018.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 2. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete microbiano.

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)								
		2016		2017			2018			
		Saladita	Saladita	Interna		Salada	Saladita	Interna		
		SA-25	S-11	I-17		S-9	S-11	I-17		
		MT3	MT2	MT1	MT3	MT2	MT4	MT3	MT2	
Subsuperficial	Naranja									
	Verde									
	Verde claro									
	Verde amarillo									
	Verde oscuro									
	Naranja claro									
	Amarillo claro									
Intermedia	Blanco									
	Rosado									
	Rosado claro									
	Púrpura									
Profunda	Verde oscuro									
	Café oscuro									

Donde: S/C = sin capas pigmentadas. Fuente: Elaboración propia



Respecto a las semejanzas de estructura pigmentaria en los tapetes de Laguna Salada, durante los tres periodos respecto a tapetes Tipo 1 (**Tabla N° 12-20**), la capa subsuperficial más común exhibe tonalidades color verde, posteriormente y con menor presencia se encuentran las capas subsuperficiales naranja y/o amarillo. A continuación, en la zona intermedia las capas con mayor presencia corresponden a las capas de color púrpura.

Respecto a la zona profunda, se caracterizó porque representa la zona con más diferencias de pigmentación de capas entre periodos. En general, las capas más comunes en los tres periodos son de tonalidades color café y verde. Por otro lado, las capas menos comunes entre periodos son de color rosado, púrpura, gris y blanco. La **Tabla N° 12-20**, resume la característica de capas pigmentadas de tapetes Tipo 1 en Laguna Salada para los tres periodos de invierno. Como un ejemplo de la variación de pigmentación de capas en la zona profunda, se encuentran los tapetes de S-9. Al respecto, en invierno de 2016 se observó que los tapetes presentaban en la zona profunda principalmente capas de pigmentación verde. En invierno de 2017, sin embargo, se observaron especialmente capas de tonalidades color café. Subsiguientemente en invierno de 2018, los tapetes presentaron en la zona profunda solo una capa de pigmentación, cuya pigmentación fue variable (tonalidades verdes o color negro).

En cuanto a Laguna Saladita, en las campañas 2016, 2017, 2018, respecto a los tapetes Tipo 1 (**Tabla N° 12-22**), la capa subsuperficial más común presentó tonalidades color verde, posteriormente y con menor presencia se encuentra la capa subsuperficial color naranja. A continuación, en la zona intermedia las capas con mayor presencia corresponden a las capas de color rosado. La zona profunda, en tanto, presentó principalmente tonalidades color café.

De Laguna Saladita destaca el punto S-11, el cual ha presentado cambios evidentes. Al respecto, en invierno 2016 y 2017, en S-11 se observaron tapetes sumergidos, los cuales presentaron capas subsuperficiales color verde y/o naranja, capas intermedias rosado y/o púrpura, y capas profundas de tonalidades café principalmente, siendo identificados en base a estas características como tapetes Tipo 1 (**Tabla N° 12-22**). En la siguiente campaña invierno 2018, se observaron tapetes con menor estratificación (Tipo 2 y 3) (**Tabla N° 12-21** y **Tabla N° 12-23**) que exhibían ausencia de capas profundas color café, observadas en invierno 2016, 2017, y en algunos casos también ausencia de capas color rosado. Los tapetes Tipo 3 del punto S-11 en invierno 2018 se caracterizaron por presentar principalmente una capa subsuperficial de color verde (**Tabla N° 12-23**).

**Tabla N° 12-22 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna Saladita e Interna, invierno 2016, 2017, 2018.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 1. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete microbiano.

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)																
		2016			2017						2018							
		Saladita			Saladita			Interna			Saladita			Interna				
		S-11			SA-25		S-11		I-11	I-17		SA-25			I-11		I-17	
		MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT1	MT3	MT4	MT1	MT2	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3	MT3	
Subsuperficial	Blanco																	
	Naranja																	
	Verde																	
	Verde claro																	
	Verde oscuro																	
	Amarillo claro																	
Intermedia	Blanco																	
	Rosado																	
	Rosado claro																	
	Rojo púrpura																	
	Purpura																	
Profunda	Verde opaco																	
	Verde opaco claro																	
	Café																	
	Café claro																	
	Café oscuro																	
	Gris																	
	Gris claro																	
	Verde																	
	Café naranja																	
	Rosado claro																	
	Amarillo claro																	
	Negro																	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 12-23 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 en Sector Peine, invierno 2016, 2017, 2018.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 3. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete microbiano.

MACROZONA	PIGMENTACIÓN N	MUESTRAS (MT)																	
		2016								2017				2018					
		Saladita		Interna						Saladita				Saladita				Interna	
		SA-25		I-11		I-17				SA-25				SA-25		S-11		I-17	
		MT1	MT2	MT1	MT2	MT1	MT2	MT3	MT4	MT1	MT2	MT3	MT6	MT1	MT2	MT4	MT1	MT2	MT1
Subsuperficial	Rosado																		
	Blanco																		
	Rosado claro																		
	Naranja																		
	Amarillo																		
	Verde																		
	Verde claro																		
	Naranja claro																		
	Café claro																		
	Amarillo claro																		

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes de estratificación simple (Tipo 3) (**Tabla N° 12-23**) presentes en la planicie expuesta del punto SA-25 se observó en las tres campañas de invierno 2016, 2017, 2018, presencia de tapetes (no sumergidos) con capas subsuperficiales de coloración verde y naranja y/o amarillo. A su vez, en el mismo contexto de estructura de pigmentación, solo en invierno 2017 y 2018 algunos tapetes presentaron además capas subsuperficiales de color rosado. Al mismo tiempo, la presencia de tapetes sumergidos en SA-25 fue detectado solo en invierno 2017, los cuales presentaron una capa de coloración verde y fueron reconocidos como Tipo 3.

Por otro lado, en relación a Laguna Interna, en las campañas 2016, 2017, 2018, presentó diferentes Tipos de tapetes. Al respecto, en invierno 2016 solo se observaron tapetes Tipo 3 (**Tabla N° 12-23**), en invierno 2017 se reconocieron tapetes Tipo 1 (principalmente I-11) (**Tabla N° 12-22**) y Tipo 2 (principalmente I-17) (**Tabla N° 12-21**). Posteriormente, en invierno 2018 se detectaron tapetes Tipo 1, 2 y 3.

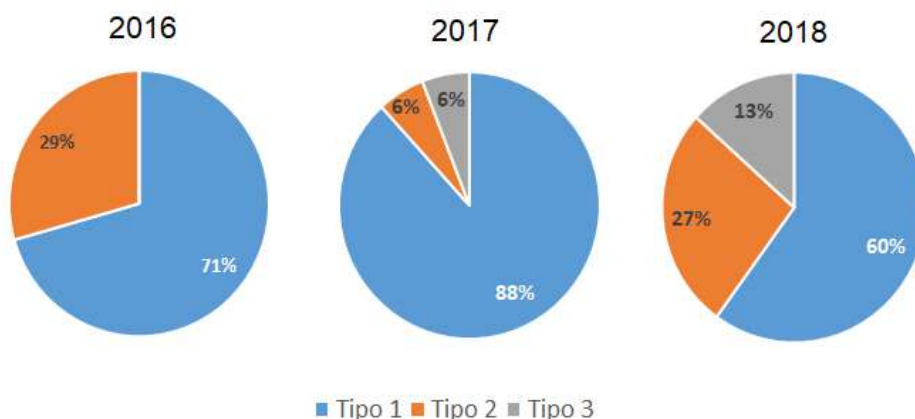
Los tapetes Tipo 2 de I-17 se caracterizaron por presentar en invierno 2017 y 2018 capas subsuperficiales comunes de tonalidades color verde, y capas intermedias color rosado o púrpura (**Tabla N° 12-21**).

Respecto al punto I-11, en invierno 2017 los tapetes sumergidos Tipo 1 mostraron capas subsuperficiales color verde, capas intermedias color púrpura o rosado y capas profundas principalmente de tonalidades cafés y gris (**Tabla N° 12-22**). En relación a invierno 2018, los tapetes sumergidos Tipo 1 en I-11 presentaron pigmentación diferente a lo observado en invierno 2017 especialmente en el tipo de coloración de las capas profundas, ya que las capas más frecuentes en invierno 2018 fueron de tonalidades verdes (**Tabla N° 12-22**) y no de tonalidades color café y gris como en invierno 2017.

- Sector La Punta-La Brava

El Sector La Punta-La Brava, presentó durante las tres campañas de invierno 2016, 2017 y 2018 tapetes principalmente de Tipo 1, como muestra la **Figura N° 12-23**. Sin embargo, se observa variación en la proporción de tapetes Tipo 1 en las tres campañas. De esta forma, en invierno 2017 respecto invierno 2016, aumenta la proporción de tapetes Tipo 1, mientras que en invierno 2018 esta proporción disminuye respecto a invierno 2017.

**Figura N° 12-23. Proporción de tipos de Tapetes en Sector La Punta-La Brava, según zonas macroscópicas de pigmentación, campañas de invierno 2016, 2017, 2018.**



Fuente: Elaboración propia

Esta situación, se relaciona con la disminución de tapetes Tipo 1 en Laguna La Punta (LP-23) y en Laguna La Brava (LB-1, LB-3). Referente a los tapetes localizados en Laguna La Brava, durante las tres campañas de invierno (2016, 2017, 2018) se observaron tapetes Tipo 1 (**Tabla N° 12-24**, **Tabla N° 12-25**) los cuales exhibieron una zona subsuperficial conformada principalmente por capas color naranja y verde. Al mismo tiempo, la zona intermedia presentó capas de color rosado principalmente. Respecto a las capas pigmentadas de la zona Profunda de los tapetes, existen algunas variaciones entre periodos (invierno 2016, 2017, 2018). Al respecto, en el punto LB-1 se observó que entre invierno 2016-2017 las capas comunes fueron de tonalidades naranja y café, particularmente en invierno 2017 se observó además capas de coloración verde (**Tabla N° 12-24**). En invierno 2018, en tanto, los tapetes exhibieron capas profundas principalmente de coloración verde (**Tabla N° 12-24**). En el mismo contexto de pigmentación de la capa Profunda y respecto a otro punto de monitoreo, en LB-2 en las campañas de invierno 2016, 2017 y 2018 se observaron tapetes que presentaron generalmente capas de coloración café (**Tabla N° 12-24**). En LB-3, por otro lado, los tapetes Tipo 1 (especialmente superficiales) observados en invierno 2016, 2017 y 2018 presentaron en la zona Profunda generalmente capas de coloración café (**Tabla N° 12-25**).

**Tabla N° 12-24 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna La Brava, LB-1, LB-2, invierno 2016, 2017, 2018.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 1. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete microbiano.

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)											
		La Brava LB-1, LB2											
		2016				2017				2018			
		LB-1		LB-2		LB-1		LB-2		LB-1		LB-2	
		MT2	MT3	MT1	MT3	MT1	MT2	MT3	MT1	MT3	MT1	MT2	MT1
Subsuperficial	Naranja												
	Verde												
	Verde claro												
	Verde oscuro												
	Naranja claro												
	Amarillo claro												
Intermedia	Blanco												
	Rosado												
	Rosado claro												
	Purpura												
Profunda	Naranja claro												
	Naranja												
	Verde opaco												
	Verde oscuro												
	Verde opaco oscuro												
	Blanco												
	Café												
	Café claro												
	Café oscuro												
	Púrpura												
	Verde												
	Verde claro												

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 12-25 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna La Brava, LB-3 invierno 2016, 2017, 2018.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 1. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete microbiano.

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)											
		La Brava LB-3											
		2016					2017					2018	
		LB-3					LB-3					LB-3	
		MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT1	MT3
Subsuperficial	Rosado												
	Verde opaco												
	Naranja												
	Verde												
	Verde claro												
	Verde oscuro												
	Café claro												
	Amarillo claro												
Intermedia	Blanco												
	Rosado												
	Purpura												
Profunda	Verde opaco claro												
	Verde opaco oscuro												
	Café												
	Café claro												
	Café morado												
	Café oscuro												
	Púrpura												
	Rosado gris												
	Verde												
	Café naranja												
	Amarillo claro												
	Negro												

Fuente: Elaboración propia

En Laguna La Punta, por otro lado, la estructura pigmentaria de los tapetes Tipo 1 presentes (**Tabla N° 12-26**) se caracterizó por exhibir capas de color naranja y tonalidades color verde en la zona Subsuperficial entre invierno de 2016, 2017, 2018. En relación a la zona Intermedia, en invierno de 2016 predominaron capas de color rosado y en invierno 2017 y 2018 capas de color púrpura (**Tabla N° 12-26**). Respecto a la zona Profunda, los tapetes exhibieron diferentes características de pigmentación entre puntos de monitoreo. De este modo, en el punto LP- 24, en invierno 2016, 2017 y 2018 los tapetes presentaron una zona profunda solamente con capas de tonalidades café (**Tabla N° 12-26**). Respecto al punto LP-23, los tapetes exhibieron en invierno 2016 una zona profunda con capas de tonalidades verde y café, en 2017 las capas observadas fueron principalmente de matices café y en invierno de 2018 distinguen capas color café, amarillo claro y capas de tonalidades verdes (**Tabla N° 12-26**).

**Tabla N° 12-26 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna La Punta, invierno 2016, 2017, 2018.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 1. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete microbiano.

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)										
		La Punta										
		2016			2017				2018			
		LP-23		LP-24	LP- 23		LP-24		LP-23		LP-24	
		MT2	MT3	MT1	MT1	MT2	MT3	MT1	MT3	MT1	MT2	MT1
Subsuperficial	Naranja											
	Verde											
	Verde claro											
	Verde oscuro											
	Verde opaco claro											
	Amarillo claro											
Intermedia	Blanco											
	Rosado											
	Rosado claro											
	Verde opaco claro											
	Café claro											
	Purpura											
Profunda	Verde opaco											
	Verde oscuro											
	Verde opaco oscuro											
	Blanco											



MACROZONA	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)									
		La Punta									
		2016			2017				2018		
		LP-23		LP-24	LP- 23		LP-24		LP-23		LP-24
		MT2	MT3	MT1	MT1	MT2	MT3	MT1	MT3	MT1	MT2
	Café										
	Café claro										
	Café verde										
	Café morado										
	Café oscuro										
	Café púrpura										
	Rosado										
	Verde claro										
	Amarillo claro										

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes Tipo 2 (**Tabla N° 12-27**), los cuales presentaron mayor proporción en invierno 2018 respecto a invierno 2017 (**Figura N° 12-23**), se observaron especialmente en los puntos de monitoreo LP-23 y LB-3. Al respecto, en LP-23 estos tapetes presentaron en invierno 2018 capas de color rosado y capas profundas de tonalidades color verde y amarillo (**Tabla N° 12-27**). En Laguna La Brava, por otro lado, los tapetes Tipo 2 de LB-3 presentaron en invierno 2018 capas subsuperficiales de tonalidades color verde y/o naranja, además de capas intermedias color rosado y/o púrpura (**Tabla N° 12-27**).

**Tabla N° 12-27 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 de Laguna La Punta, La Brava, Sector Tilopozo, invierno 2016, 2017, 2018.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 2. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete microbiano.

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	Muestras (MT)									
		2016					2017	2018			
		La Punta	La Brava			Tilopozo	La Brava	La Punta	La Brava		
		LP-23	LB-1	LB-2	TB-2	LB-2	LP-23	LB-2	LB-3		
		MT1	MT1	MT4	MT2	MT1	MT2	MT3	MT2	MT2	MT4
Subsuperficial	Blanco							S/c			
	Naranja										
	Amarillo										
	Verde										
	Verde claro										
	Verde oscuro										
Intermedia	Blanco										
	Rosado										
	Rosado claro										
	Purpura										
Profunda	Verde opaco claro	S/C	S/C			S/C	S/C		S/C		
	Amarillo claro										

Donde: S/C = sin capas pigmentadas. Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes Tipo 3 (**Tabla N° 12-28**), los cuales presentaron mayor proporción en invierno 2018 respecto a invierno 2017 (**Figura N° 12-23**), se observaron especialmente en los puntos de monitoreo LP-24 y LB-1. Al respecto, estos tapetes presentaron en invierno 2017 y 2018 capas subsuperficiales de color verde y/o naranja (**Tabla N° 12-28**).

**Tabla N° 12-28 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 de Laguna La Punta, La Brava, Sector Tilopozo, invierno 2016, 2017, 2018.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 3. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete microbiano.

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	2017	2018	
		La Punta	La Punta	La Brava
		LP-24	LP-24	LB-1
		Muestra 2	Muestra 2	Muestra 3
Subsuperficial	Naranja			
	Verde			
	Naranja claro			

- Sector Tilopozo

Este sector registró tapetes microbianos sólo en la campaña de invierno 2016. Sin embargo, en las campañas siguientes no se ha detectado la presencia de tapetes. Junto a esto, se observó que el sistema presenta cambios temporales respecto al cuerpo de agua, ya que el área de monitoreo en invierno 2016, 2017 y 2018 presentó distintas características entre periodos en relación al sistema hídrico relacionado con el volumen del cuerpo de agua. De este modo, en invierno 2016 y 2017 se observó una condición semejante de volumen de agua, sin embargo, respecto a invierno 2018 fue diferente ya que se observó reducción del volumen del cuerpo de agua.

- Microbialitos y Evaporitas

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para invierno 2016, 2017 y 2018 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 en el Sector La Punta-La Brava, Laguna La Punta (LP-24) en invierno 2017 y 2018. 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° 12-29. Cuadro resumen del registro de Microbialitos y Evaporitas en los Puntos de Monitoreo, campañas de invierno 2016, 2017 y 2018.**

Punto de Monitoreo	Registro visual					
	Microbialito			Evaporita		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018
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	-	-	-	-	-	-

Donde: Presencia = +, No detección = -. Fuente: Elaboración propia.

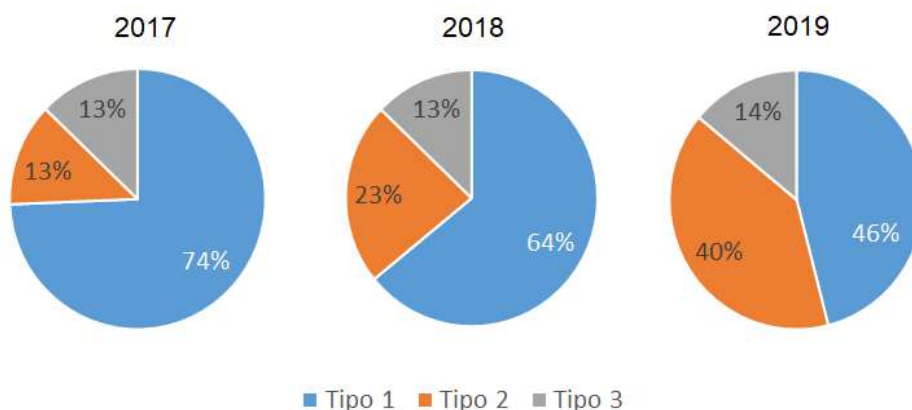
### 12.3.3 Análisis evolución veranos 2017, 2018 y 2019

Referente a los cambios observados en las tres campañas de monitoreo semestrales de verano 2017, 2018 y 2019, destacan los siguientes aspectos:

Del monitoreo se tiene que en las tres campañas verano 2017, 2018 y 2019 el 68,8% de los puntos presentó tapetes microbianos.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos se observa la presencia de tres tipologías de tapetes en las campañas verano 2017, 2018 y 2019. Entre estas tipologías de tapete, se distingue la presencia de tapetes Tipo 1 en las tres campañas de verano (**Figura N° 12-24**).

**Figura N° 12-24. Proporción de tipos de Tapetes en Salar de Atacama, según zonas macroscópicas de pigmentación, campañas de verano 2017, 2018, 2019.**



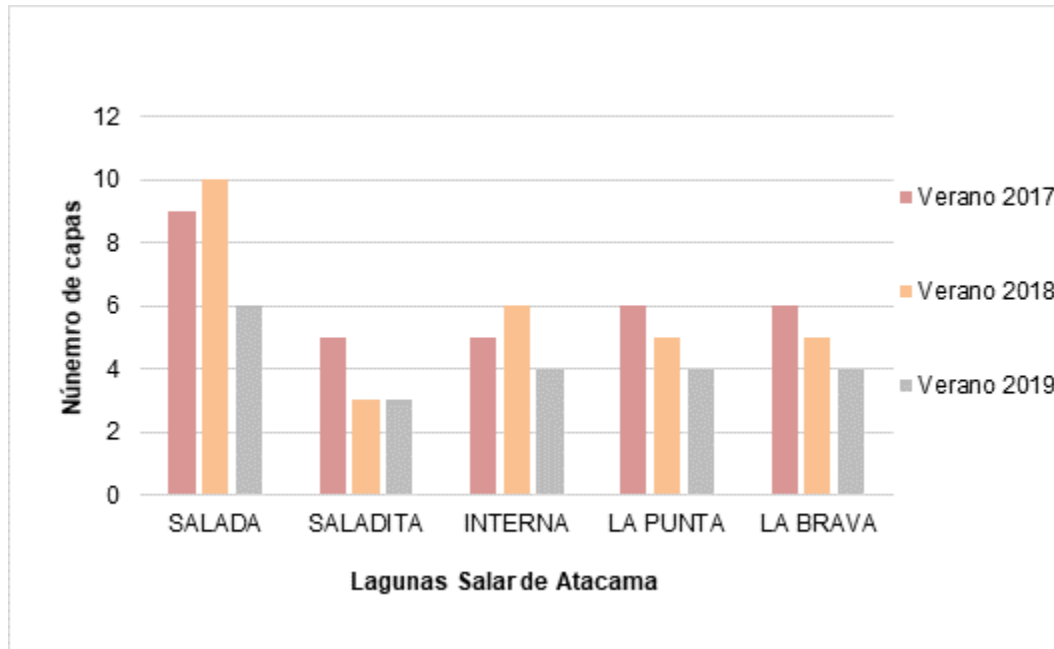
Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, entre campañas semestrales de verano 2017, 2018 y 2019, de acuerdo al total de muestras por periodo, se observa menor presencia de tapetes Tipo 1, desde verano 2017 hasta verano 2019 (**Figura N° 12-24**). Esta disminución es más evidente en el Sector Peine (**Figura N° 12-28**) que en La Punta-La Brava (**Figura N° 12-29**).

Respecto al número de capas en tapetes observados en las campañas de verano 2017, 2018, 2019, si se comparan los valores promedios por sistema lagunar (**Figura N° 12-25**), se observa que en la campaña verano 2019, disminuye el número de capas en Laguna Salada respecto a verano 2018. Por otro lado, en Laguna Saladita se observa disminución de número de capas en la campaña verano 2018 respecto a verano 2017. Posteriormente, en verano 2019, el número de capas promedio es similar a verano 2018. Respecto a Laguna Interna, el número promedio de capas es variable entre las tres campañas. De este modo, para la campaña 2019 el número de capas es menor respecto a la campaña verano 2018, pero en verano 2018 el número es mayor respecto a verano 2017.

Por otro lado, para las Lagunas La Punta y La Brava el número promedio de capas pigmentadas en tapetes disminuye en campañas sucesivas de verano 2017, 2018 y 2019, siendo el periodo de verano 2017 el que presentó mayor número de capas en ambos sistemas lagunares (**Figura N° 12-25**).

**Figura N° 12-25. Distribución del número de capas pigmentadas de tapetes microbianos, campañas verano 2017, 2018, 2019.**

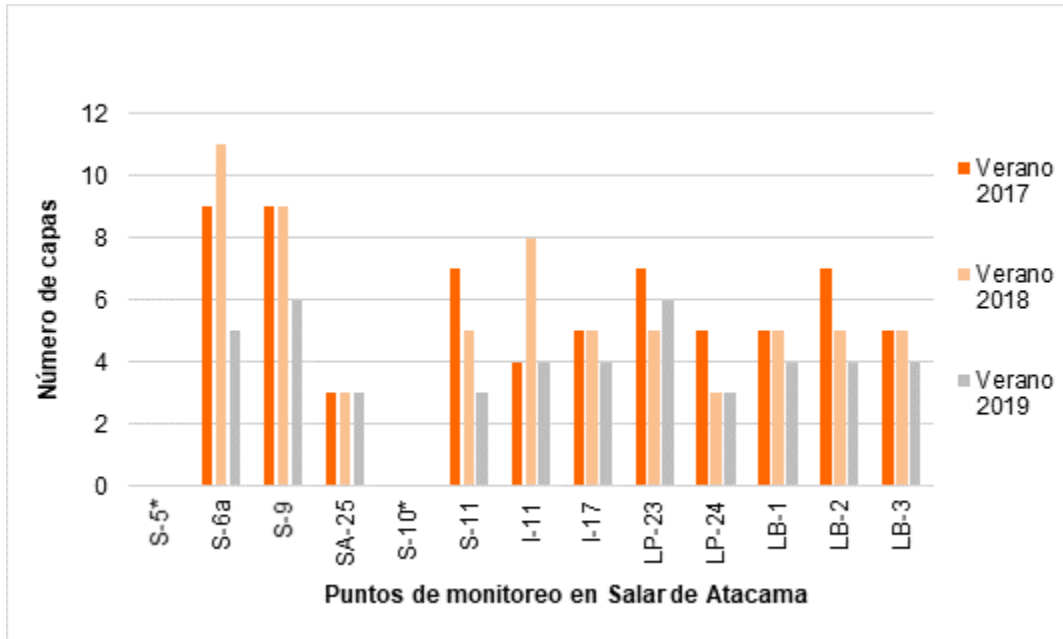


Fuente: Elaboración propia

Al comparar el número promedio de capas pigmentadas en tapetes por punto de monitoreo, se observa para Laguna Salada disminución en ambas estaciones de monitoreo (S-6A, S-9) en verano 2019 respecto a 2018. Sin embargo, al comparar verano 2018 en S-6A y verano 2017, se observa mayor número de capas en verano 2018 (**Figura N° 12-26**). En Saladita, verano 2019, la disminución del valor promedio de capas se evidencia sólo en S-11; ya que al observar SA-25 el número de capas promedio se mantiene en comparación a los veranos anteriores (**Figura N° 12-26**). En relación al número de capas en Laguna Interna, se observa variación del promedio de capas en las tres campañas de verano. Particularmente, en I-17 se observan valores menores en verano 2019 respecto a verano 2017 y 2018. Entre ambos periodos (2017-2018), a su vez, no se observan diferencias. En I-11, en tanto, la diferencia de número de capas es de mayor magnitud, en verano 2019 el valor es la mitad de lo observado en verano 2018. De esta forma en verano 2019, los tapetes de I-11 presentan hasta 5 capas (**Tabla N° 7-30**) mientras que en verano 2018 alcanzan hasta 10 capas.

Por otro lado, en Laguna La Punta, se observó en LP-23 disminución del número promedio de capas en verano 2018 respecto 2017, y para verano 2019 se observó un aumento respecto a verano 2018. Para el punto LP-24 se destaca una disminución del número de capas desde verano 2018 respecto verano 2017. En verano 2019, en tanto, se observan valores semejantes respecto a verano 2018 (**Figura N° 12-26**).

**Figura N° 12-26. Distribución del número promedio de capas pigmentadas de tapetes microbianos, verano 2017, 2018 y 2019 por punto de monitoreo.**

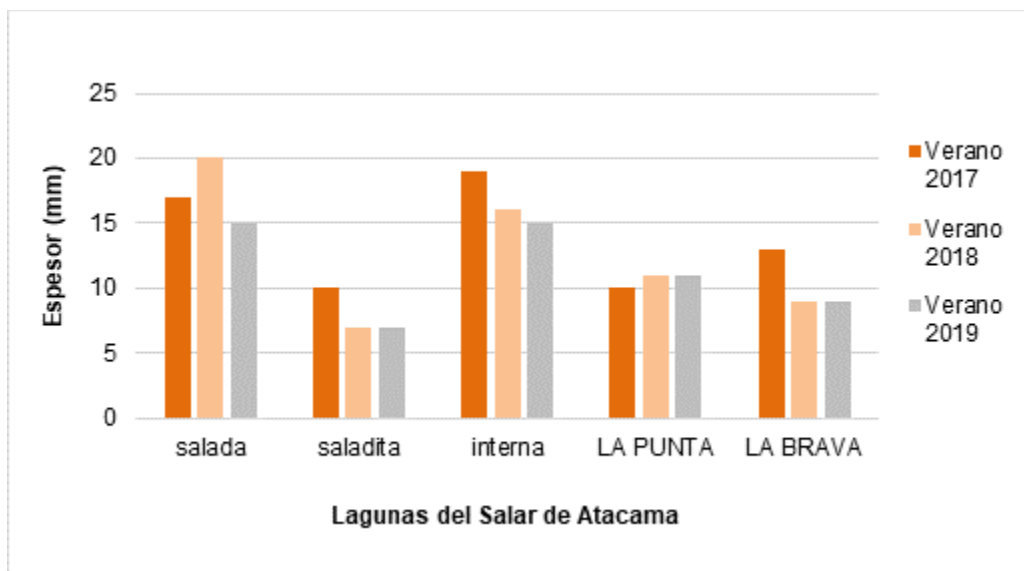


Fuente: Elaboración propia

En relación al espesor de los tapetes, el valor promedio más alto respecto a las 3 campañas de verano realizadas para el Sector fue registrado en verano 2018 y correspondió a 20 mm (Laguna Salada). Respecto a la variación del espesor promedio por laguna en las 3 campañas de verano, se observó disminución en Laguna Saladita, Interna y Laguna La Brava. Al respecto, en Laguna Interna la disminución es gradual desde verano 2017 hasta verano 2019. Referente a Laguna Saladita, se observa disminución del espesor en verano 2018 comparado a verano 2017, y en verano 2019 presenta un valor similar a verano 2018. De la misma forma, en Laguna La Brava se observa disminución del espesor en verano 2018 comparado a verano 2017, y en verano 2019 presenta un valor similar a verano 2018.

Respecto a las otras lagunas, en Laguna Salada se observan valores que fluctúan entre campañas. Pero se destaca que el espesor en la última campaña de verano (2019), es menor respecto a las campañas anteriores (2016 y 2017). En Laguna La Punta se observa aumento del espesor promedio en verano 2018 respecto a verano 2017, y en verano 2019 presenta un valor similar a verano 2018.

**Figura N° 12-27. Espesor promedio de tapetes microbianos, en Lagunas monitoreadas, campañas verano 2017, 2018, 2019.**



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto a la morfología de los tapetes microbianos, a partir de las tres campañas de verano llevadas a cabo, se distinguen principalmente 3 tipos: 1) Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados y pigmentados, característicos de laguna Salada; 2) Tapetes convexos, con apariencia, consistencia y textura de tipo coriácea (semejante al cuero), los cuales predominan en Laguna La Brava (LB-1); y 3) Tapetes planos, de textura superficial gelatinosa, consistencia blanda, granular, detectados especialmente en Laguna La Brava (LB-2), observados en verano 2017 y 2019.

A continuación, se discuten los aspectos más relevantes referidos a la estructura de pigmentación de tapetes microbianos según cada sector en los monitoreos semestrales de verano 2017, 2018 y 2019 realizados.

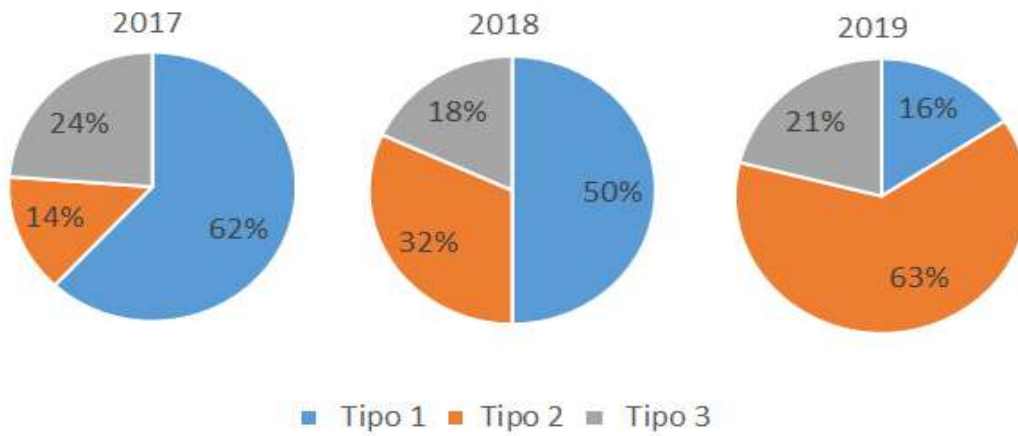
- Sector Peine

El Sector Peine presentó durante las tres campañas de verano (2017, 2018, 2019) tapetes Tipo 1 (**Figura N° 12-28**), sin embargo, la detección de este tipo de tapete disminuye al comparar de manera sucesiva las campañas de verano. Al respecto, se destaca la disminución de tapetes Tipo 1 en verano 2018 en el Sector Peine (**Figura N° 12-28**, verano 2018) respecto a verano 2017 (**Figura N° 12-28**, 2017), que se relaciona con la condición de pérdida de estratificación coloreada, concerniente especialmente con el sistema Laguna Saladita, específicamente para el punto S-11. A su vez, la disminución de



tapetes Tipo 1 en verano 2019 respecto a verano 2018 se relaciona con lo observado en Laguna Salada (S-6A), donde la detección de tapetes fue principalmente de tapetes Tipo 2 (**Tabla N° 7-33**), a diferencia de campañas anteriores (verano 2017, 2018) en las cuales se registraron principalmente tapetes Tipo 1 (**Tabla N° 12-30**).

**Figura N° 12-28. Proporción de tipos de Tapetes según zonas macroscópicas de pigmentación en Sector Peine, campañas de verano 2017, 2018, 2019.**



Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla N° 12-30** se observa las características de pigmentación de tapetes Tipo 1 en Laguna Salada, en las campañas verano 2017, 2018 y 2019. Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 1. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete.

**Tabla N° 12-30 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna Salada, verano 2017, 2018, 2019.**

MACROZONAS	PIGMENTACIÓN	Muestras (MT)												
		2017						2018						2019
		S-6A			S-9			S-6A			S-9			S-9
		MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT1	MT2	MT3	MT2	
Subsuperficial	Rosado													
	Naranja													
	Amarillo													
	Verde													
	Verde claro													
	Verde amarillo													
	Verde oscuro													
	Verde opaco claro													
	Amarillo claro													
	Intermedia	Blanco												
Rosado														
Rosado claro														
Rosado oscuro														
Púrpura														
Púrpura claro														
Profunda	Naranja claro													
	Verde opaco													
	Verde opaco claro													
	Verde oscuro													
	Verde opaco oscuro													
	Blanco													
	Café													
	Café claro													
	Café verde													
	Café morado													
	Café oscuro													
	Purpura oscuro													
	Purpura													
	Rosado gris													
	Gris													
	Gris claro													
	Verde amarillo													
	Verde													
	Café naranja													
	Rosado													
	Amarillo													
	Amarillo claro													
Amarillo café														
Negro														

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto al punto S-9 de Laguna Salada, los tapetes Tipo 1 presentaron en las dos campañas verano 2017 y 2018 (**Tabla N° 12-30**) capas subsuperficiales de tonalidades verdes y pigmentación naranjada, y en verano de 2019 principalmente capas subsuperficiales de color verde y amarillo claro. En relación a las capas intermedias y profundas, para las tres campañas (verano 2017, 2018, 2019) los tapetes en S-9 presentaron principalmente capas intermedias color púrpura y/o rosado y capas profundas con tonalidades de color café y verde (**Tabla N° 12-30**).

Respecto a S-6A en Laguna Salada, se observaron principalmente tapetes Tipo 2 (**Tabla N° 7-33**), éstos carecían de capas subsuperficiales de color verde, y presentaban principalmente capas púrpuras y/o rosadas y capas profundas de tonalidades color verde y/o café. Por lo demás, en las campañas verano 2017 y 2018 los tapetes Tipo 1 del punto S-6A presentaron una zona Subs superficial conformada principalmente por capas de tonalidades verdes, capas intermedias de pigmentación rosada o púrpura, y capas profundas de variable pigmentación en ambas campañas. Cabe destacar que la detección de tapetes Tipo 2 en S-6A fue registrada anteriormente en verano 2018 (Muestra 3), los cuales carecían de capas subsuperficiales.

En cuanto a Laguna Saladita, puntualmente en la estación SA-25, en las campañas de verano 2017, 2018, 2019, los tapetes localizados en el borde lagunar, de Tipo 1, asociados a una base vegetal, presentaron capas subsuperficiales de color verde, capas intermedias de color rosado/púrpura, y capas profundas de color café (**Tabla N° 12-31**).

En relación a S-11, en verano 2017, los tapetes Tipo 1 presentaron capas subsuperficiales color verde, capas intermedias rosado/púrpura, y capas profundas de tonalidades café (**Tabla N° 12-31**) En la siguiente campaña verano 2018, se observaron tapetes con menor estratificación (Tipo 2) (**Tabla N° 12-31**) que exhibían capas subsuperficiales de color naranja y tonalidades verde, seguida de capas de color rosado (previamente catalogadas como intermedias), y ausencia de capas profundas color café (observadas en verano 2017). Para la campaña verano 2019, los tapetes presentaron una estructura pigmentaria parecida a lo observado en verano 2018, principalmente con capas subsuperficiales color verde, seguida de capas color rosado (**Tabla N° 12-31**).

En Laguna Saladita se detectaron además tapetes Tipo 3, los cuales se localizaron en la planicie expuesta del punto SA-25 (**Tabla N° 12-33**). En la campaña de verano 2017 los tapetes Tipo 3 exhibieron capas subsuperficiales de coloración rosada, verde y naranja. Posteriormente, en verano 2018 las capas subsuperficiales observadas en los tapetes fueron de color verde y naranja. En verano 2019, en tanto, estos tapetes presentaron capas subsuperficiales de color rosado y verde principalmente.

Al mismo tiempo, la presencia de tapetes sumergidos en SA-25 fue detectado solo en verano 2017 y 2018, los cuales presentaron una capa de coloración verde y fueron reconocidos como Tipo 3.

**Tabla N° 12-31. Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna Saladita e Interna, verano 2017, 2018, 2019.**

MACROZONAS	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)													
		2017						2018					2019		
		Saladita					Interna		Saladita		Interna			Saladita	Interna
		SA-25	S-11				I-11		SA-25		I-11		I-17	SA-25	I-11
		MT5	MT1	MT2	MT3	MT4	MT2	MT3	MT4	MT5	MT1	MT2	MT3	MT3	MT2
Subsuperficial	Blanco														
	Rosado claro														
	Naranja														
	Amarillo														
	Verde														
	Verde claro														
	Verde oscuro														
	Verde opaco claro														
	Naranja claro														
	Amarillo claro														
Intermedia	Blanco														
	Rosado														
	Café														
	Púrpura														
Profunda	Café naranja oscuro														
	Verde opaco claro														
	Verde oscuro														
	Blanco														
	Café														
	Café claro														
	Café verde														
	Café oscuro														
	Gris														
Verde amarillo															

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 12-32 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 en Laguna Saladita e Interna, verano 2017, 2018, 2019.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 2. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete.

MACROZONAS	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)															
		2017			2018						2019						
		INTERNA			SALADITA			INTERNA			SALADITA			INTERNA			
		I-17			S-11			I-17			SA-25	S-11		I-11	I-17		
		MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 1	MT2	MT1	MT 1	MT 2	MT 3
Subsuperficial	Blanco																
	Verde opaco																
	Rosado claro																
	Naranja																
	Amarillo																
	Verde																
	Verde claro																
	Verde amarillo																
	Verde oscuro																
	Naranja claro																
	Amarillo claro																
	Intermedia	Blanco															
		Rosado															
Rosado claro																	
Verde claro																	
Naranja																	
Púrpura																	
Profunda	Café oscuro	S/C			S/C			S/C				S/C			S/C		

Donde: S/C = sin capas pigmentadas. Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 12-33 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 en Sector Peine, verano 2017, 2018, 2019.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 3. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete.

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS (MT)													
		2017				2018				2019					
		Saladita				Interna	Saladita				Saladita			Interna	
		SA-25				I-11	SA-25				SA-25			I-11	
		MT1	MT2	MT3	MT4	MT1	MT1	MT2	MT3	MT6	MT1	MT2	MT3	MT2	
Subsuperficial	Rosado														
	Blanco														
	Naranja														
	Amarillo														
	Verde														
	Verde claro														
	Verde amarillo														
	Verde oscuro														

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en relación a Laguna Interna, se reconocieron tapetes Tipo 1 (sumergidos) en el punto I-11 que en verano 2017 presentaron capas subsuperficiales color verde, capas intermedias color púrpura y capas profundas con tonalidades cafés. En la siguiente campaña verano 2018, se observaron tapetes principalmente con capas subsuperficiales de color naranja y verde, capa intermedia de coloración púrpura, y capas profundas con tonalidades color café. Para la campaña 2019, los tapetes sumergidos presentaron una estructura similar, con capas subsuperficiales naranja y verde, capa intermedia rosado/púrpura y capa profunda color café (**Tabla N° 12-31**).

En relación a otro punto de monitoreo de Laguna Interna, I-17, en la campaña verano 2017 se destaca la presencia de tapetes Tipo 2, los cuales exhibieron capas subsuperficiales color verde y naranja, y capas intermedias de coloración rosada (**Tabla N° 12-32**). En verano de 2018, por otro lado, los tapetes presentaron capas subsuperficiales de pigmentación rosado claro, verde y naranja, y capas intermedias color rosado (**Tabla N° 12-32**). Para la campaña verano 2019, se distinguieron tapetes con capas subsuperficiales de color naranja y verde, y capas intermedias color rosado (**Tabla N° 12-32**).

- Sector La Punta-La Brava

El Sector La Punta-La Brava, presentó durante las tres campañas de verano 2017, 2018, 2019, tapetes principalmente de Tipo 1, como muestra en la **Figura N° 12-29**.

**Figura N° 12-29. Proporción de tipos de Tapetes según zonas macroscópicas de pigmentación en Sector La Punta- La Brava, campañas de verano 2017, 2018, 2019.**



Fuente: Elaboración propia

En relación a Laguna La Brava, para las tres campañas de verano 2017, 2018, 2019, los tapetes Tipo 1 (**Tabla N° 12-34**) presentaron una zona Subsuperficial conformada principalmente por capas color naranja y verde. Al mismo tiempo, la zona intermedia presentó principalmente capas de color rosado. Respecto a la zona profunda de los tapetes, se observaron algunas variaciones de pigmentación entre campañas. Al respecto, en la campaña verano 2017 se observó capas comunes que fueron de tonalidades café, particularmente en verano 2018 se observó además capas de coloración negro. En verano 2019, en tanto, los tapetes exhibieron capas profundas principalmente de tonalidades color café y verde (**Tabla N° 12-34**).

También se debe destacar que los tapetes sumergidos (Tipo 1) del punto LB-3, en las campañas verano 2017 y 2018 se observaron principalmente en el borde lagunar sumergido del sector. Sin embargo, para la campaña verano 2019, los tapetes además de localizarse en el borde lagunar se observaron también en el ambiente sedimentario del sistema (Tipo 2), y se caracterizaron por presentar una consistencia blanda y capas subsuperficiales de coloración naranja y verde, seguido de capas color rosado (**Tabla N° 12-34**).

Respecto a laguna La Punta, para el punto LP-23, en las campañas de verano 2017, 2018 y 2019, la estructura pigmentaria de los tapetes Tipo 1 se caracterizó principalmente por

la presencia de capas subsuperficiales de tonalidades verdes y capas intermedias color púrpura (**Tabla N° 12-35**). En relación a la zona profunda de los tapetes, se observaron algunas diferencias de pigmentación entre campañas. Al respecto, en la campaña verano 2017 se observó una pigmentación variable entre tapetes. En verano 2018 los tapetes presentaron capas profundas comunes color café y tonalidades verdes. Finalmente, en la campaña verano 2019 las capas profundas de los tapetes fueron de pigmentación variable entre unidades de muestras (**Tabla N° 12-35**).

Por otro lado, respecto al punto LP- 24, los tapetes (Tipo 1) observados en las campañas de verano 2017, 2018 y 2019 presentaron capas subsuperficiales de tonalidades naranjas y verdes, además de capas intermedias color rosado. Respecto a las capas profundas, en verano 2017 se observaron tapetes con capas profundas de tonalidades verdes, en las campañas siguientes de verano 2018 y 2019, se observaron tapetes con capas profundas de color café (**Tabla N° 12-35**).

En LP-24, se debe destacar la presencia de tapetes sumergidos (Tipo 2) que en la campaña verano 2017 presentaron capas intermedias de color rosado y capas profundas con coloraciones verdes. En tanto para las campañas verano 2018 y 2019 se observaron tapetes sumergidos con capas subsuperficiales con tonalidades verdes y capas intermedias de color rosado/púrpura (**Tabla N° 12-36**).

Respecto a los tapetes Tipo 3 (**Tabla N° 12-37**), los cuales presentaron similar proporción en verano 2018 y verano 2019 (**Figura N° 12-29**), se observaron especialmente en el punto de monitoreo LB-3. Al respecto, estos tapetes presentaron en verano 2018 y 2019 principalmente capas subsuperficiales de color verde y naranja (**Tabla N° 12-37**).



**Tabla N° 12-34 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna La Brava, verano 2017, 2018, 2019.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 1. Sólo se indica presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete.

MACROZONAS	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS																									
		2017									2018									2019							
		LB-1			LB-2			LB-3			LB-1				LB-2			LB-3		LB-1			LB-2			LB-3	
		MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3	MT4	MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1
Subsuperficial	Rosado																										
	Naranja																										
	Amarillo																										
	Verde																										
	Verde claro																										
	Verde amarillo																										
	Verde oscuro																										
	Verde opaco claro																										
	Café claro																										
	Amarillo claro																										
Intermedia	Blanco																										
	Rosado																										
	Rosado claro																										
	Púrpura																										

MACROZONAS	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS																										
		2017									2018									2019								
		LB-1			LB-2			LB-3			LB-1				LB-2			LB-3		LB-1			LB-2			LB-3		
		MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3	MT4	MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	
Profunda	Café naranja oscuro																											
	Verde opaco																											
	Verde oscuro																											
	Verde opaco oscuro																											
	Blanco																											
	Café																											
	Café claro																											
	Café oscuro																											
	Café naranja																											
	Verde claro																											
	Amarillo																											
	Negro																											

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 12-35 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 1 de Laguna La Punta, verano 2017, 2018, 2019.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 1. Se indica sólo presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete.

MACROZONAS	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS															
		2017				2018				2019							
		LP-23		LP-24		LP-23		LP-24		LP-23		LP-24					
		MT 1	MT 2	MT 3	MT 4	MT 1	MT 2	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 1	MT 2	MT 3	MT 4	MT 1	MT 2
Subsuperficial	Rosado																
	Verde opaco																
	Rosado claro																
	Naranja																
	Amarillo																
	Verde																
	Verde claro																
	Verde amarillo																
	Verde oscuro																
	Verde opaco claro																
	Naranja claro																
Intermedia	Blanco																
	Rosado																
	Rosado claro																
	Café																
	Café oscuro																
	Púrpura																

MACROZONAS	PIGMENTACIÓN	MUESTRAS																
		2017				2018				2019								
		LP-23		LP-24		LP-23		LP-24		LP-23		LP-24						
		MT 1	MT 2	MT 3	MT 4	MT 1	MT 2	MT 1	MT 2	MT 3	MT 1	MT 1	MT 2	MT 3	MT 4	MT 1	MT 2	
Profunda	Naranja claro																	
	Naranja																	
	Verde opaco																	
	Verde opaco claro																	
	Verde oscuro																	
	Verde opaco oscuro																	
	Blanco																	
	Café																	
	Café verde																	
	Café morado																	
	Café oscuro																	
	Purpura																	
	Verde																	
	Rosado																	
	Rosado claro																	
Verde claro																		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 12-36 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 2 de Sector La Punta-La Brava, verano 2017, 2018, 2019.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 2. Se indica sólo presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete.

MACROZONAS	PIGMENTACIÓN	2017		2018		2019	
		LA PUNTA	LA BRAVA	LA PUNTA		LA PUNTA	LA BRAVA
		LP-24	LB-1	LP-23	LP-24	LP-24	LB-3
		MT3	MT2	MT 3	MT2	MT3	MT3
Subsuperficial	Naranja						
	Verde						
	Verde claro	S/C		S/C			
	Verde oscuro						
	Verde opaco claro						
Intermedia	Rosado						
	Púrpura						
Profunda	Verde opaco claro						
	Verde oscuro						
	Verde opaco oscuro		S/C		S/C	S/C	S/C
	Café						
	Purpura						

Donde: S/C = sin capas pigmentadas. Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 12-37 Caracterización de capas pigmentadas de Tapetes microbianos Tipo 3 de Sector La Punta-La Brava, verano 2017, 2018, 2019.**

Las celdas con relleno indican la pigmentación presente, se destacan con color las capas más frecuentes o distintivas de tapetes microbianos Tipo 3. Se indica sólo presencia de capas por macrozona, no indica orden de la estratificación vertical de capas de la muestra de tapete

MACROZONA	PIGMENTACIÓN	2018	2019
		La Brava	La Brava
		LB-3	LB-3
		Muestra 2	Muestra 1
Subsuperficial	Rosado		
	Naranja		
	Verde		
	Verde oscuro		
	Amarillo claro		

Donde: S/C = sin capas pigmentadas. Fuente: Elaboración propia

- *Sector Tilopozo*

Este sector ha registrado presencia de tapetes microbianos sólo en la campaña de invierno 2016, los cuales fueron detectados en el sedimento de un cuerpo de agua somero ubicado en el punto TB-2. Sin embargo, en las campañas siguientes de verano 2017, invierno 2017, verano 2018, invierno 2018 y verano 2019 no se ha detectado la presencia de tapetes. Junto a esto, se observó que el sistema presenta cambios temporales respecto al cuerpo de agua. Al respecto, en verano 2017 se observó ausencia del cuerpo de agua. En invierno 2017 TB-2 presentó una condición hídrica semejante a lo observado en invierno 2016, no obstante, no se registró presencia de tapetes. Posteriormente, en verano 2018 e invierno 2018 se destaca la presencia de abundante vegetación situada en el área de monitoreo, que presentan cuerpos de agua someros, sin embargo, luego de una exhaustiva inspección no se detectaron tapetes microbianos. Finalmente, en verano 2019 no se observó la presencia de cuerpos de agua y de la misma forma no fue posible tomar muestras al respecto.

- *Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas*

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para verano 2017, 2018 y 2019 (**Tabla N° 12-38**) 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 verano 2018. Para la campaña verano 2019, solo se sugiere la presencia de evaporitas en Laguna La Punta (LP-24), ya que debido al 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° 12-38. Cuadro resumen del registro de Microbialitos y Evaporitas en los Puntos de Monitoreo, campañas de verano 2017, 2018 y 2019.**

Punto de Monitoreo	Registro visual					
	Microbialito			Evaporita		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
S-5	-	-	-	-	-	-
S-6A	-	-	-	-	-	-
S-9	-	-	-	-	-	-
SA-25	-	-	-	-	-	-
S-10	-	-	-	-	-	-
S-11	-	-	-	-	-	-
I-11	+	-	-	-	+	-

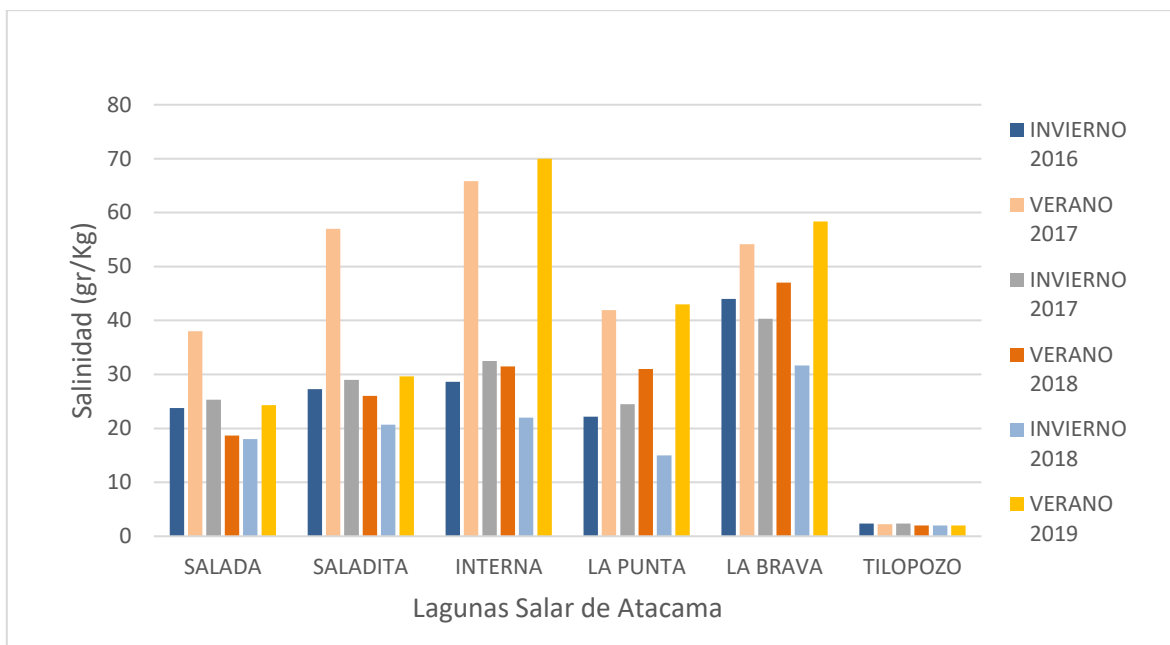
Punto de Monitoreo	Registro visual					
	Microbialito			Evaporita		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
I-17	-	-	-	-	-	-
LP-23	+	+	+	-	-	-
LP-24	+	-	-	-	+	+
LB-1	+	+	+	-	-	-
LB-2	-	-	-	-	-	-
LB-3	-	-	-	-	-	-
TB-1	-	-	-	-	-	-
TB-2	-	-	-	-	-	-
TB-3	-	-	-	-	-	-

Donde: Presencia = +, No detección = -. Fuente: Elaboración propia.

#### 12.3.4 Evolución de Parámetros Físico-Químicos

De los parámetros físicos químicos, los valores máximos de salinidad promedio por sistema lagunar en relación a las seis campañas de monitoreo se observaron en el verano 2019.

Al respecto, el valor de **salinidad** promedio máximo por laguna se observó en Laguna Interna (70 gr/Kg) (**Figura N° 12-30**). El sistema Tilopozo, en tanto, presenta en las 6 campañas los valores de salinidad promedio más bajos (2 a 2,3 gr/Kg) lo cual es consistente con su condición más alejada del núcleo y de la cuña salina del salar. Para el Sector Peine, se observa disminución de la salinidad desde invierno 2017 hasta invierno 2018, respecto a verano 2017, mientras que en verano 2019 respecto a invierno 2018 aumenta este parámetro. Este aumento es especialmente evidente en Laguna Interna. Por otro lado, en el Sector La Punta-La Brava, los valores de salinidad son variables entre periodos, destacándose que en las campañas de verano se registran salinidades mayores respecto a las campañas de invierno. Especialmente en verano 2019, presenta tanto Laguna La Punta como La Brava, valores promedios más elevados respecto a las campañas anteriores del Sector (invierno 2016, 2017, 2018 y verano 2017, 2018).

**Figura N° 12-30. Variación de salinidad promedio en Lagunas del Salar de Atacama, 2016-2019.**

Fuente: Elaboración propia.

La fluctuación de la salinidad afecta la diversidad bacteriana, las tasas de fotosíntesis, además del consumo de oxígeno. La presencia de tapetes en ambientes con salinidades más altas puede sugerir una adaptación a este parámetro por parte de los microorganismos, y puede estar relacionado con el cambio en la diversidad y la función de sus comunidades microbianas, lo cual solo puede establecerse a través de estudios de diversidad microbiana. De las estaciones monitoreadas, durante las 6 campañas, Laguna Interna presentó el mayor valor de salinidad, I-17 (105 gr/Kg), en este punto (I-17) se observó en verano 2019 la presencia de tapetes sumergidos con continuidad espacial en relación al área del punto de muestreo y, en general, menor número de capas promedio respecto a campañas anteriores (verano 2017, 2018) (**Figura N° 12-30**).

Del mismo modo, respecto a la salinidad y el Sector La Punta-La Brava, en verano 2019 se registraron los valores más altos de salinidad en relación a campañas anteriores para el sector, especialmente en los Puntos de monitoreo LB-2 y LB-3. Entre los cuales en LB-3 se observó una característica diferente en comparación a campañas anteriores, respecto al ambiente sedimentario. En verano 2019 se observó la presencia de tapetes microbianos en el sedimento, el cual se había distinguido por la ausencia de estas comunidades en campañas anteriores, detectándose solo en el borde sumergido del área de monitoreo.

**Respecto al oxígeno disuelto**, considerando las 6 campañas ya realizadas en el PMB, el mayor valor de oxígeno promedio por laguna se observó en Laguna Salada en verano 2017 (7,5 mg/L) y el menor valor se registró en verano 2017 en Laguna La Brava (2,1 mg/L), y también en verano 2019 (2,1 mg/L) pero en Laguna Interna (**Figura N° 12-31**). Al respecto,



en esta comparación no se consideraron los valores promedio de oxígeno de Laguna La Punta en verano 2017 y de Tilopozo en invierno 2017, ya que estos promedios incluyeron valores fuera de rango comparado con mediciones en la misma laguna por el PSAH.

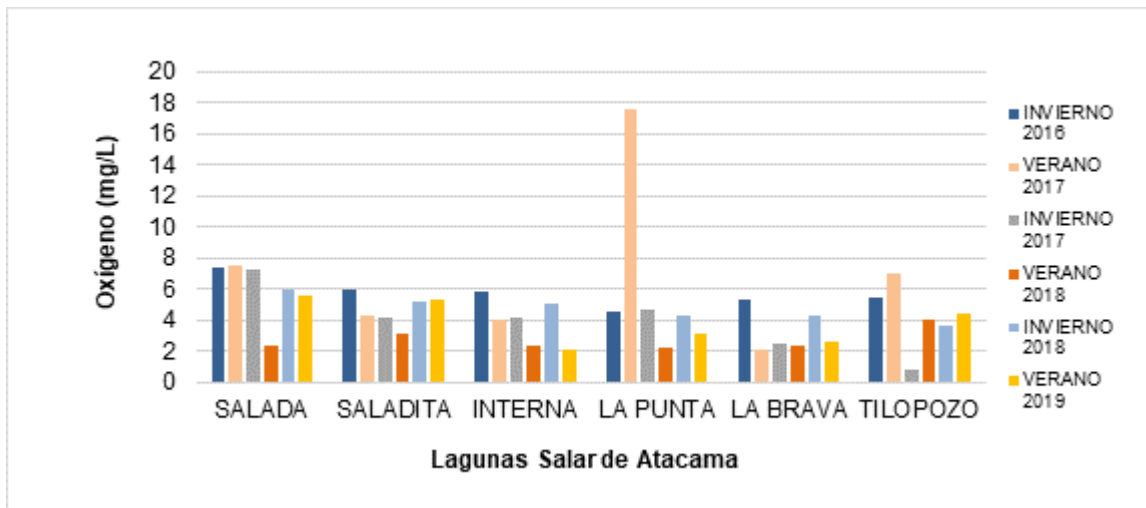
En el Sector Peine se destaca que los valores promedio de oxígeno por laguna disminuyen desde invierno 2016 hasta verano 2018, sin embargo, en invierno 2018 se observa aumento de oxígeno respecto a verano 2018, y posteriormente se observa disminución de concentración de oxígeno solo en Laguna Salada y Laguna Interna en verano 2019 respecto invierno 2018.

Referente al Sector La Punta-La Brava, en Laguna La Punta se observa disminución de la concentración de oxígeno promedio desde verano 2017 hasta verano 2018, considerando el valor en verano 2017 fuera del rango observado. Posteriormente, en invierno 2018 el oxígeno presenta un valor mayor respecto a verano 2018. Finalmente, en verano 2019 respecto invierno 2018 se observa menor concentración de oxígeno.

En Laguna La Brava la concentración de oxígeno disminuye después de invierno 2016, y presenta valores que fluctúan de 2,1 a 2,4 mg/L entre los monitoreos verano 2017, invierno 2017, verano 2018. En invierno 2018 se observa aumento de oxígeno respecto verano 2018, y luego en verano 2019 disminuye respecto a invierno 2018.

En general, de las estaciones monitoreadas, durante las 6 campañas, Laguna Interna en I-17 presentó el menor valor de oxígeno (0,28 mg/L), en verano 2019, este valor mínimo puede ser debido al efecto que tiene la elevada salinidad registrada en I-17 (verano 2019), disminuyendo la solubilidad del oxígeno. En particular, para este sector en verano 2019, se destaca la presencia de tapetes sumergidos con continuidad espacial en relación al área del punto de monitoreo.

**Figura N° 12-31. Variación de oxígeno en Lagunas del Salar de Atacama, 2016-2019.**



Fuente: Elaboración propia.

**En relación a la temperatura** registrada en las 6 campañas, el valor máximo se observó en verano 2017, Sector Peine (33°C), y el valor menor fue registrado en invierno 2016, en el Sector Tilopozo (4,4°C).

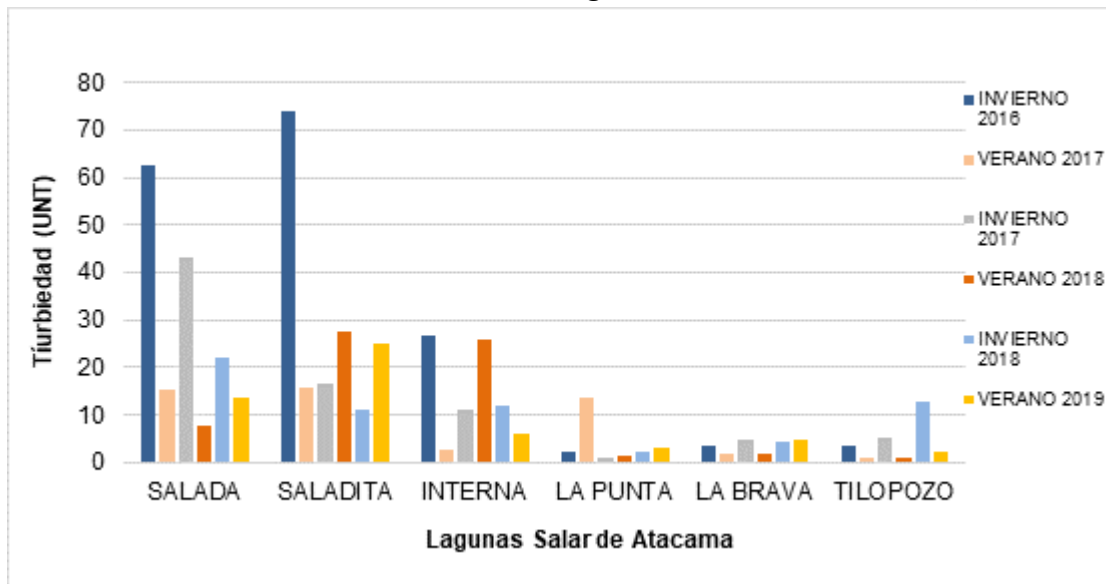
Respecto a la radiación solar, el valor máximo observado en las 6 campañas fue 3,0 MJ/m<sup>2</sup> en la campaña verano 2019.

**En relación con la turbiedad** respecto a las 6 campañas de monitoreo, el valor máximo promedio por sistema lagunar se registró en Laguna Saladita en invierno 2016. Respecto al menor valor de turbiedad se detectó en Tilopozo en verano 2017 (**Figura N° 12-32**).

En Laguna Salada se observa variaciones de turbiedad entre los periodos, los cuales alcanzan mayor valor en monitoreos de invierno respecto a monitoreos de verano. En Laguna Saladita y Laguna Interna se observa aumento de turbiedad desde verano 2017 hasta verano 2018. Posteriormente en invierno 2018 se registra disminución de turbiedad en ambas lagunas respecto a verano 2018. Finalmente, en verano 2019 respecto a invierno 2018 en Saladita aumenta la turbiedad y en Laguna Interna disminuye.

En relación al Sector La Punta-La Brava, cada Laguna presenta diferentes variaciones de turbiedad en las 6 campañas. En Laguna La Punta se observa aumento de turbiedad en verano 2017 respecto a invierno 2016. Luego en invierno 2017 se registra disminución de turbiedad respecto a verano 2017. Posteriormente, en las campañas siguientes se registra respecto a invierno 2017 aumento de turbiedad desde verano 2018 hasta verano 2019.

Por otro lado, en Laguna La Brava, se observa que la turbiedad alcanza mayor valor en monitoreos de invierno (2016, 2017, 2018) respecto a monitoreos de verano de 2017 y 2018. A su vez, los valores de turbiedad en Laguna La Brava son variables entre campañas sucesivas. Respecto a Tilopozo se observa que los valores de turbiedad de invierno son mayores respecto a las campañas de verano. Además, para los monitoreos de invierno se observa aumento de turbiedad desde invierno 2016 hasta invierno 2018. Para el caso de las campañas de verano también se observa aumento de la turbiedad desde verano 2017 hasta verano 2019.

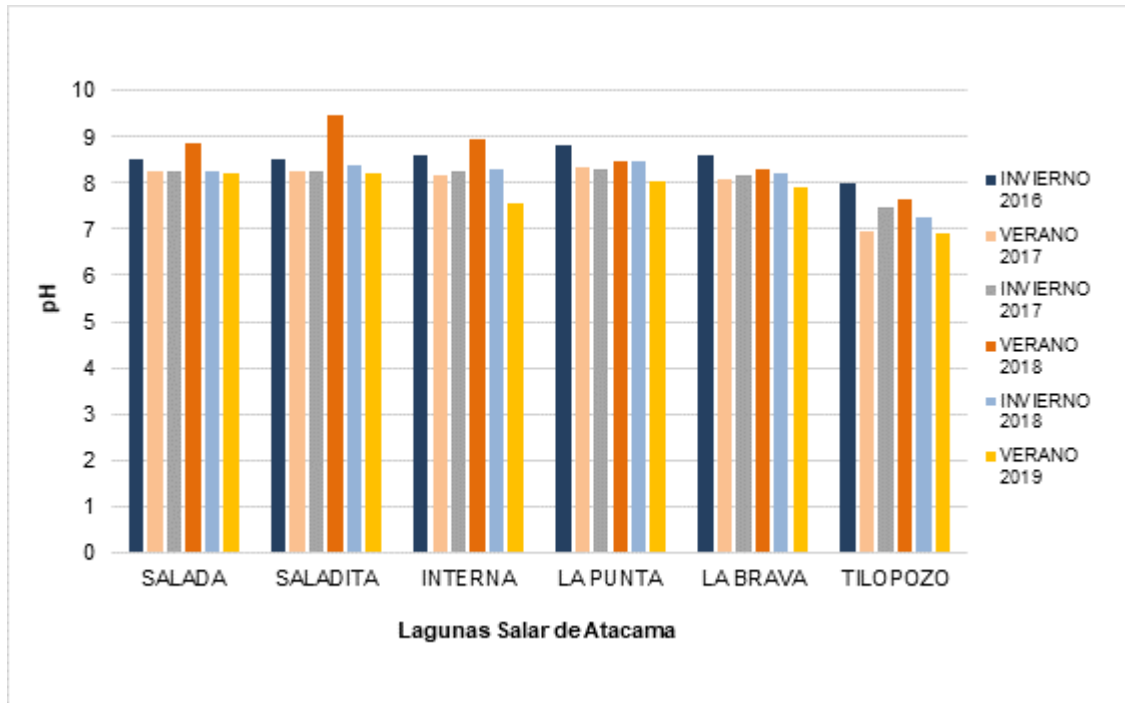
**Figura N° 12-32. Variación de turbiedad en Lagunas del Salar de Atacama, 2016-2019.**

Fuente: Elaboración propia.

La turbiedad afecta los niveles de luz, cuyo aumento reduce y bloquea físicamente la penetración de la irradiación a través de la columna de agua. La reducción considerable de la disponibilidad de luz para los organismos fotosintéticos sumergidos puede inhibir su crecimiento. En particular para los tapetes sumergidos, en Laguna Saladita, en invierno 2016, verano 2018 y 2019, presentan valores superiores respecto a verano 2017, invierno 2017 e invierno de 2018. Especialmente, el valor elevado de turbiedad en Saladita, en S-11 (60 UNT), verano 2019, en comparación a los otros puntos de monitoreo, podría relacionarse con un efecto negativo para los microorganismos fotosintéticos presentes en los tapetes, y promover la condición de tapetes deteriorados con escaso número de capas y débil pigmentación.

**Referente a los valores promedio de pH** para las 6 campañas de monitoreo, según sistema de laguna se detectó en Laguna Salada valores que fluctuaron entre 8,2 a 8,9. En el mismo contexto, en Saladita, los valores fluctuaron de 8,2 a 9,5, y en Laguna Interna el pH fluctuó entre 8,0 a 8,8 (**Figura N° 12-33**).

Para el Sector La Punta-La Brava, en tanto, los registros de pH en Laguna La Brava fluctuaron entre 7,9 a 8,6, para Laguna La Punta en tanto, los valores variaron entre 8,0 y 8,8. Por otro lado, el Sector de Tilopozo, presentó al respecto valores de pH de 6,9 a 8,0 (**Figura N° 12-33**).

**Figura N° 12-33. Variación de pH en Lagunas del Salar de Atacama, 2016-2019.**

Fuente: Elaboración propia.

#### 12.4 En relación con Suelo o Sustrato

En el siguiente acápite se presenta el análisis comparativo de los resultados de laboratorio para los monitoreos invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6), como también la comparación entre todos los monitoreos del PMB que se han realizado a la fecha, estos son: invierno 2016 (M1), verano 2017 (M2), invierno 2017 (M3), verano 2018 (M4), invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6), además del nivel freático observado en terreno.

Cabe señalar que el nivel freático observado es un indicador de la profundidad a la cual se encuentra el agua, aun cuando no necesariamente esta provenga de la napa freática, ya que en algunas condiciones ésta tiene su origen en escurrimientos superficiales y que por un impedimento del suelo (hardpan, duripan, entre otros) no permite que infiltre. Además, la no detección de este no es un indicador de que no exista, ya que se puede encontrar a mayor profundidad.

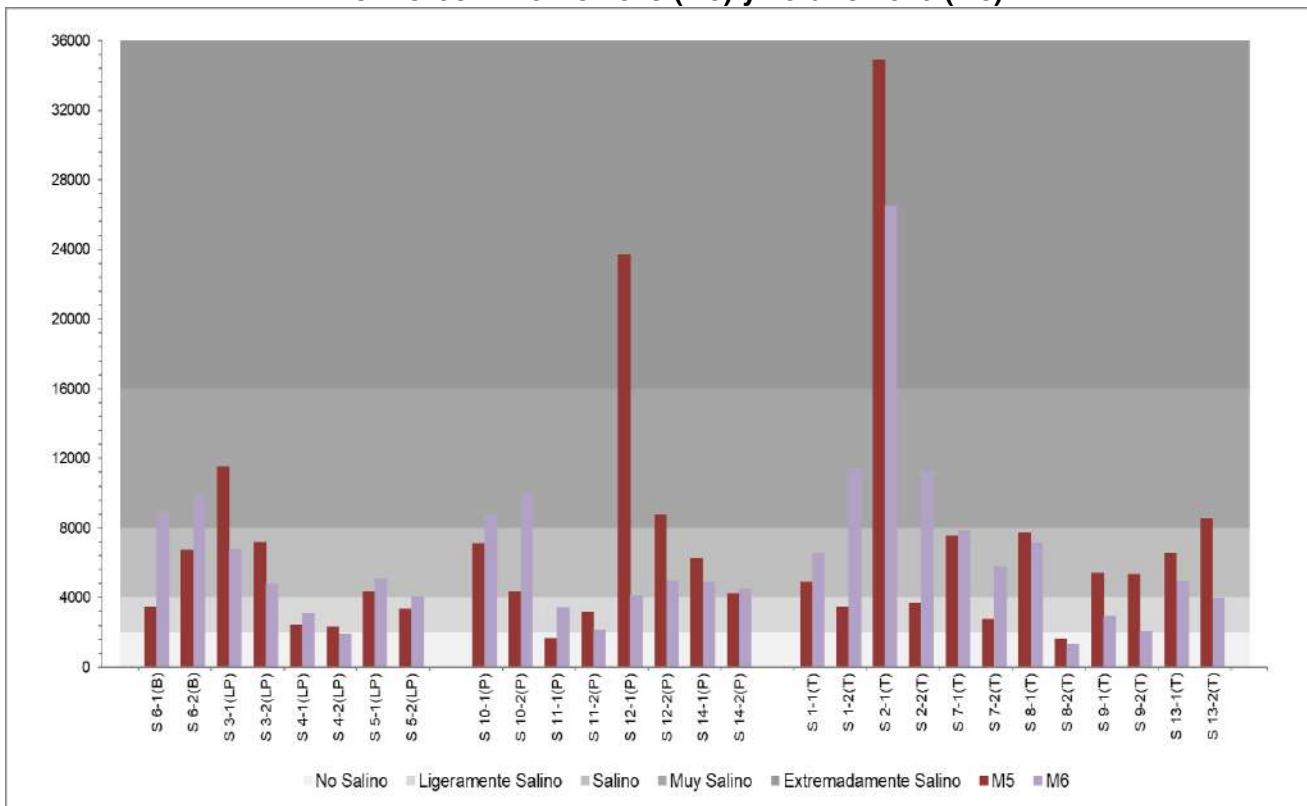
**12.4.1 Análisis comparativo campañas M5 (invierno 2018) y M6 (verano 2019).**

En **Anexo 1 Suelos o Sustrato**, se presenta el detalle de los resultados de los análisis de laboratorio, de las muestras de suelo tomadas durante los monitoreos M5 y M6, como también los formularios de terreno.

**12.4.1.1 Conductividad Eléctrica**

Para el área de estudio, los suelos **no salinos** (C.E. < 2.000  $\mu\text{S/cm.}$ ), están representados por 2 puntos de muestreo en M5 e igual número en M6, siendo la minoría. Los suelos **ligeramente salinos** (C.E. entre 2.000 a 4.000  $\mu\text{S/cm.}$ ) corresponden a 8 puntos en M5 para ir disminuyendo a 6 en M6. Tanto en M5 como en M6, los suelos **salinos** (C.E. entre 4.000 a 8.000  $\mu\text{S/cm.}$ ) están presentes con 13 puntos de muestreo cada uno, siendo la categoría predominante. En cambio, los suelos **muy salinos** (C.E. entre 8.000 - 16.000  $\mu\text{S/cm.}$ ) se observan en 3 puntos en M5 y en 6 en M6. Finalmente, los suelos **extremadamente salinos** (C.E. > 16.000  $\mu\text{S/cm.}$ ), de escasa participación en el área, son detectados en 2 puntos para M5 y uno para M6 (**Figura N° 12-34**).

**Figura N° 12-34: Resultados análisis laboratorio Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S/cm.}$ ) Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**



Fuente: Elaboración Propia

Para el área de estudio, en la mitad de los puntos de muestreo la conductividad eléctrica aumenta levemente desde M5 a M6. En 9 puntos de muestreo, la categoría de salinidad de los suelos aumenta, y en 7 ésta disminuye su categoría (**Figura N° 12-34**).

En el **sector La Punta-La Brava**, en 5 puntos de muestreo, la conductividad eléctrica aumenta en M6 respecto a M5, destacando el punto S 6-1 (La Brava) que pasó de categoría **ligeramente salino** a **muy salino**. El resto de los puntos presentan poca variación, aumentando o disminuyendo una categoría en M6 respecto a M5. Sin embargo, cabe destacar la baja en el punto S 6-1, desde 11.510 uS/cm a 6.800 uS/cm en el sector de La Punta.

Por su parte, en el sector de **Peine** la mitad de los puntos (4) presenta un aumento en la conductividad eléctrica en M6, respecto a M5. De estos, en los puntos S 10-1 y S 10-2, los cuales de **salinos** en M5, cambian a la categoría superior **muy salino**, otros dos puntos mantienen su categoría durante el verano 2019 (M6) de **muy salinos**. Cabe destacar la baja del punto S12-1 que reduce de categoría **extremadamente salino** a **salino**. En cuanto a los puntos de monitoreo en **Peine**, se puede decir de forma general que mantienen un comportamiento estable en la misma ubicación y profundidad.

En el sector de **Tilopozo**, en 5 puntos la conductividad eléctrica es mayor en M6 comparado con M5. De estos muestreos, en los puntos S 1-2, S 2-2 y S 7-2, los suelos son **ligeramente salino** aumentado a **muy salino** en los dos primeros y a **salino** en el tercero. Mientras que, en los puntos S 1-1 y S 7-1 la categoría se mantiene para ambos monitoreos, correspondiendo ésta a suelos **salinos**, aun cuando existe una variación numérica en la concentración de sales.

Se destaca en este sector, que presenta la conductividad más alta detectada en todo el año del monitoreo, la que se presenta en invierno 2018 (M5) en el punto S 2-1, siendo menor en verano 2019 (M6).

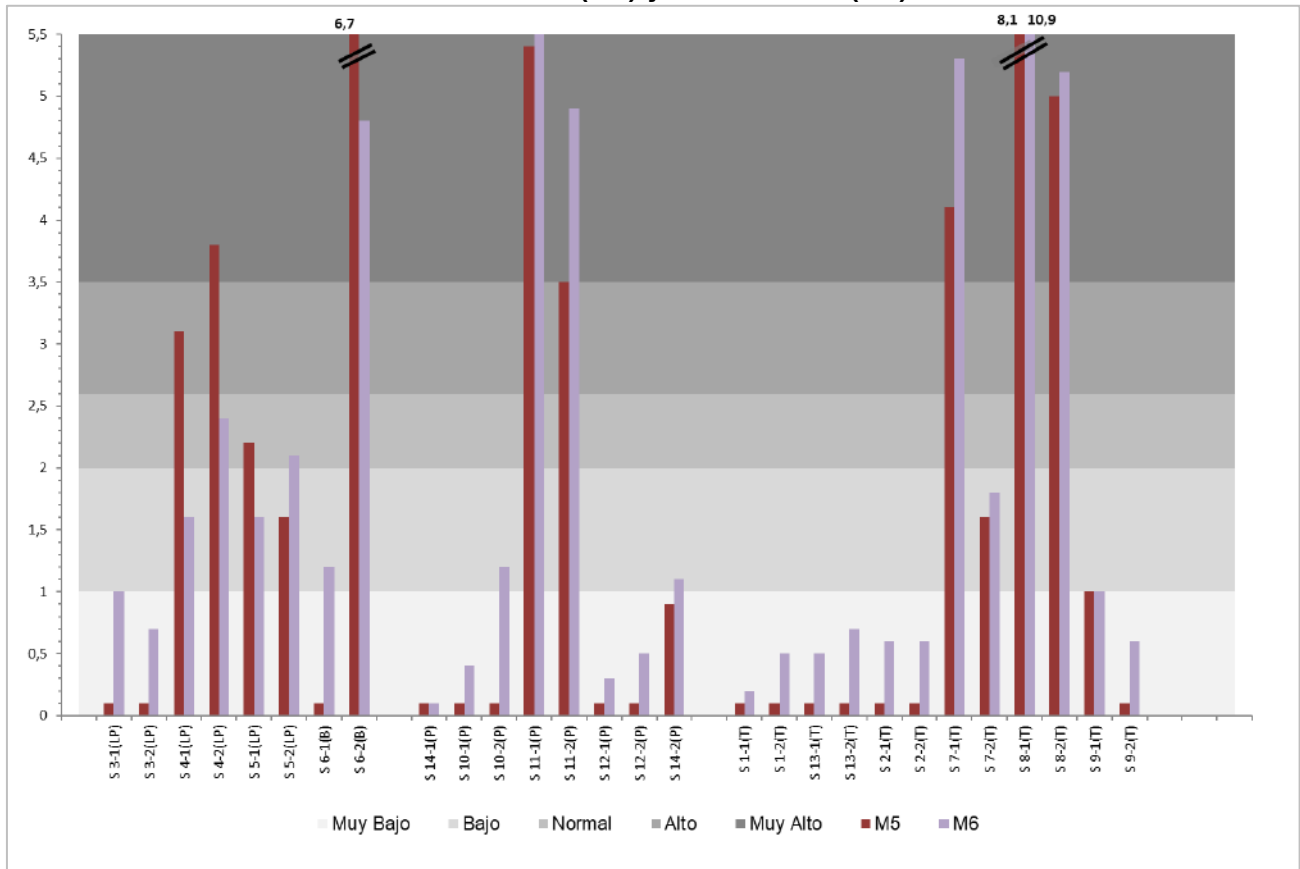
#### **12.4.1.2 Materia Orgánica**

En relación con la materia orgánica, para M5 se determinaron 16 puntos de muestreo donde ésta es **muy baja** ( $\leq 0,9\%$ ) disminuyendo a 12 en M6. La categoría **baja** (1,0 a 1,9%) de materia orgánica se presentó en 3 puntos en M5 aumentando a 8 en M6. Mientras que, la categoría **normal** (1,0 a 2,5%), se detectó en un punto para el monitoreo M5 aumentando a 2 en M6. Solo en M5 se determinó la categoría **alta** (2,6 a 3,5%) con un punto. La materia orgánica **muy alta**, se presentó en 6 puntos en M5 e igual número de muestreos en M6, ver **Figura N° 12-35**.

Basados en los resultados de laboratorio, se observa que el sector **La Punta La Brava**, es el único de los sectores evaluados en que la materia orgánica presenta una disminución de invierno 2018 a verano 2019 en algunos de sus puntos (S 6-2, S 5-1, S 4-1, S 4-2). En el

resto de los puntos del sector, el porcentaje de materia orgánica es mayor en M6 respecto a M5 (**Figura N° 12-35**).

**Figura N° 12-35: Resultados análisis laboratorio Materia orgánica (%). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**



Fuente: Elaboración Propia

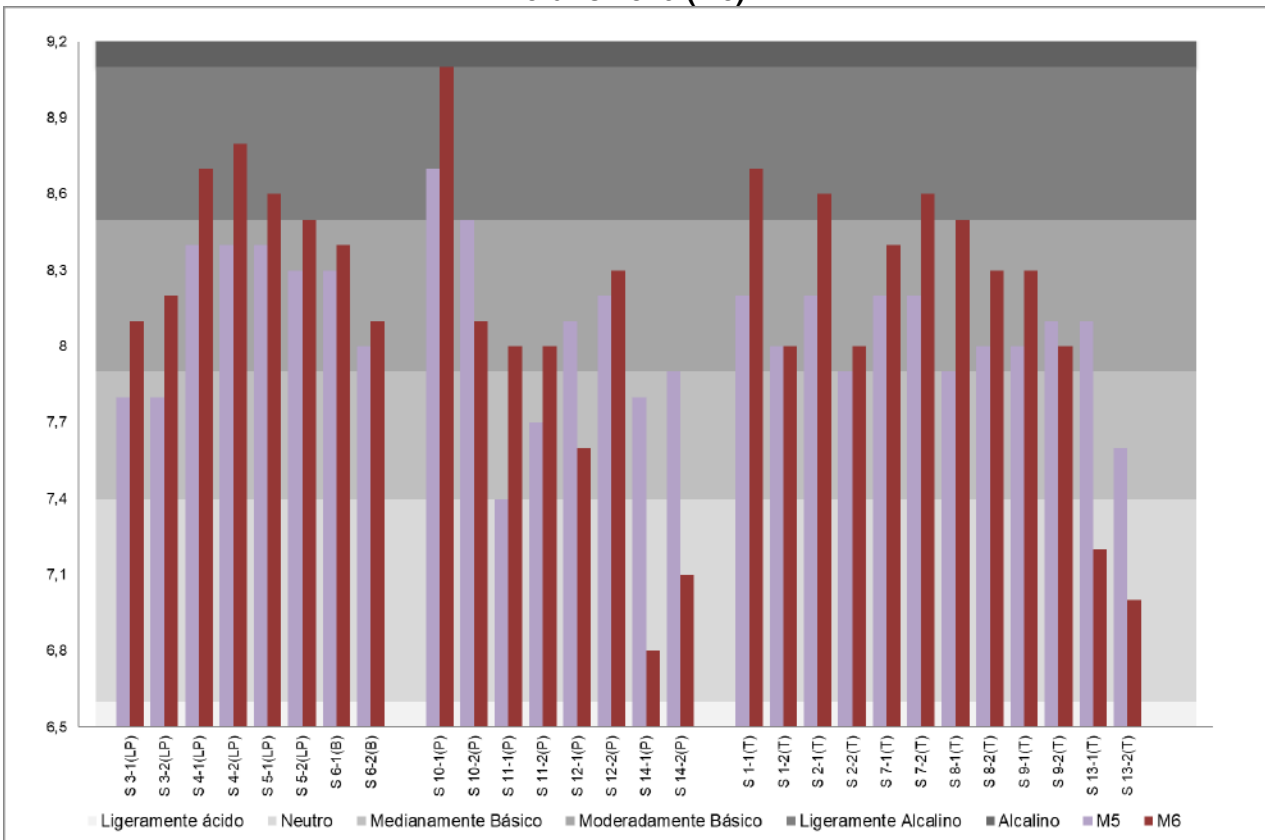
En **Peine**, se observa que la materia orgánica tiene menor participación en la mayoría de sus puntos (0,1 a 1,2 %). Sin embargo, en los puntos S11-1 y S 11-2, en sus dos horizontes de muestreo presenta valores elevados, alcanzando un peak en verano 2019 con 11,1%. Los valores **muy bajos** de materia orgánica se mantienen estables durante ambos monitoreos, sólo se aprecia un cambio de categoría en los puntos S10-2 y S14-2, los cuales aumentan a categoría **bajo** en M6.

En el sector de **Tilopozo**, se observa un aumento en la materia orgánica en la mayoría de los puntos de M6, excepto en S 9-1, donde es igual para ambas evaluaciones. En la mayoría de los puntos tanto en M5 como M6, la materia orgánica es **muy baja** para ambas épocas de muestreo, en dos puntos (S 9-1 y S 7-2) la categoría es **baja**, y en los restantes (S 7-1, S 8-1 y S 8-2) es **muy alta**.

**12.4.1.3 pH**

Tanto el pH **neutro** (6,6 - 7,3), como el **alcalino** (9,1 - 10,0), para los suelos del área de estudio se detectó en un reducido número de puntos, en el monitoreo M6 y no siendo determinado en M5. En cambio, el pH **medianamente básico** (7,4 - 7,8) se presentó en 6 puntos en M5 disminuyendo a uno en M6. Los suelos con un pH **moderadamente básico** (7,9 – 8,4), se presentan en 20 puntos en M5, disminuyendo a 14 en M6, y en 2 puntos en M5 el pH del suelo es **ligeramente alcalino**, muestreos que aumentan a 8 en M6, ver **Figura N° 12-36**.

**Figura N° 12-36: Resultados análisis laboratorio pH. Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**



Fuente: Elaboración Propia

En general el pH del suelo en M5 es menos alcalino que en M6, exceptuando los puntos S 13-1, S 13-2, S 14-1, S 14-2 y S9-2, donde este es más básico que el monitoreo anterior (**Figura N° 12-36**).

Para el sector de **La Punta-La Brava**, en la totalidad de los puntos de muestreo se observa un aumento del pH desde M5 a M6, donde suben de categoría la mayoría de los puntos



tanto los de superficie como de profundidad. Sólo los puntos de La Brava (S 6-1 y S 6-2) mantienen la categoría de **moderadamente básico** para ambos monitoreos.

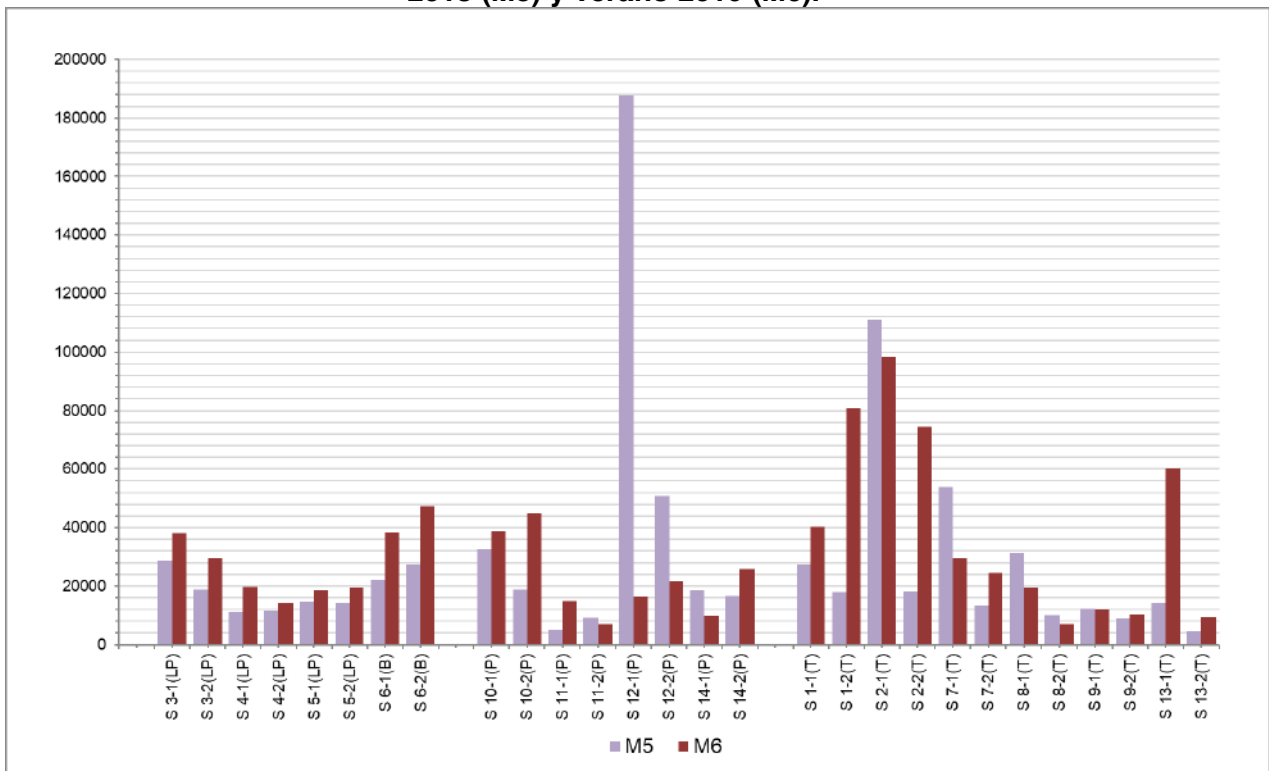
En **Peine**, en la mitad de sus puntos de muestreo (**Figura N° 12-36**), se observa un leve aumento en el pH para el monitoreo M6, en comparación a M5 (en la otra mitad una disminución), destacando el punto S10-1 en verano con un valor de 9,1, presentándose como el único en la categoría de **alcalino**. Sin embargo, las alzas o bajas son mínimas por ende los valores se mantienen relativamente estables.

En el sector de **Tilopozo**, la mayoría de los puntos aumenta su pH en M6, respecto a M5, y la mitad de los puntos de muestreo mantiene su misma categoría durante las dos temporadas (M5 y M6), siendo esta **moderadamente básico**, el resto de los puntos presenta variaciones mínimas, cambiando sólo en una categoría. Sin embargo, se destaca el punto S 13-1, donde su pH bajó de 8,1 (**moderadamente básico**) a 7,2 (**neutro**).

**12.4.1.4 Salinidad**

Para el área de estudio, en M5 el valor mínimo de sales solubles es **4.813** el cual aumenta a **6.915** mg/kg para M6, siendo la concentración máxima en M5 de **187.805** mg/kg, la cual disminuye a **98.162** mg/kg. en M6 (**Figura N° 12-37**).

**Figura N° 12-37: Resultados análisis laboratorio Salinidad (mg/kg). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**



Fuente: Elaboración Propia

En general, para el área de estudio se observa un aumento en la concentración de sales solubles en M6, excepto en algunos puntos (**Figura N° 12-37**), exclusivamente en los sectores de Peine y Tilopozo, lo cual es un comportamiento normal en los suelos, dado que corresponde a la época de mayor evapotranspiración.

En el sector de **La Punta-La Brava**, se aprecia en la totalidad de los puntos un aumento en la concentración de sales solubles para M6 respecto a M5, aumento que varía entre **2.797** y **20.115** mg/kg, manteniéndose mayores valores de concentración de sales en el sector de La Brava.

En el sector de **Peine**, en la mitad de los puntos (S 10-2, S 11-1, S 14-2 y S 10-1) se observa un incremento en la concentración de sales solubles en M6 respecto a M5, la cual varía entre **6.266** a **26.057** mg/kg., y en los restantes puntos, se determina una disminución de la concentración en M6 respecto a M5, variación que fluctúa entre **2.403** y **171.642** mg/kg. Destaca en este sector el punto S 12-1 (M5) el cual presenta el mayor valor para el área de estudio y que cae abruptamente en el monitoreo de verano 2019.

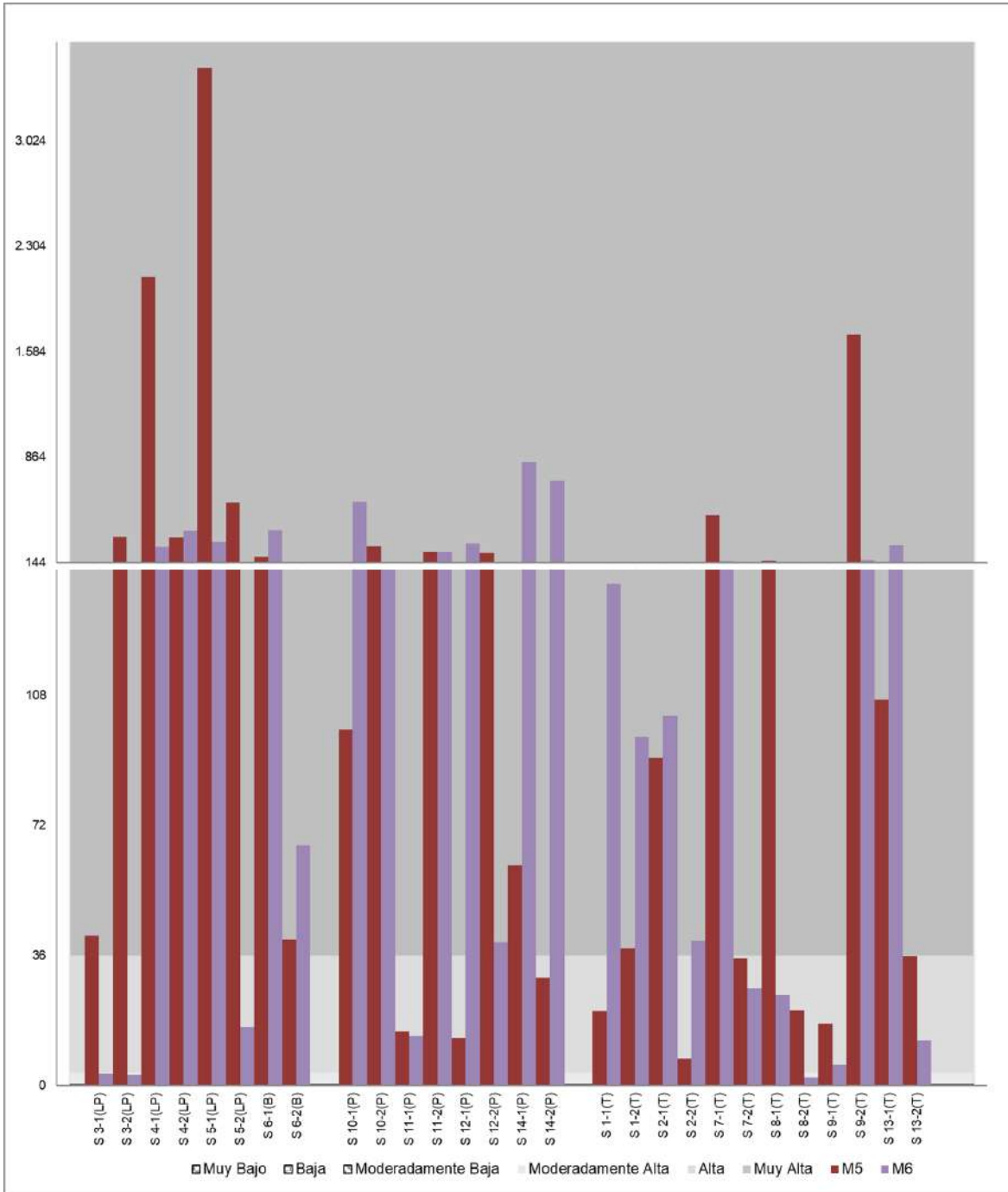
Para el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos (S 1-1, S 1-2, S 2-2, S 7-2, S 9-2, S 13-1 y S 13-2), la concentración de sales solubles aumenta en M6 en comparación a M5, donde la variación es entre **1.253** y **12.899** mg/kg. En cambio, en los restantes, la concentración de sales presenta una disminución en M6 respecto a M5, variando entre **266** y **24.325** mg/kg.

#### 12.4.1.5 **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad**

En relación con la conductividad hidráulica (permeabilidad) de los suelos del área de estudio, para el monitoreo M5, se determinó que en la mayoría de los puntos (19) ésta es **muy alta** ( $\geq 36$ ), y en los restantes es **alta** ( $3,6 \leq 36$  cm/h.). Mientras que, en M6 los puntos con velocidad **muy alta** es igual a M5, en cambio, aquellos cuya velocidad es **alta** disminuyen a 6 y en los restantes (3) la velocidad de infiltración es **moderadamente alta** ( $0,360 \leq 3,6$ ), aun cuando los puntos donde se presentan estas velocidades, no corresponden a los mismos (**Figura N° 12-38**).

En relación a la conductividad hidráulica o permeabilidad, para el área de estudio, el cambio en categoría de permeabilidad se presenta en 9 puntos (aumento o disminución) en M6 respecto a M5, esto dado las características disímiles de los suelos en los puntos muestreado. Sin embargo, la variación numérica se produce en la totalidad de los puntos, lo cual es normal dado los cambios en el suelo, entre un punto y otro, como también en el perfil, no implicando una intervención antrópica.

**Figura N° 12-38: Resultados análisis laboratorio Conductividad Hidráulica (cm/hr).  
 Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**



Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **La Punta-La Brava**, en algunos puntos (S 4-2, S 6-1 y S 6-2), la velocidad de infiltración aumenta en M6 respecto a M5, manteniéndose la categoría **muy alta** para ambos monitoreos. En los restantes puntos, la velocidad de infiltración disminuye en M6 en comparación a M5, siendo **muy alta** para todos los puntos en M5, disminuyendo en M6 a **moderadamente alta** (S 3-1 y S 3-2), a **alta** en S 5-2 y manteniendo la categoría en S 4-1 y S 5-1, ver **Figura N° 12-38**.

En la mayoría de los puntos del sector de **Peine (Figura N° 12-38)**, la velocidad de infiltración del agua es mayor en M6 respecto a M5, de estos, en los puntos S 12-1 y S 14-2, la permeabilidad aumenta de **alta** a **muy alta**, y en algunos puntos (S 10-1, S 11-2 y S 14-1) no hay variación en la categoría (**muy alta**). En cambio, en los restantes puntos del sector (S 11-1, S 10-2 y S 12-2), la velocidad de infiltración del agua disminuye en M6, sin embargo, se mantienen las categorías para ambos monitoreos.

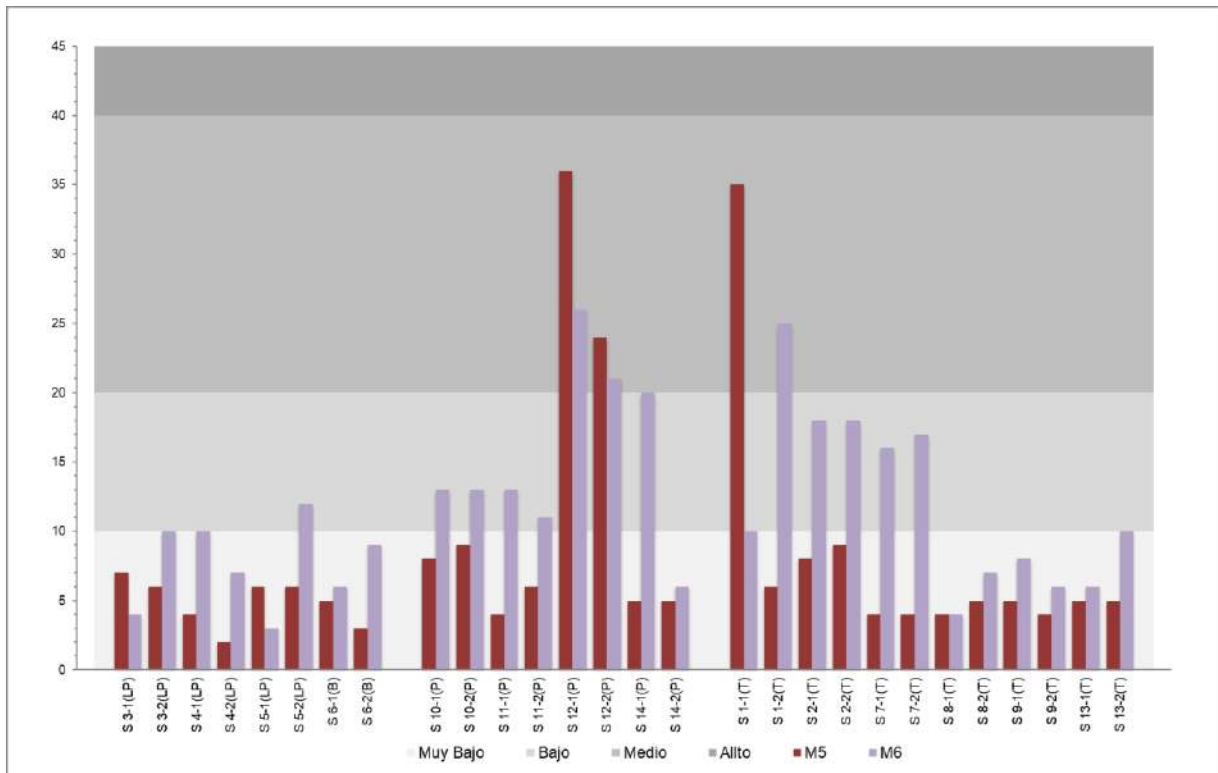
En el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos de muestreo, la velocidad de infiltración disminuye en M6 respecto a M5, siendo alta para M5 en los puntos S 7-2, S 9-1, S 13-2 y S 8-2, manteniendo la categoría en los primeros 3 y disminuyendo a **moderadamente alta** en el último. En cambio, en los puntos S 8-1, S 7-1 y S 9-2, la permeabilidad en M5 es **muy alta**, en M6 disminuye a **alta** en el primero y se mantiene en los 2 últimos. En los restantes puntos la velocidad de infiltración aumenta en M6 respecto a M5. Una permeabilidad **alta** se presenta en S 1-1 y S 2-2, la cual aumenta a **muy alta** en M6, mientras en los puntos S 1-2, S 2-1 y S 13-1, la categoría muy alta permanece constante en ambos monitoreos (**Figura N° 12-38**).

#### **12.4.1.6 Nutrientes**

##### a) Nitrógeno

En lo que respecta al nitrógeno disponible para el área de estudio, durante el monitoreo M5 en 25 puntos éste es **muy bajo**, categoría que disminuye a 15 en M6. La categoría **baja**, se determinó en 10 puntos sólo para M6, y el nitrógeno disponible **medio**, se presentó en 3 puntos para ambos monitoreos (**Figura N° 12-39**).

**Figura N° 12-39: Resultados análisis laboratorio Nitrógeno disponible (mg/kg).  
Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**



Fuente: Elaboración Propia

En general, el nitrógeno disponible presenta un aumento numérico considerable en el Monitoreo M6 (verano 2019), respecto a M5, excepto en algunos los puntos (S 1-1, S 8-1, S 12-1, S 12-2, S 3-1 y S 5-1), ver **Figura N° 12-39**, esto corresponde al comportamiento normal de este macroelemento en el suelo, relacionado con la época de mayor disponibilidad por condiciones ambientales.

En el sector de **La Punta-La Brava**, se observa que en la mayoría de los puntos de muestreo aumenta la concentración de nitrógeno en M6 respecto a M5 (**Figura N° 12-39**). Sin embargo, la concentración de este elemento se mantiene dentro de la misma categoría en el sector, siendo **muy bajo**, excepto en el punto S 5-2 en La Punta, donde el aumento es desde **muy bajo** a **bajo**.

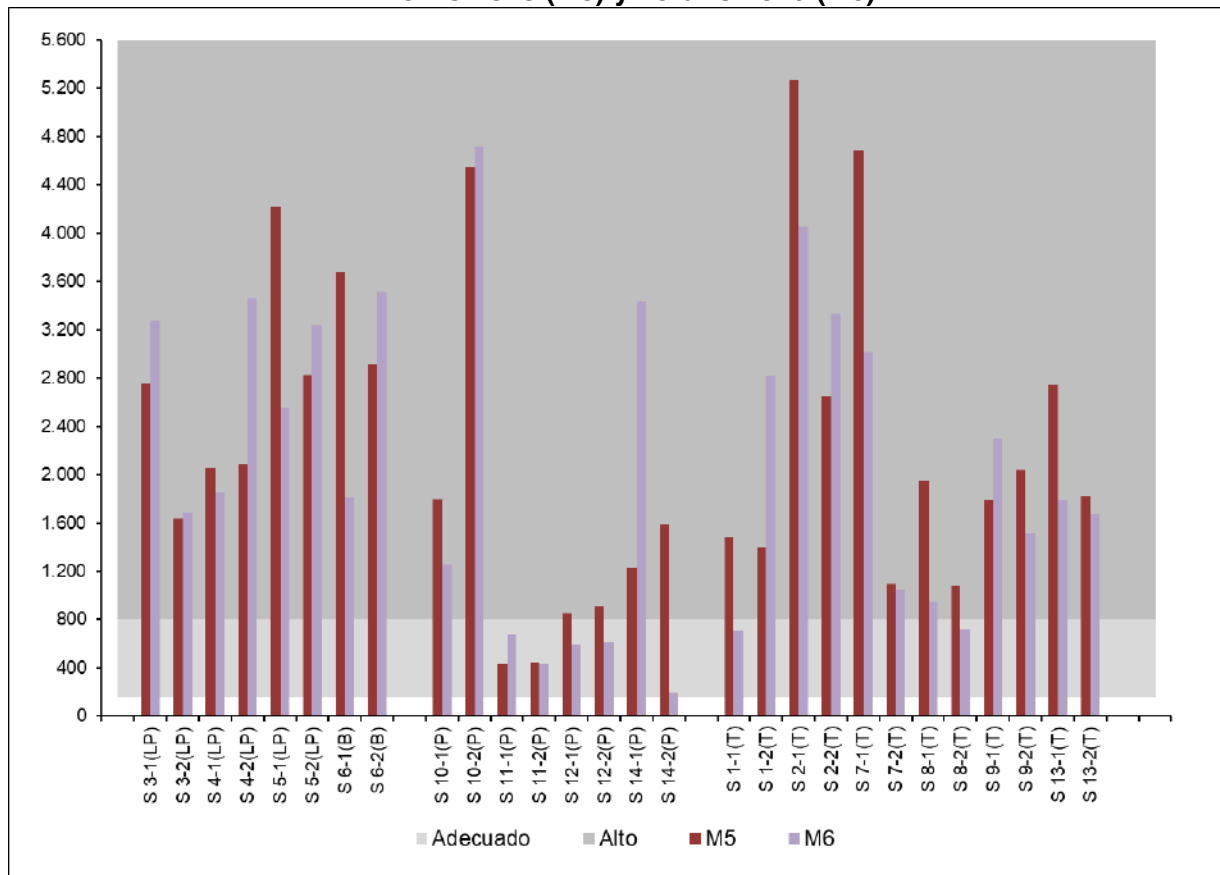
En **Peine** se observa el mismo comportamiento que en La Punta-La Brava, donde la mayoría de los puntos presentan mayor disponibilidad de nitrógeno en verano respecto a invierno, aumentando de **muy bajo** a **bajo** en la mayoría de los puntos. Sólo dos puntos del sector disminuyen la concentración de nitrógeno en M6 con respecto a M5, sin embargo, se mantienen en la categoría **media**.

Para el sector de **Tilopozo**, también se observa un aumento de la concentración de nitrógeno disponible (10 puntos) en M6 respecto a M5, sólo subiendo de categoría en la mitad de estos. Destaca el punto S 8-1, el cual presenta la misma concentración en ambos monitoreos, y sólo el punto S1-1, cambia de la categoría **medio** a **muy bajo**.

b) Potasio

En relación con el potasio disponible, se determinó que para M5 en los puntos S 11-1 y S 11-2 éste es **adecuado**, manteniendo la categoría para M6. Los restantes puntos de muestreo en M5, presentan la categoría **alta** de potasio, y en M6 ésta disminuye a **adecuada** en la mayoría de los puntos y en los restante mantiene la categoría (**Figura N° 12-40**).

**Figura N° 12-40: Resultados análisis laboratorio Potasio disponible (mg/kg). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**



Fuente: Elaboración Propia

Respecto a este macroelemento, se observa una disminución en la concentración en M6, respecto a M5 en 17 puntos (entre **15** a **1.871,2** mg/kg), y en los restantes puntos se observa un aumento (**46,6** a **2.205,5** mg/kg), ver **Figura N° 12-40**.

Este comportamiento es esperable, considerando la heterogeneidad de los materiales parentales y la disponibilidad de este elemento en los suelos chilenos, del cual se indica que no es un nutriente limitante para el desarrollo de los cultivos.

Para el sector de **La Punta-La Brava**, en la mayoría de los puntos para M6 se observa un aumento en la concentración respecto a M5, bajando en los restantes. Sin embargo, el potasio en ambas evaluaciones mantiene la categoría **alta**.

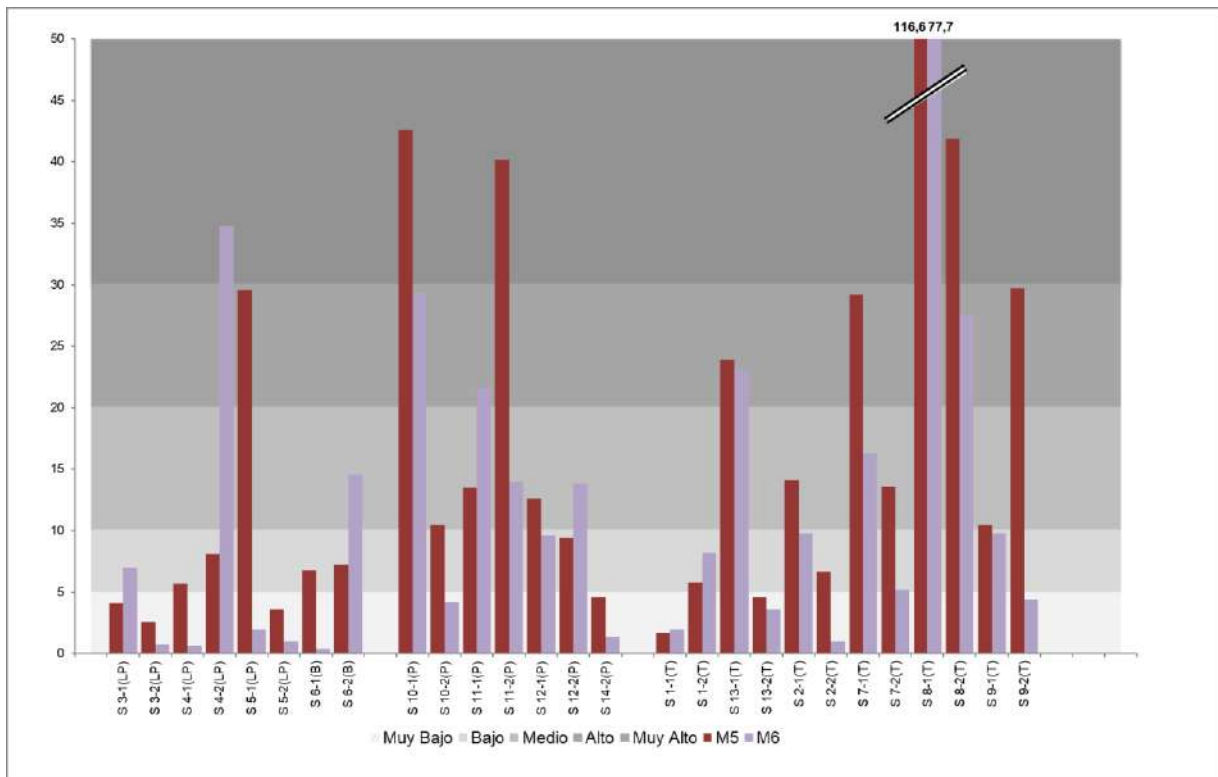
En el sector de **Peine**, en sólo 3 puntos la concentración de potasio aumenta en M6 respecto a M5, siendo éste un aumento leve y manteniendo la categoría de disponibilidad **alta**. En cambio, en los restantes puntos, el potasio disminuye en M6 en comparación a M5, y en 3 de ellos baja la categoría de **alta a adecuada (Figura N° 12-40)**.

En **Tilopozo**, para M6 la mayoría de los puntos de muestreo presenta una disminución en la concentración de potasio siendo este leve, cambiando sólo en dos puntos (S1-1 y S8-2) de categoría **alta a adecuada**.

c) Fósforo

En relación al fósforo la categoría **muy baja** ( $\leq 5,0$  mg/kg) se determinó en 6 puntos de muestreo para M5, aumentando a 12 en M6, mientras que la concentración **baja** (5,1 a 10 mg/kg.) de fósforo se presentó en 8 puntos de muestreo para M5, disminuyendo a 6 en M6. La categoría **media** (10,1 a 20 mg/kg) se determinó para 6 puntos en M5, la cual disminuye a 4 en M6 (**Figura N° 12-41**). En cambio, la categoría **alta** (20,1 a 30 mg/kg) tanto en M5 como M6 se presentó en 4 puntos. Por último en la categoría **muy alta** ( $\geq 30,1$  mg/kg) se encuentran 4 puntos en M5 y 2 en M6.

**Figura N° 12-41: Resultados análisis laboratorio Fósforo disponible (mg/kg). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**



Fuente: Elaboración Propia

En general para los tres sectores, los valores de fósforo disponible son inferiores en 7 puntos en M5 (S 1-1, S 3-1, S 1-2, S 12-2, S 6-2, S 4-2 y S 11-1), respecto a M6, y en los restantes se observa un mayor concentración de fósforo en M5 (**Figura N° 12-41**), esto implica que hubo un descenso en el fósforo disponible en el monitoreo de verano 2019 (M6).

En **La Punta-La Brava**, en 3 puntos se observa un aumento en la concentración de fósforo en M6 respecto a M5, destacando el punto S 4-2 que presenta un aumento considerable respecto a los otros. En los restantes puntos del sector (5), el fósforo disminuye en M6 en comparación a M5, siendo estas variaciones menores, sin embargo destaca el punto S 5-1, donde el fósforo baja de **alto a muy bajo**.

En el sector de **Peine**, sólo en 2 puntos la concentración de fósforo aumenta en M6 respecto a M5, en S 11-1 de **medio** aumenta a **alto** y en S 12-2 de **bajo** aumenta a **medio** (**Figura N° 12-41**). En el resto de los puntos (6) de este sector, el fósforo disminuye en M6 en comparación a los resultados obtenidos para M5, sin embargo las variaciones son menores; excepto en el punto S11-2 que disminuye de **muy alto a medio**.

En **Tilopozo**, un bajo número de puntos (2) aumentan la concentración de fósforo en M6 respecto a M5, sin modificar la categoría para ambos monitoreos. En el resto de los puntos

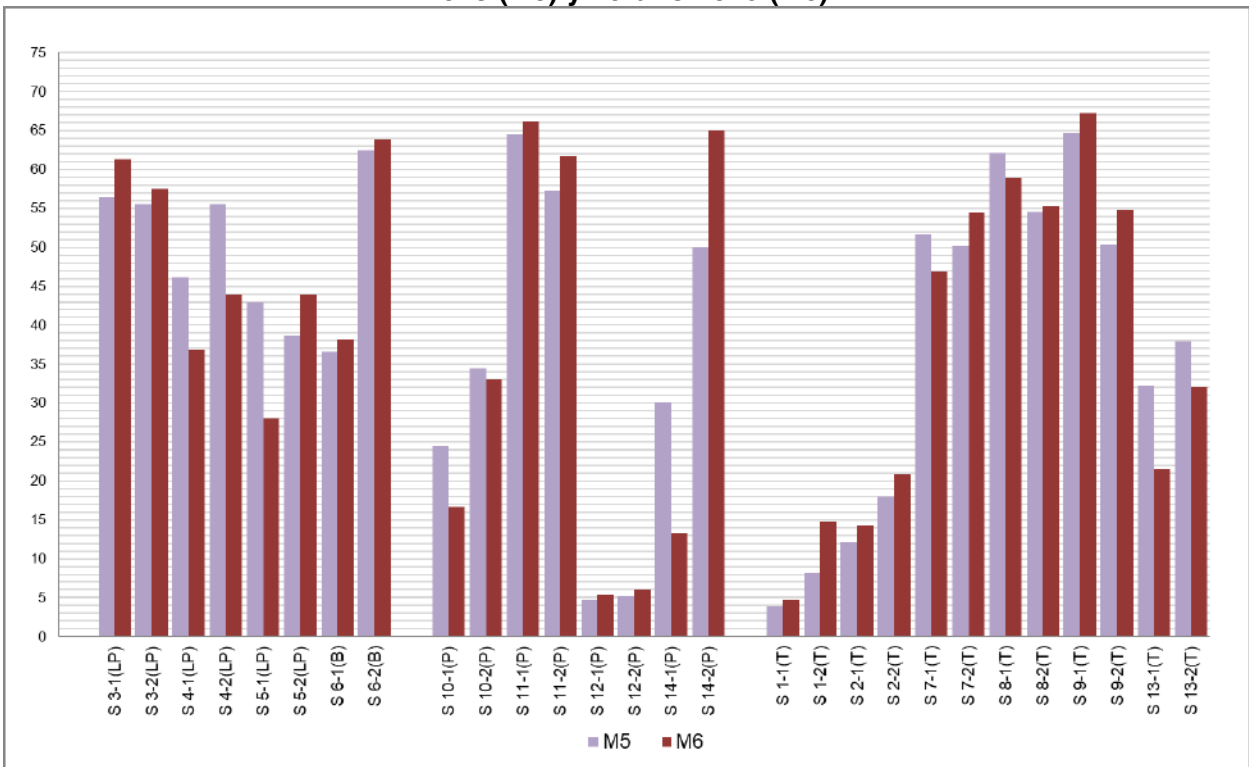


(10), el fósforo disponible disminuye en M6 respecto a M5, de estos en 4 puntos se mantiene la categoría y en la mayoría de los puntos restantes el descenso es hacia la categoría inferior, excepto el punto S 9-2 donde de una disponibilidad **alta** desciende a **muy baja**.

**12.4.1.7 Humedad**

Para el área de estudio, el menor porcentaje de humedad se presentó en S 1-1 (VT6-Tilopozo) para ambos monitoreos, al igual que el máximo determinado en el punto S 9-1 (VT3-Tilopozo), valores que fluctúan entre 3,9 a 64,7% para M5 y entre 4,7 a 67,2% para M6 (Figura N° 12-42).

**Figura N° 12-42: Resultados análisis de laboratorio Humedad (%). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**



Fuente: Elaboración Propia

La variación de los porcentajes humedad entre los puntos al comparar M5 con M6 (Figura N° 12-42) es inferior a 5% en 18 puntos de muestreo, en el rango de 5 a 10% ocurre en 5 puntos, y superior a 10 pero inferior a 20% en los restantes (5), por lo que se mantiene una estabilidad respecto a los valores de humedad de los puntos en ambas estaciones de monitoreo, excepto los puntos S 13-1, S 4-2, S 14-2, S 5-1 y S 14-1, donde ésta es la más amplia.

En el sector de **La Punta-La Brava**, en 5 puntos de muestreo el porcentaje de humedad aumenta en M6 en comparación a M5, cuya variación se encuentra entre un 2,0 y 5,3%, y en 3 puntos ésta disminuye en M6, fluctuación entre 9,4 y 15,0%, ver **Figura N° 12-42**.

En **Peine**, en 5 puntos la humedad aumenta en M6 respecto a M5, variación en el rango entre 0,7 y 14,9%. En cambio, en 3 puntos el porcentaje de humedad disminuye en M6, correspondiendo a una variación entre 1,5 a 16,8%, ver **Figura N° 12-42**.

En **Tilopozo (Figura N° 12-42)** en 8 puntos de muestreo, la humedad aumenta en M6 en comparación a M5, en estos la variación es entre 0,8 y 6,5%, y en 4 ésta disminuye en M6 respecto a M5, siendo los puntos el rango de variación entre 3,2 a 10,7%.

#### 12.4.1.8 Textura

Para los suelos del área de estudio se determinaron 8 clases texturales, tanto para M5 como M6.

Para el Monitoreo M5, las clases texturales corresponden a **arcillosa** (muy fina) **franco limosa** (fina), **franco arcillosa** y **franco arcillo arenosa** (moderadamente finas), **franca**, **limosa** (media), **franco arenosa** y **Areno francosa** (gruesas), ver **Tabla N° 12-39**, siendo dominantes las *texturas franco arenosa, franca y areno francosa*, las menos frecuentes corresponden a las *texturas arcillosa, limosa y franco arcillo arenosa*.

En cambio, para M6 las texturas presentes corresponden a **arcillosa** (muy fina), **areno francosa** (gruesas), **arenosa** (muy gruesa), **franca** (media), **franco arcillosa** (moderadamente fina), **franco arcillo arenosa** (moderadamente fina), **franco arenosa** (gruesa) y **franco limosa** (media), para este monitoreo las texturas de mayor frecuencia son *franco arenosa, franco limosa y areno francosa* y las de menor participación *arenosa, franco arcillosa y franco arcillo limosa* (**Tabla N° 12-39**).

**Tabla N° 12-39: Resultados análisis de laboratorio textura. Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**

Punto de muestreo	Monitoreo		Sector
	M5	M6	
S 6-2	Franca	Franco Arenosa	La Brava
S 6-1	Franco Arenosa	Franco Arenosa	La Brava
S 5-1	Areno francosa	Areno francosa	La Punta
S 3-1	Franca	Franca	La Punta
S 3-2	Franca	Franco Arenosa	La Punta
S 4-1	Franco Arenosa	Franco Arenosa	La Punta
S 4-2	Franco Arenosa	Franco Arenosa	La Punta
S 5-2	Franco Arenosa	Franco Arenosa	La Punta
S 11-2	Arcillosa	Arcillosa	Peine
S 10-2	Limosa	Arcillosa	Peine
S 12-1	Franco Arenosa	Areno francosa	Peine
S 12-2	Franco Arenosa	Areno francosa	Peine
S 14-1	Areno francosa	Arenosa	Peine

Punto de muestreo	Monitoreo		Sector
	M5	M6	
S 14-2	Franco arcillo arenosa	Franco Arenosa	Peine
S 10-1	Franco Arenosa	Franco Arenosa	Peine
S 11-1	Franca arcillosa	Franco limosa	Peine
S 1-1	Areno francosa	Areno francosa	Tilopozo
S 7-1	Franca	Franca	Tilopozo
S 9-2	Franca	Franca	Tilopozo
S 1-2	Areno francosa	Franco arcillo arenosa	Tilopozo
S 8-2	Franca arcillosa	Franca arcillosa	Tilopozo
S 2-1	Franco Arenosa	Franco Arenosa	Tilopozo
S 13-1	Franco limosa	Franco Arenosa	Tilopozo
S 13-2	Franca	Franco limosa	Tilopozo
S 2-2	Franca	Franco limosa	Tilopozo
S 8-1	Franca	Franco limosa	Tilopozo
S 7-2	Franco limosa	Franco limosa	Tilopozo
S 9-1	Franco limosa	Franco limosa	Tilopozo

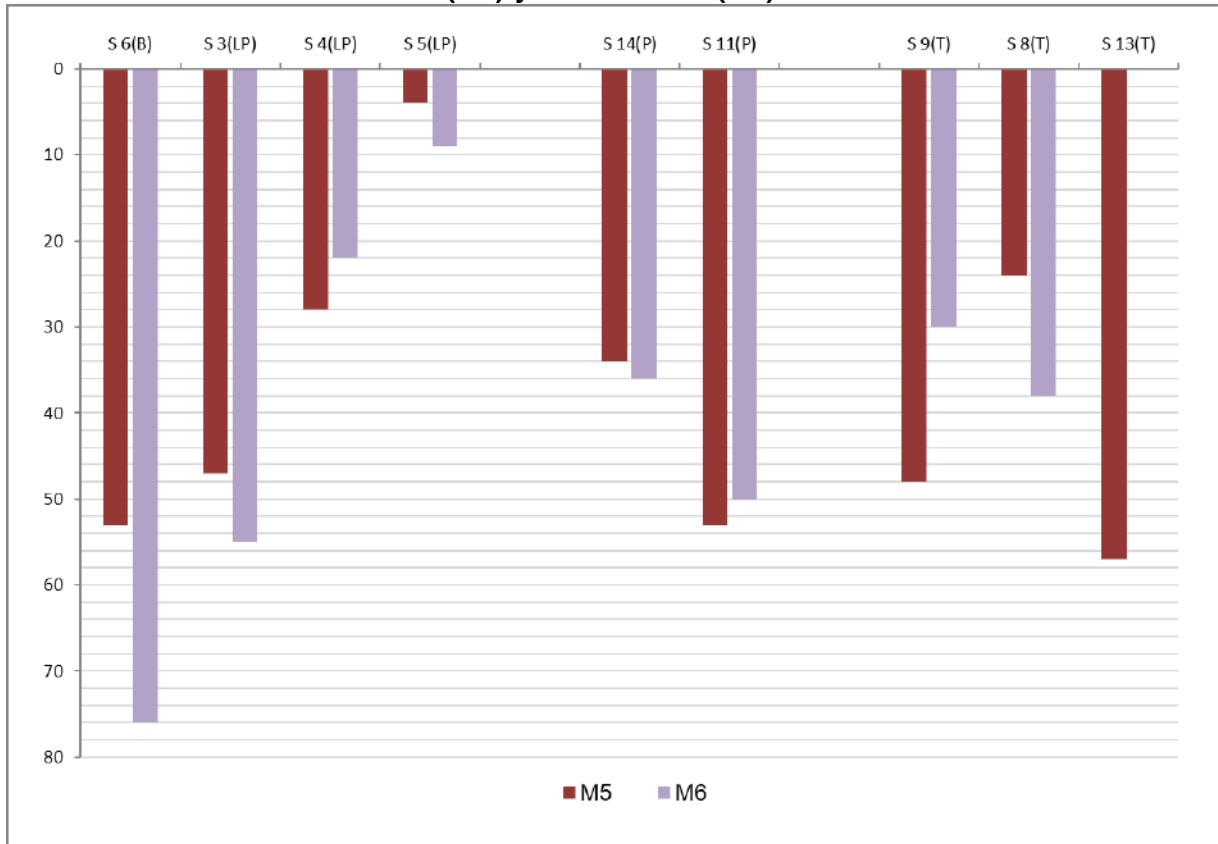
Fuente: Elaboración Propia

Respecto a los cambios en la textura de los suelos, para los mismos puntos entre ambos monitoreos, se debe principalmente a la heterogeneidad de los materiales que originan los suelos del área de estudio, dado que corresponde principalmente a un sustrato heterogéneo proveniente de aportes de material del entorno del salar y que ha sido movilizado hacia el interior de la cuenca tanto por el viento como por el agua.

#### 12.4.1.9 Nivel freático

Para el área de estudio, se detectó nivel freático a profundidad de trabajo en 9 puntos durante el monitoreo M5 y en 8 muestreos para M6 (**Figura N° 12-43**) equivalente a un 64,3 y 57,1%, respectivamente, respecto al total de puntos de muestreos (14).

Del total de puntos detectados en M5, sólo el muestreo realizado en S 13, no fue observado durante M6, de los restantes puntos, el nivel freático se presentó más superficial en M5, respecto a M6, excepto en los puntos S 4, S 11 y S 9, donde éste se presenta a mayor profundidad en M5 (**Figura N° 12-43**).

**Figura N° 12-43: Resultados profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreo Invierno 2018 (M5) y verano 2019 (M6).**

Fuente: Elaboración Propia

En la totalidad de los puntos de muestreo definidos para el sector de **La Punta-La Brava**, se observó nivel freático a profundidad de trabajo. De estos en 3 (S 6, S 5, S 3), el agua se detectó a mayor profundidad en M6, respecto a M5 y sólo en S 4 el nivel se presentó más superficial en M6.

En el sector de **Peine**, sólo en 2 calicatas se observó nivel freático a profundidad de trabajo (S 14 y S 11). En el primero el agua se presentó a mayor profundidad en M6 respecto a M5 y en el segundo el agua se detectó a menor profundidad en M6.

En los puntos de muestreo en el sector de **Tilopozo**, en 3 de estos se detectó nivel freático a profundidad de trabajo (S 8, S 9 y S 13). De estos sólo en S 8 el agua se presentó a mayor profundidad en M6 respecto a M5, en S 9 ésta se encontró a menor profundidad en M6 y en S 13 no se detectó agua a profundidad de trabajo en M6.

Respecto a este parámetro, es necesario indicar que el efecto de las lluvias en esta componente no es significativo, esto considerando que el alto volumen de agua caída previo a la campaña de verano 2019, no se refleja en la profundidad del nivel freático, por cuanto en 5 calicatas éste se presentó a mayor profundidad y en uno no se detectó.

Esto debido fundamentalmente a que las precipitaciones estivales del 2019 ocurrieron en un corto tiempo, lo cual no permite que el agua infiltre en profundidad, donde por el contrario se tiene un gran volumen de agua que escurre hacia el centro del salar. También es necesario considerar que, los perfiles se saturan superficialmente, lo que determina que gran parte del volumen agua no infiltre, y, por lo tanto, escurre en superficie hacia el centro de la cuenca.

#### **12.4.2 Análisis comparativo campañas periodos 2016 - 2017 – 2018 - 2019**

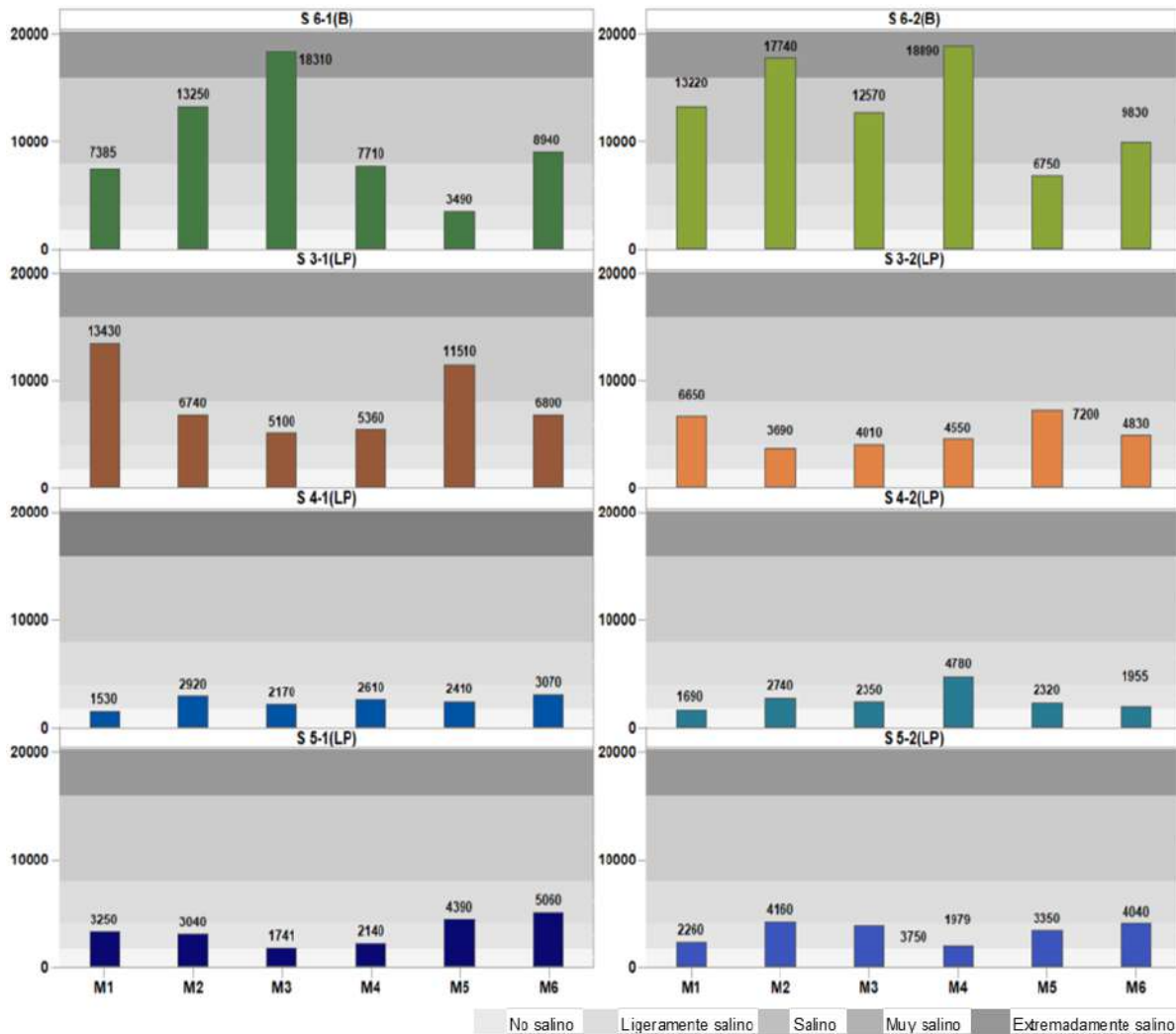
Los valores detallados de cada variable a lo largo de los monitoreos (M1, M2, M3, M4, M5 y M6) se presentan en el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**. A continuación se hace un análisis de la evolución de todos los monitoreos que se han realizado a la fecha del PMB por cada una de las variables de la componente Suelo, utilizando como punto de inicio el monitoreo realizado en el invierno del 2016 (M1), por cuanto no existe línea de base para esta componente.

##### **12.4.2.1 Conductividad Eléctrica**

En el sector **La Punta-La Brava**, en general en los monitoreos estivales (M2, M4 y M6) se observa un leve aumento en conductividad eléctrica respecto a los invernales (M1, M3 y M5), sin que esto implique necesariamente un cambio en la categoría, ver **Figura N° 12-44**.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-44**, destaca en este sector el punto S 6-1, el cual presenta un aumento sostenido de la conductividad hasta M3, descendiendo en los 2 monitoreos siguientes y llegando en M6 a los niveles de M1. Otro punto por destacar es S 6-2, el cual siendo uno de los más altos en conductividad eléctrica presenta una alternancia de valores entre monitoreos, es decir valores altos en los monitoreos estivales y menores en los invernales.

**Figura N° 12-44: Resultados C.E ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava.**



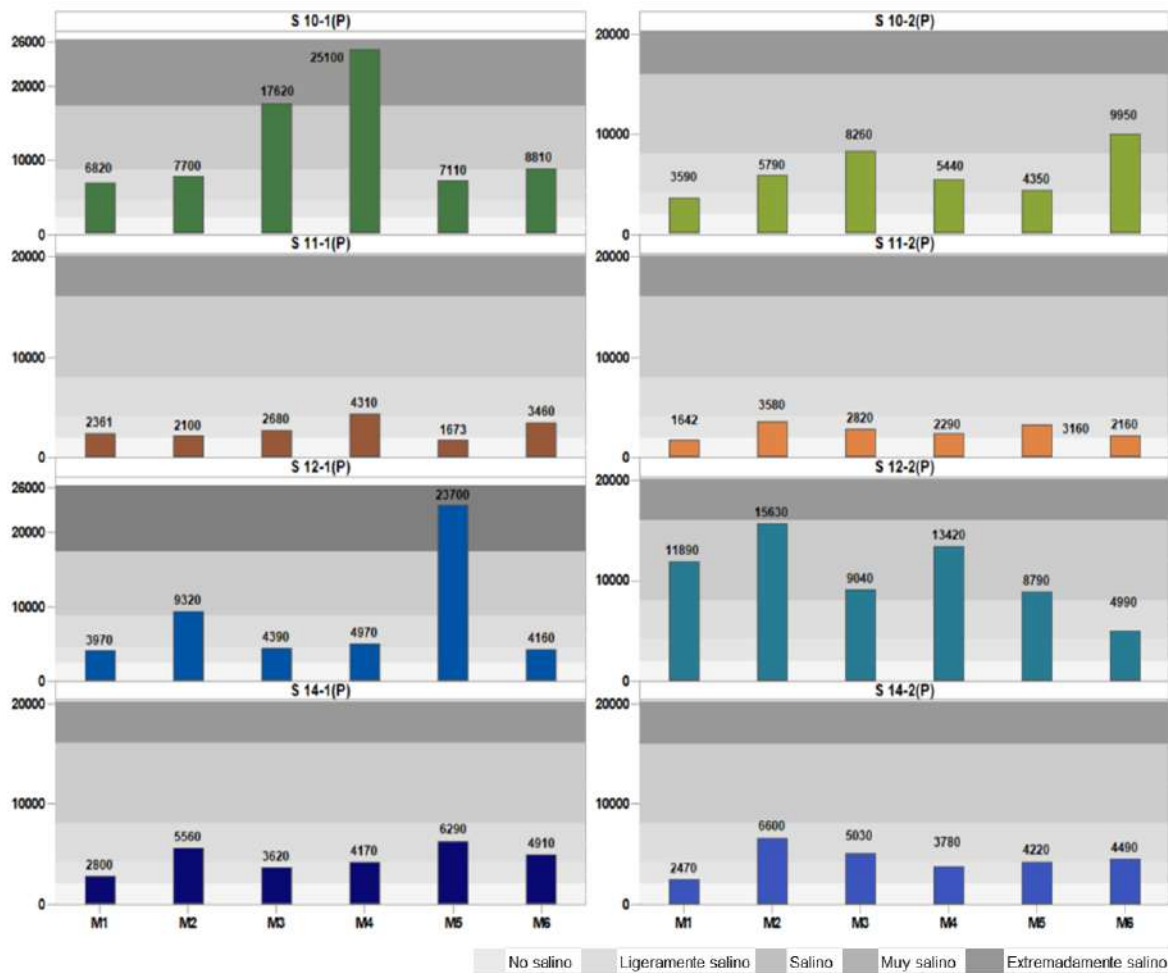
Fuente: elaboración propia

En este sector, el punto S 3 (S 3-1 y S 3-2) presenta alta conductividad eléctrica en M1 y M5, siendo inferior, pero similar, en los restantes monitoreos. Los otros puntos para los diferentes monitoreos, en general, se mantienen relativamente estables, y los suelos son en su mayoría **ligeramente salino** y **salino**, ver **Figura N° 12-44**.

En general, en el sector de **La Punta-La Brava**, el comportamiento estacional de este parámetro es el normal, considerando la movilidad de las sales en el perfil en el periodo estival, siendo esta la época del año de mayor evapotranspiración, por lo tanto, existe un mayor movimiento de sales hacia la superficie. En relación a los puntos y la variación de la conductividad entre monitoreos, ésta puede aumentar o disminuir, y cuando ocurre, en la mayoría de los puntos, el cambio involucra a lo menos dos categorías.

En el sector de **Peine**, en la mayoría de los puntos se observa un aumento en la conductividad eléctrica a partir de M2, siendo M1, donde ésta es la más baja para todos los puntos, excepto para S 12-2. No se observa una diferencia estacional significativa en el sector (**Figura N° 12-45**).

**Figura N° 12-45: Resultados C.E. ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia

En este sector destaca el punto S 12-2, el cual en la mayoría de los monitoreos es el de más alta conductividad. También se debe mencionar el punto S 10-1 con una alta conductividad en M3 y M4, al igual que S 12-1 en M5, ver **Figura N° 12-45**.

Para este sector, no se observa una marcada estacionalidad en términos de la conductividad eléctrica, es decir, diferencias significativas entre invierno y verano.

Este sector se caracteriza además por presentar variaciones numéricas entre puntos de muestreo, para los diferentes monitoreos y que en algunos caso implica un cambio en la categoría de salinidad de los suelos, la cual puede aumentar o disminuir y que en general

puede ser hacia la categoría superior o inferior, pero no más de una de ellas, excepto los puntos S 10-1 que de **extremadamente salino** en M4 baja a **salino** en M5 y luego en M6 aumenta a **muy salino**, y S 12-1 el cual en M5 es **extremadamente salino** disminuyendo a **salino** en M6 (**Figura N° 12-45**).

Al respecto se puede señalar que los suelos del sector de **Peine**, a pesar de las variaciones tanto numéricas como en categorías de salinidad, las cuales son normales en estos tipos de suelos –debido a la alta heterogeneidad de los materiales que los originan- no son atribuibles a actividades antrópicas.

En el sector de **Tilopozo**, y tal como se aprecia en la **Figura N° 12-46**, no existe una diferencia significativa en los resultados para los monitoreos invernales y estivales.

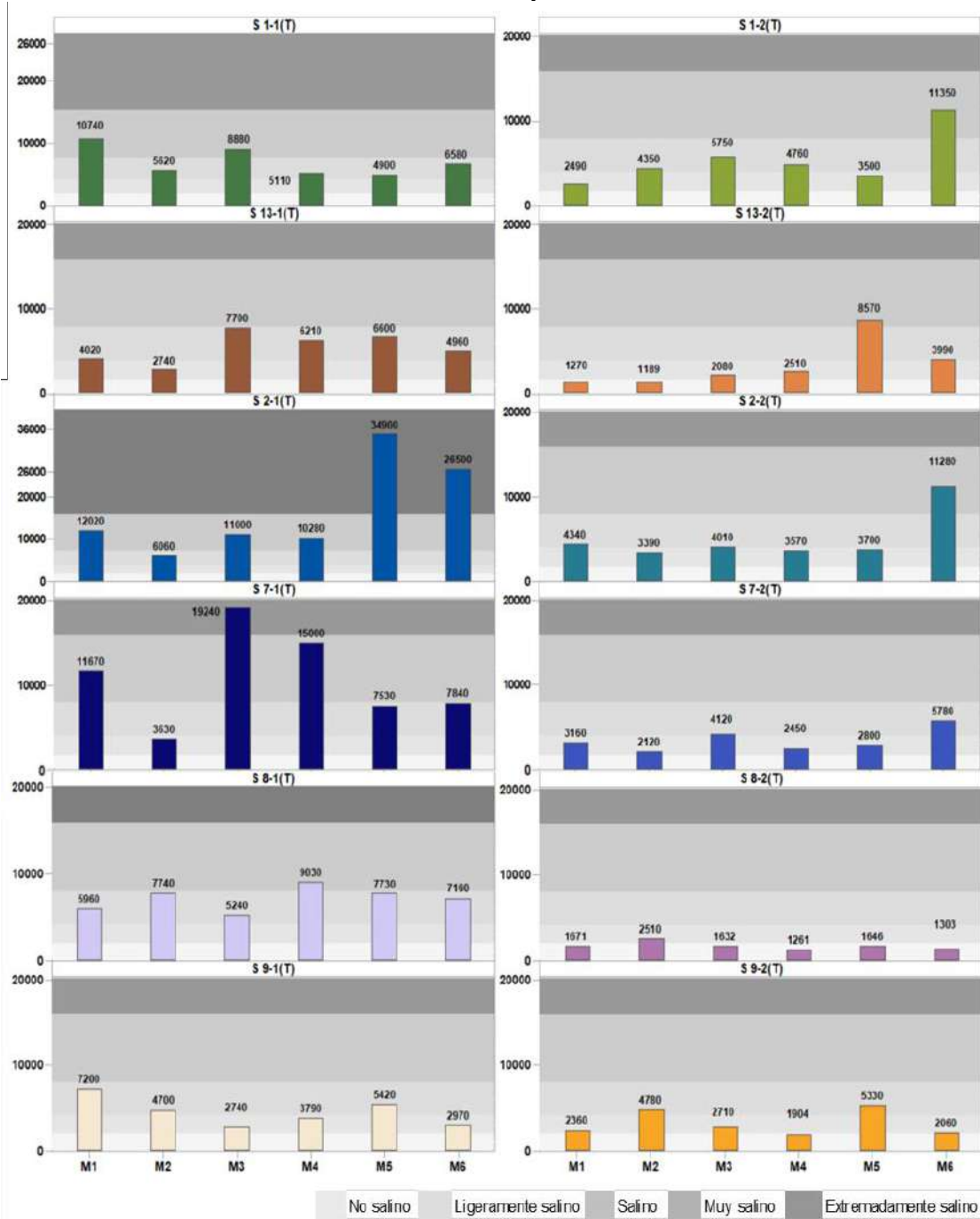
El monitoreo M2, es el que presenta una menor variación de la conductividad eléctrica para todos los puntos (**Figura N° 12-46**) y la mayoría de ellos se encuentra en las categorías **ligeramente salino** y **salino**, y en los restantes monitoreos la variación incluye 3 o más categorías por monitoreos, lo que implica una alta variabilidad de la salinidad de los suelos de este sector.

En **Tilopozo** destaca el punto S 7-1, el cual en M1, M3 y M4 fue uno de los más altos, igual situación ocurre con S 2-1 (M1, M3, M4, M5 y M6), observándose valores muy altos en M5 y M6, aun cuando presenta una disminución en el último monitoreo, ver **Figura N° 12-46**.

Para **Tilopozo**, no se observa una estacionalidad marcada en término de resultados, presentándose algunos valores muy altos tanto en invierno como en verano. Este sector se caracteriza por una variación significativa en la conductividad eléctrica y de las categorías entre los monitoreos, lo cual es atribuible exclusivamente a la heterogeneidad de los suelos, dado los diversos materiales parentales que los han originados y no por efecto de actividades antrópicas.



**Figura N° 12-46: Resultados C.E (µS /cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia

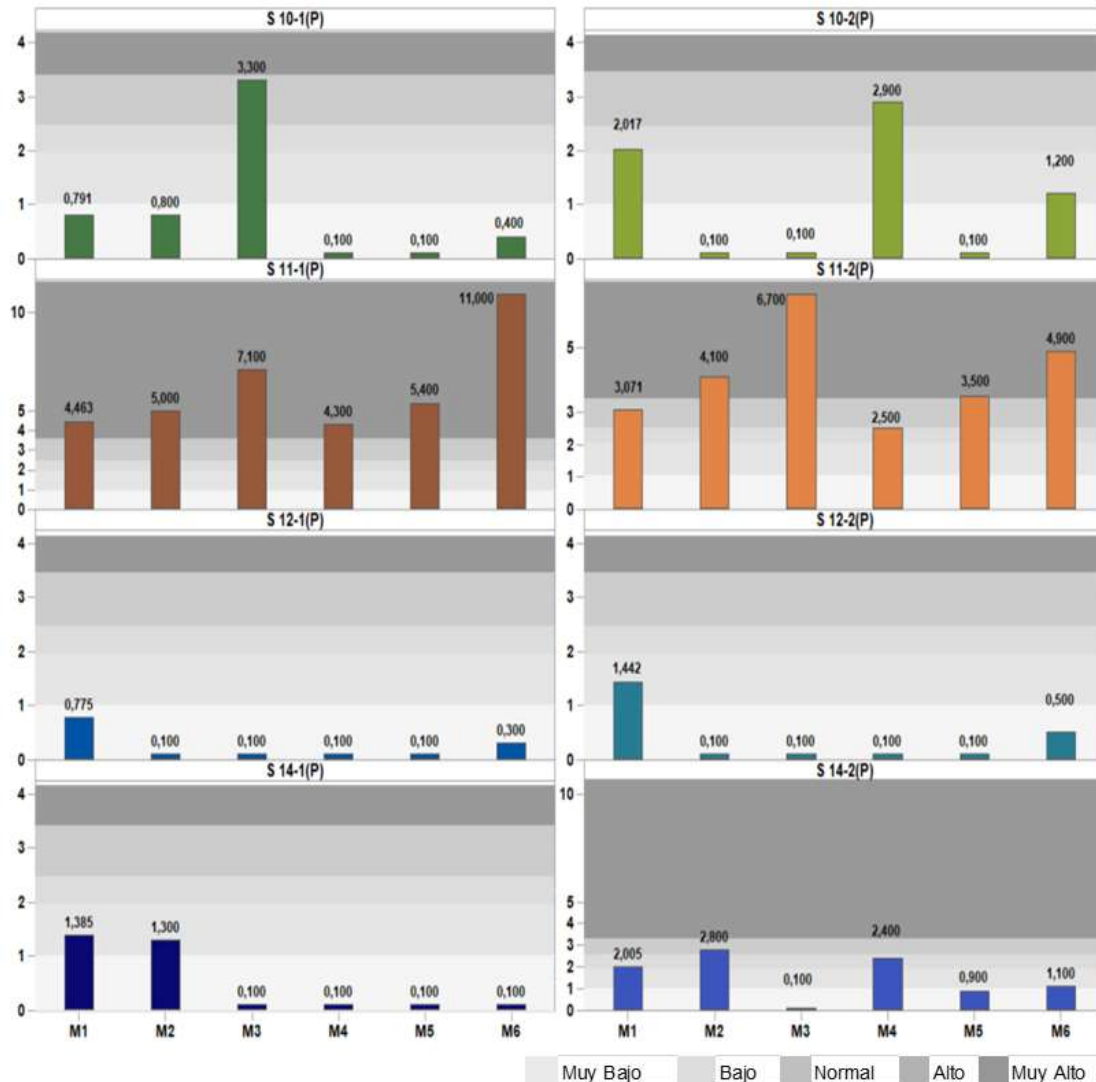
### **12.4.2.2 Materia Orgánica**

Para el sector **La Punta-La Brava**, se observa una disminución en el porcentaje de materia orgánica en algunos puntos (S 3-1, S 6-1) para los monitoreos M2, M3, M4 y M5 y en los restantes ésta presenta valores similares o superiores en la mayoría de los puntos determinados para M1. En aquellos muestreos (S 4-1, S 5-1, S 5-2), donde se observa una disminución puntual en alguno de los monitoreos, ésta es mínima y en M6 los valores observados son similares a los definidos para el primer monitoreo (**Figura N° 12-47**).

Para este sector destacan los puntos S 6-2, S 4-2, S 5-2, S 4-1 y S 5-1 donde se presentan los mayores porcentajes de materia orgánica, excepto para M4 (verano 2018), donde los muestreos realizados en S 6-1 y S 6-2 corresponden a las concentraciones mínimas. En relación, a las concentraciones mínimas de materia orgánica, para el sector sólo en el punto S 3-1, esta es constante para M2, M3, M4 y M5, ver **Figura N° 12-47**.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-47**, la materia orgánica en este sector presenta una gran 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.

**Figura N° 12-47: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava.**

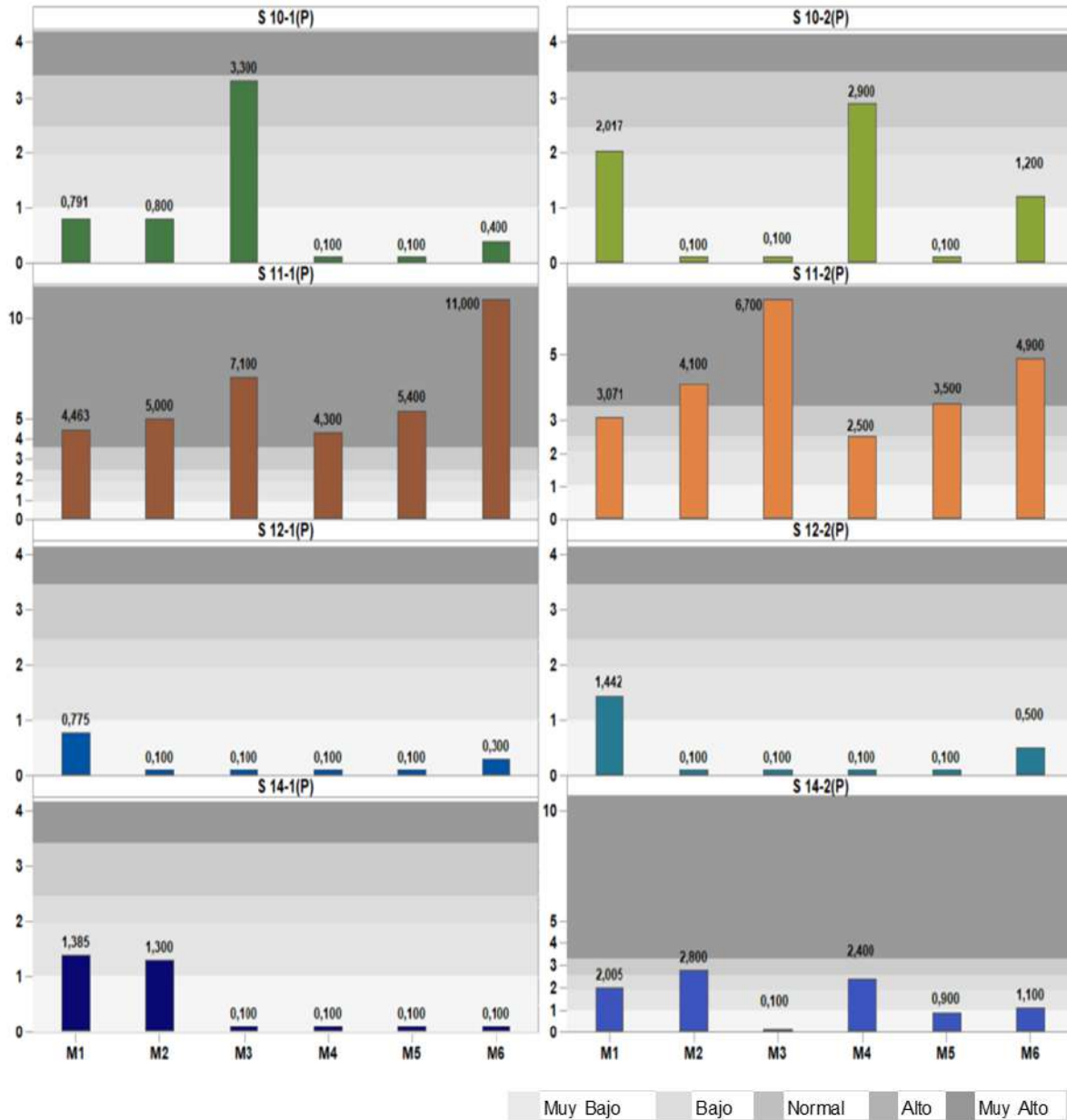


Fuente: Elaboración Propia

Tal como se aprecia en la **Figura N° 12-48**, para el sector de **Peine** a partir del monitoreo M2, algunos puntos (S 12-1, S 12-2 y S 14-1) disminuyen su porcentaje de materia orgánica respecto a M1, a nivel tal, que algunos de ellos bajan de categoría. Mientras que, los puntos S 11-1 y S 11-2, para la mayoría de los monitoreos, presentan mayor estabilidad, conservando siempre los valores más altos en materia orgánica, excepto en M4 donde S 10-2 es uno de los más altos.

Por otra parte, en los restantes puntos (S 14-2, S 10-1 y S 10-2), los porcentajes de materia orgánica presentan una gran variabilidad entre los diferentes monitoreos (**Figura N° 12-48**), incluso algunos pueden subir, bajar o mantener la categoría de disponibilidad de materia orgánica.

**Figura N° 12-48: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine**



Fuente: Elaboración Propia

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**, 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**, y tal como se observa en la **Figura N° 12-49**, a partir M2 hasta M5 en la mayoría de los puntos de muestreo se presenta un descenso en el porcentaje de materia orgánica, lo cual no implica, necesariamente, un cambio en la categoría de disponibilidad. En cambio, en M6 se observa un leve aumento de la materia orgánica, la cual alcanza niveles similares a los presentados en M1.

Para este sector, los puntos S 8-1, S 8-2, S 7-1 y S 7-2, son los que presentan los mayores porcentaje de materia orgánica en todos los monitoreos (**Figura N° 12-49**), siendo estos los puntos más estables de los monitoreos para el sector, tanto en su estrato superficial como en profundidad.

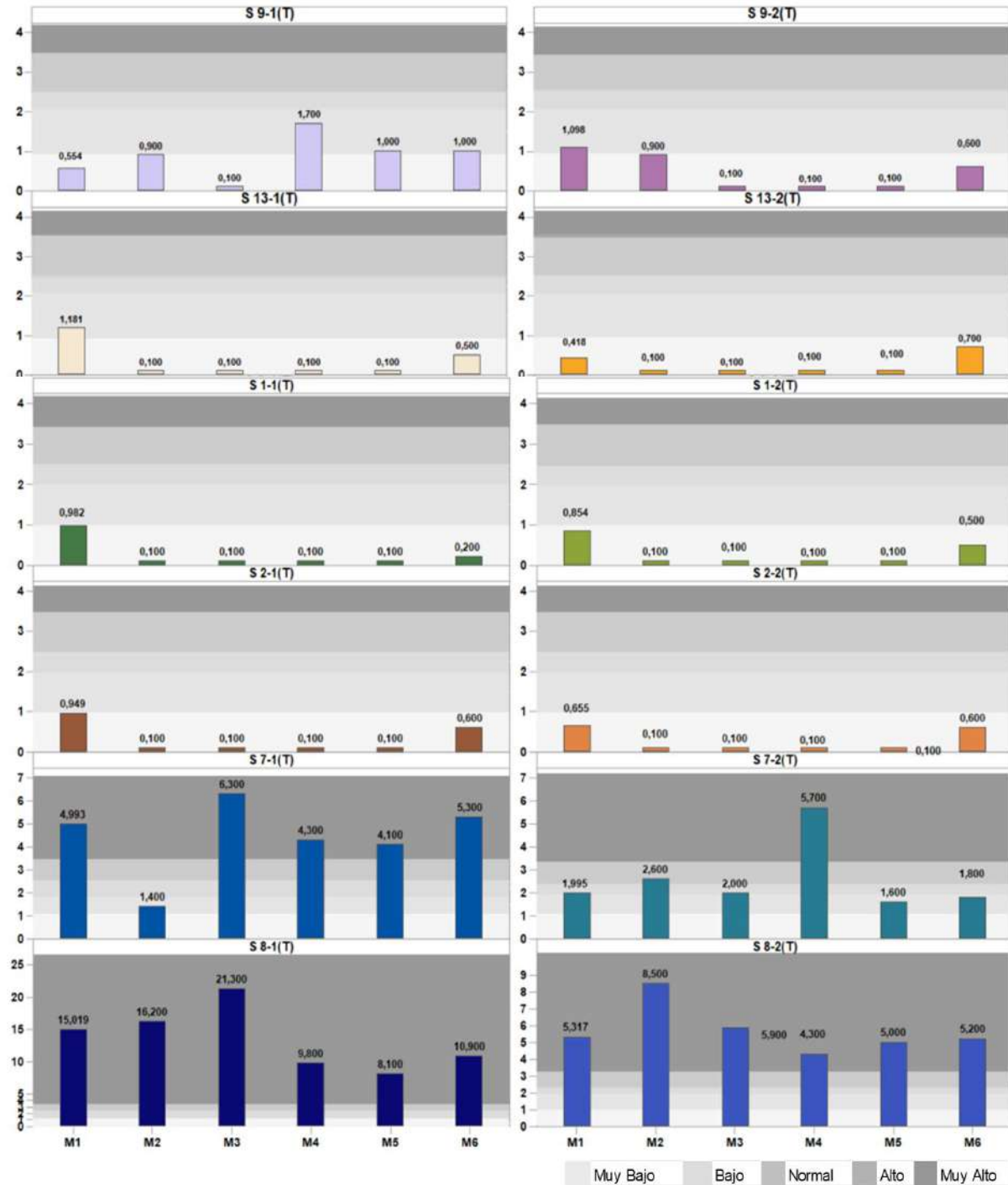
En los puntos S 9-1 y S 13-2, se puede observar una mínima variabilidad en el porcentaje de materia orgánica, y sólo en M4, el primer punto presenta una categoría **muy baja**, en los restantes monitoreos, ambos muestreos presentan una disponibilidad **muy baja**.

En el sector de **Tilopozo**, y en relación a la materia orgánica, la mayoría de los puntos se encuentran en la misma categoría, y sólo se observa una variación en los porcentajes, por lo que este parámetro presenta una estabilidad en el tiempo, y las variaciones en los porcentajes se deben al mayor o menor aporte de restos vegetales al suelos, como también a las características de éste, el cual se caracteriza por presentar una variabilidad en sus propiedades físico-químicas en áreas reducidas, debido a los diferentes orígenes de los materiales parentales que lo conforman.

En relación a los porcentajes de materia orgánica, es necesario señalar que en el área ésta se concentra principalmente en los horizontes más superficiales y disminuye drásticamente en profundidad, excepto en aquellas situaciones en donde por fenómenos naturales (aluviones, remoción en masa, vulcanismo, percolación, entre otros) se produce un enterramiento de la vegetación y de esta manera el contenido podría ser mayor en profundidad que en superficie.

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.

**Figura N° 12-49: Resultados Materia Orgánica (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5y M6. Sector Tilopozo.**



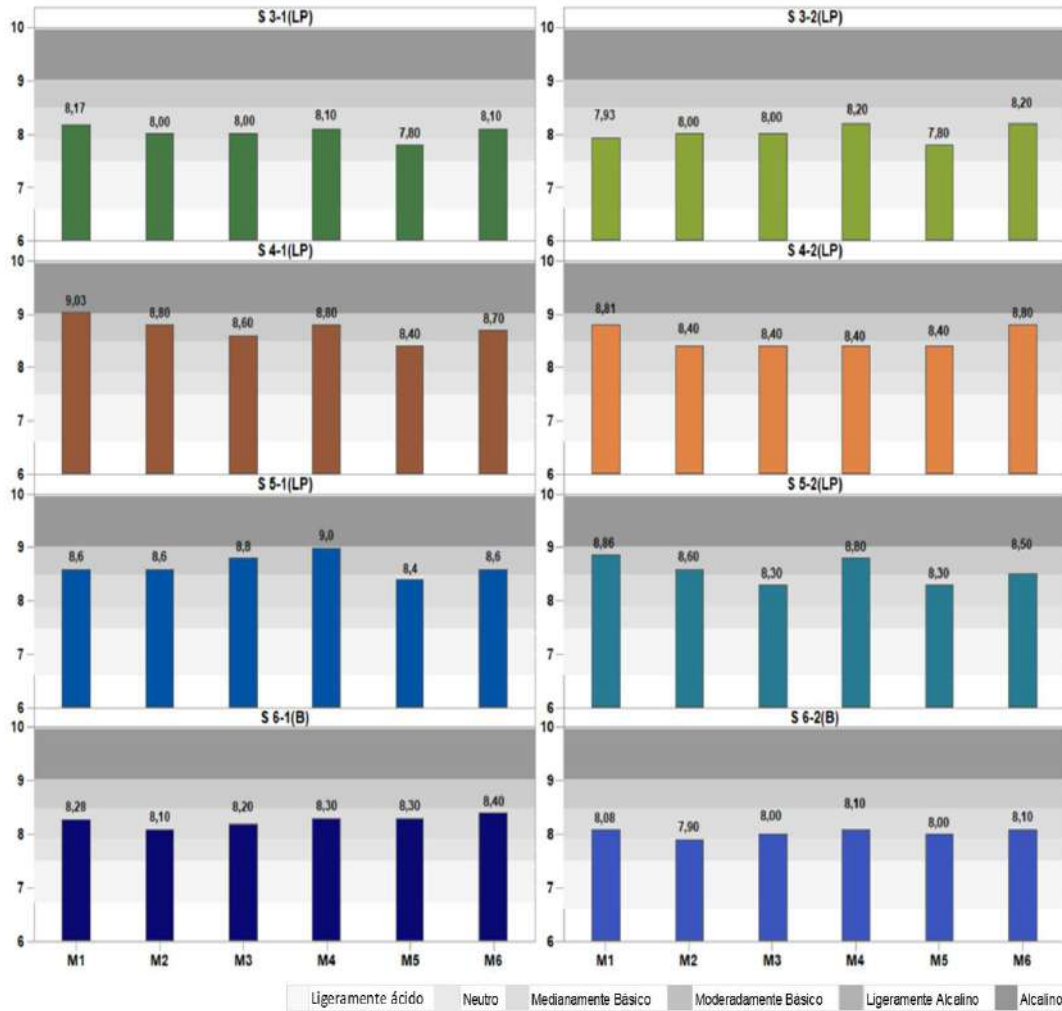
Fuente: Elaboración Propia

12.4.2.3 pH

Para el sector **La Punta-La Brava**, la mayoría de los puntos de los monitoreos M1, M2, M3 y M4, presentan valores similares y se mantiene en las mismas categorías (**moderadamente básico** o **ligeramente alcalino**). En cambio, en M5 se observa una leve acidificación del suelo, lo que implica que en la mayoría de los sustratos el pH sea **moderadamente básico** y en un reducido número puntos (S 3-1 y S 3-2) **medianamente básico**.

Mientras que en M6, se determina un aumento general en la alcalinidad del suelo y la mayoría de los puntos suben en categoría respecto al anterior, volviendo a los niveles que presentan los primeros monitoreos, específicamente **moderadamente básico** o **ligeramente alcalino** (Figura N° 12-50).

Figura N° 12-50: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

Los suelos del sector de **La Punta-La Brava**, se caracterizan por presentar un comportamiento similar, en términos de aquellos puntos donde se presentan los mayores pH para todos los monitoreos, el cual corresponde principalmente a las categorías **moderadamente básico** y **ligeramente alcalino**, típicas de las zonas áridas, lo que indica un comportamiento estable del sistemas para esta variable. Las variaciones numéricas, están dadas principalmente por los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo, esto dado la heterogeneidad de los materiales parentales que los constituyen.

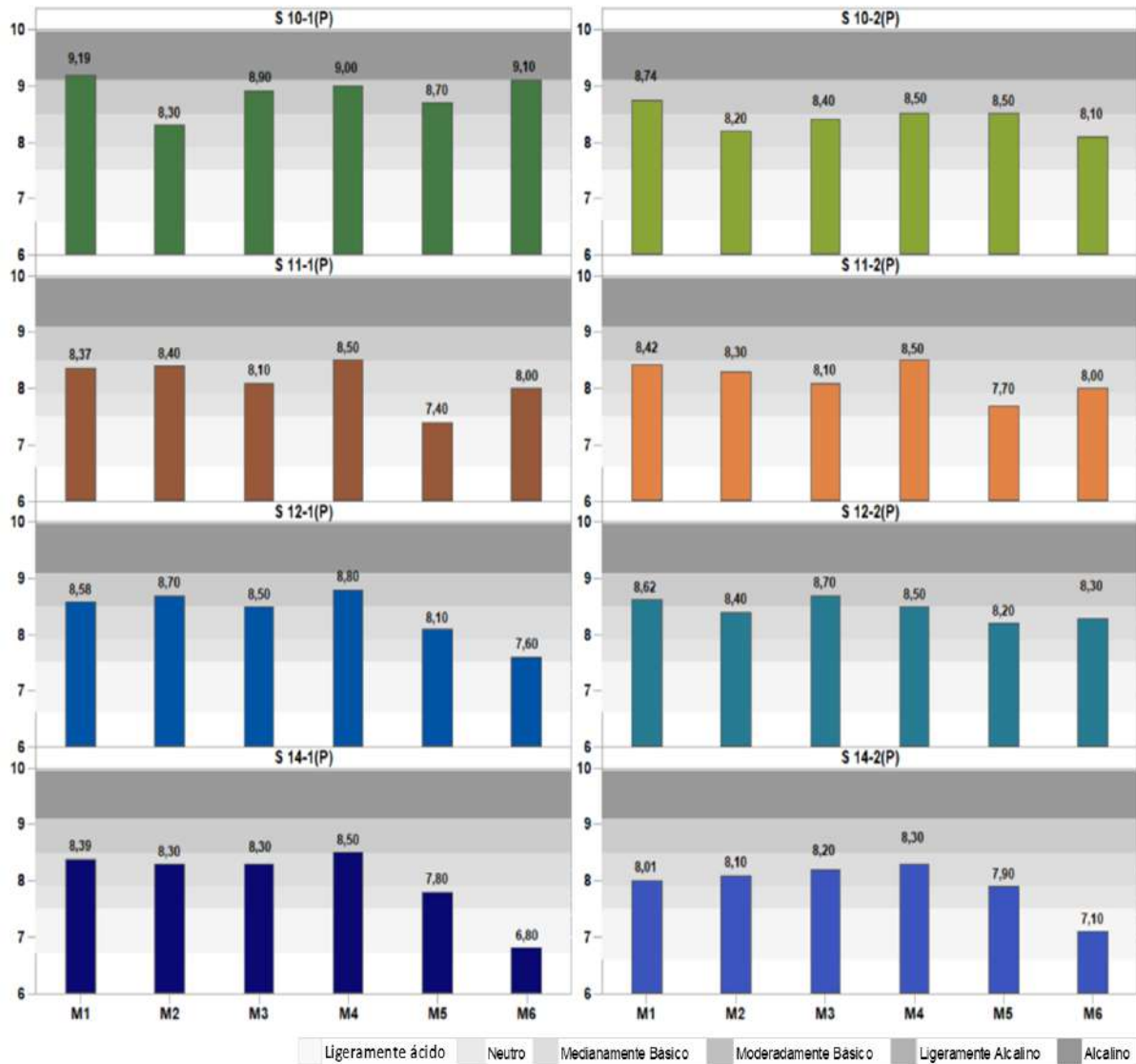
En el sector de **Peine**, en la mayoría de los puntos el suelo presenta un pH **moderadamente básico**. Por otra parte, en los menos aumenta a **ligeramente alcalino**, y sólo en un punto (S 10-1) es **alcalino**, condición que se mantiene desde M1 a M4. Mientras que, en M5 y M6, se produce una leve acidificación de los suelos del área (**Figura N° 12-51**), donde el pH dominante disminuye a **medianamente básico** e incluso en algunos puntos es **neutro** (S 11-1, S 14-1 y S 14-2).

Sin embargo, a pesar de la alta variabilidad numérica determinada para el sector, los puntos conservan un comportamiento estable en los valores de pH observado, para todos los monitoreos.

En el sector de **Peine**, el pH presenta una variación numérica tanto entre los diferentes monitoreos, como entre los puntos de muestreo Sin embargo, esta variación es mínima en M1, M2, M3 y M4, siendo más notoria en M5 y M6, y estas fluctuaciones están determinadas principalmente, por los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo, esto dado la heterogeneidad de los materiales parentales.



**Figura N° 12-51: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine.**

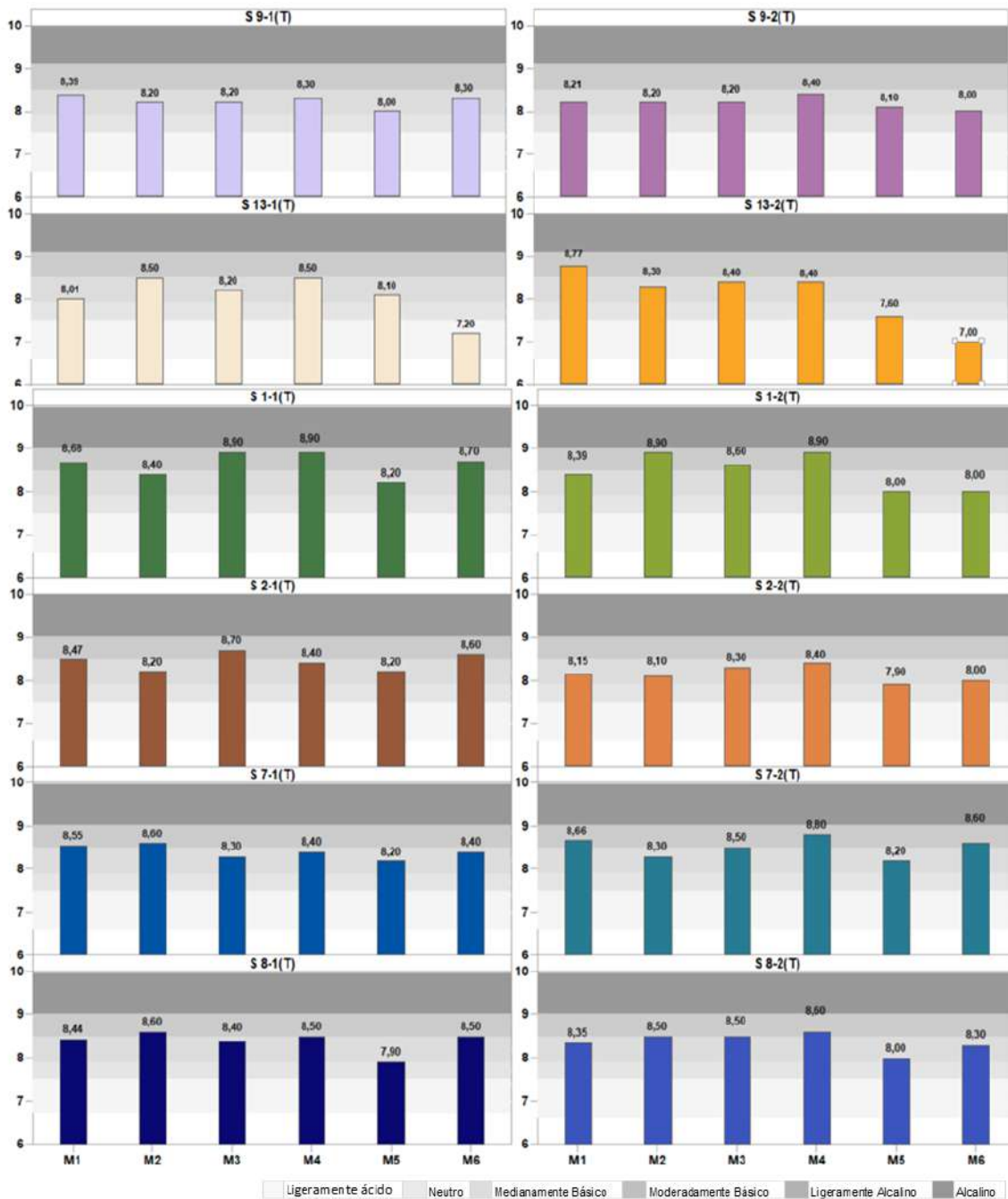


Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos el pH del suelo es **moderadamente básico**, con algunas excepciones donde éste es **ligeramente alcalino**, condición que es similar para los puntos desde M1 a M3, aun cuando un mismo punto se puede mover entre ambas categoría para los diferentes monitoreos (**Figura N° 12-52**), condición que, cambia en M4, donde en la mayoría de los puntos el pH es **ligeramente alcalino**. En M5 se observa una leve acidificación del suelo en la mayoría de los puntos, respecto a los monitoreos anteriores, pero en general, se mantiene la categoría dominante de las 4 primeras evaluaciones, excepto el punto S 13-2 donde éste disminuye a **medianamente básico**.

Por otra parte, en el monitoreos M6, la mayoría de los puntos de muestreo, presenta una alcalinización de los suelos respecto a M5, el cual vuelve a valores similares a los presentados en las primeras evaluaciones, excepto en los puntos S 13-1 y S 13-2, donde el suelo aumenta aún más su acidez, tanto en superficie como en profundidad, disminuyendo a pH neutro (Figura N° 12-52).

**Figura N° 12-52: Resultados pH. Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en la **Figura N° 12-52**, en el sector de **Tilopozo**, aun cuando se observan variaciones numéricas en el pH, en general este cambio no modifica la categoría, excepto en un reducido número de puntos en M5 y M6, por lo que, estas variaciones no son significativas, siendo un indicador que el área se presenta con una relativa estabilidad, y los cambio en general son producto de las características propias de los suelos, las cuales están determinadas por condiciones ambientales y no antrópicas.

Además se observa, que existe una disminución de los valores del pH en todos los puntos para M5, situación similar ocurre para M6, aun cuando este es menor que la anterior. Sin embargo, no se puede atribuir a actividades antrópicas esta condición, estimándose que existen algunos factores ambientales que podrían estar alterando este parámetro, y se requiere de mayores datos para determinar, si esto continúa en el tiempo o sólo corresponden a condiciones particulares de estos suelos.

#### **12.4.2.4 Salinidad**

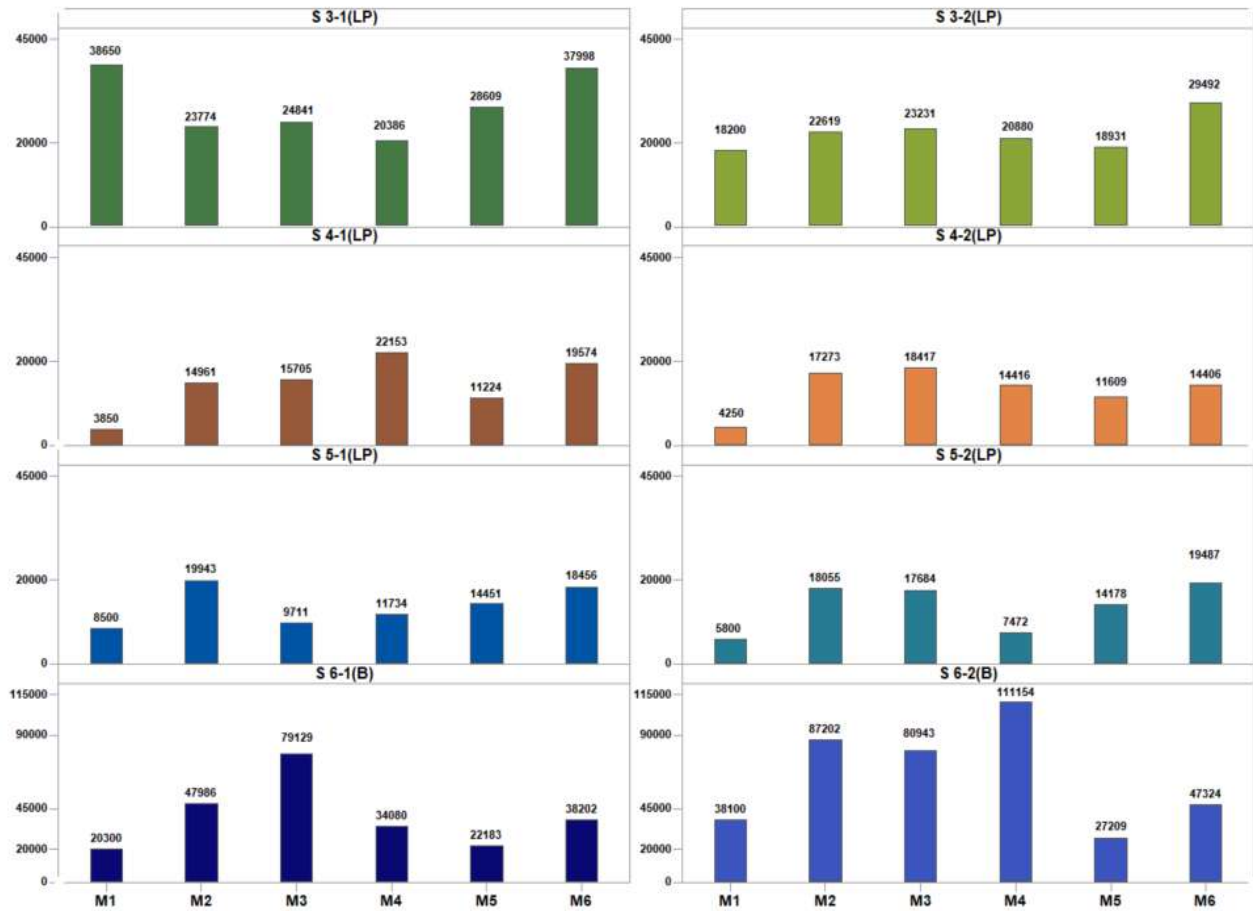
Para el sector **La Punta-La Brava**, tal como se observa en la **Figura N° 12-53**, existe un aumento en la concentración de sales solubles a partir de M2, en la mayoría de los puntos, excepto en S 3-1 y S 3-2, los cuales disminuyen hasta M5. Posteriormente, se produce un aumento alcanzando valores similares a los monitoreos anteriores.

Otros puntos de muestreo a destacar corresponden a S 6-1 y S 6-2 para los monitoreos M5 y M6, donde la concentración disminuye fuertemente, respecto a los valores de los 3 monitoreos anteriores, en las que registraron aumentos importantes es su salinidad, volviendo a valores similares a los observados en M1.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-53**, para este sector existe en general una estabilidad en los resultados de los monitoreos, esto respecto a los puntos de mayor concentración siendo los mismos (S 6-1, S 6-2, S 3-1 y S 3-2), aun cuando presentan variaciones numéricas entre monitoreos para estos puntos.

Respecto a las variaciones en la concentración de sales solubles en los suelos de este sector, se deben por una parte a la evapotranspiración, que implica el ascenso de las sales hacia la superficie y a la lixiviación que corresponde al arrastre de las sales en profundidad por el movimiento del agua, por lo que el aumento de uno de estos procesos genera un cambio en la concentración. Ambos procesos están regulados, entre otros por la textura y estructura del suelo, por lo tanto, un cambio en las propiedades físicas del suelo implica una modificación en la concentración de sales solubles, esto es muy relevante en el sector, por cuanto los suelos del área son muy heterogéneos, condición que explicaría la variaciones. En este sentido, el comportamiento en la salinidad del suelo está determinada por agentes naturales y no por alguna actividad antrópica.

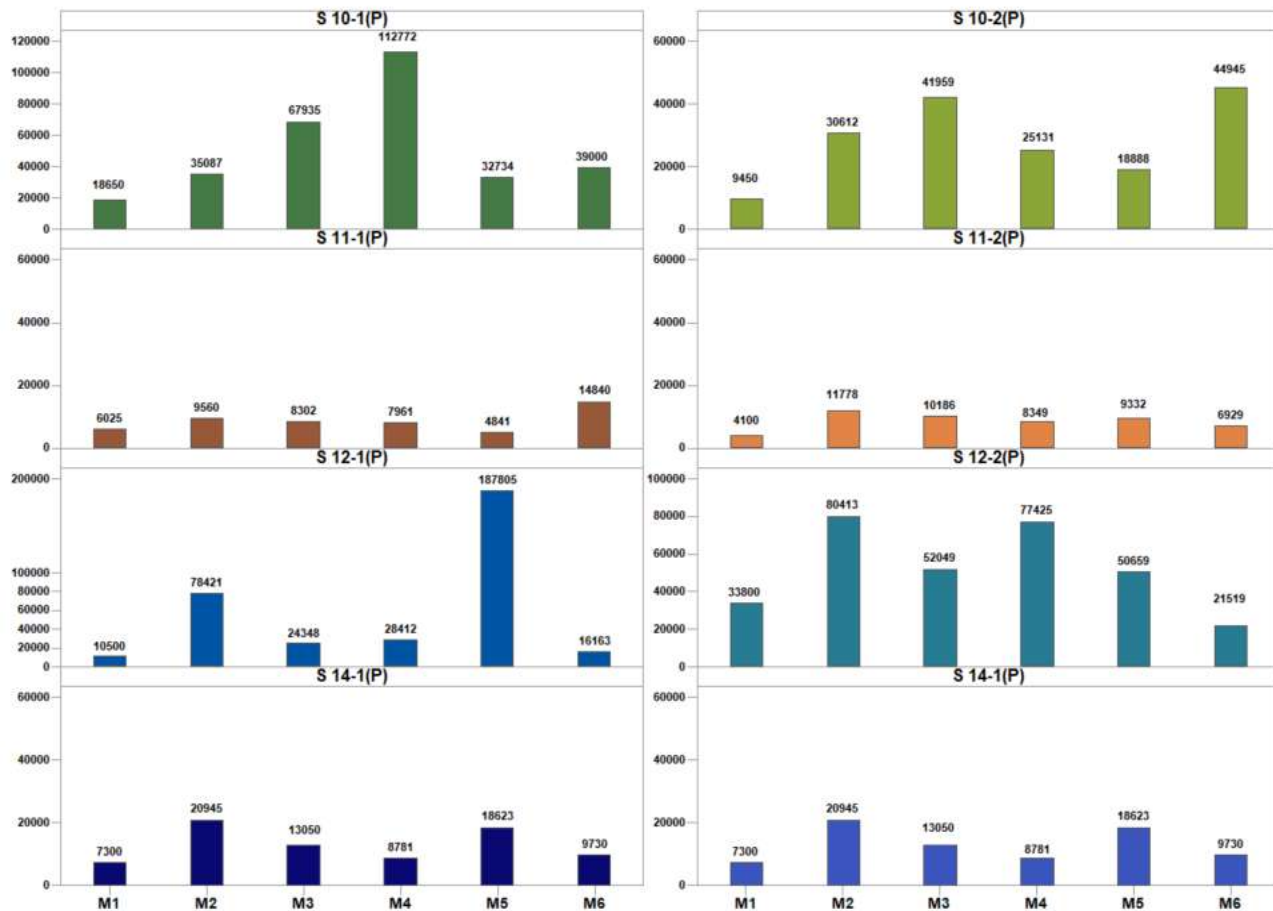
**Figura N° 12-53: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Peine**, en la mayoría de los puntos se observa un aumento en la concentración de sales a partir de M2, excepto en los puntos S 11-1 (M5) y S 12-2 (M6), donde las sales disminuyen. Estos cambios presentan una variación significativa de los puntos entre monitoreos (**Figura N° 12-54**), destacando los fuertes aumentos de los S 12-1 y S 12-2 (M2), S 10-1, S 10-2 y S 12-2 (M3 y M4), S 12-1 y S 12-2 (M5) y S 10-1 y S 10-6 (M6), corroborando lo indicado anteriormente respecto a la variabilidad de los datos.

**Figura N° 12-54: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine.**

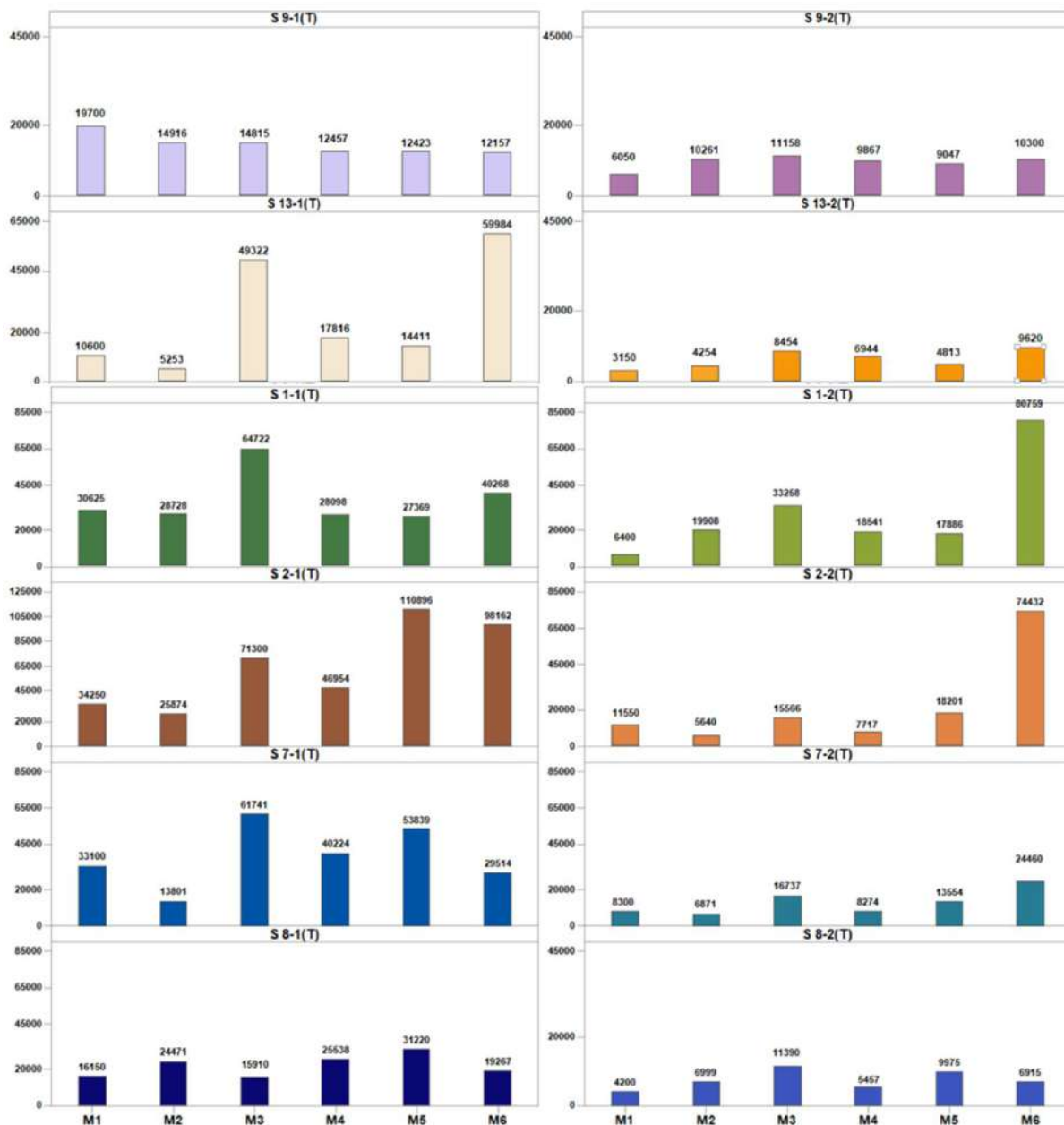


Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en la **Figura N° 12-54**, el sector de **Peine** se caracteriza por un aumento en la concentración de sales solubles, a partir de M2 en la mayoría de los puntos con una alta variabilidad entre ellos, lo que indica que el comportamiento observado en el sistema correspondería al normal, el cual se encuentra en función de las condiciones ambientales, principalmente, evapotranspiración, como también volumen de agua libre en el perfil y tipo de suelo, y no por actividades antrópicas.

Para el sector de **Tilopozo**, la concentración de sales solubles presenta un aumento a partir de M3 en la mayoría de los puntos, los cuales se caracterizan por presentar una amplia variabilidad entre monitoreos. Sin embargo, destaca el punto S 2-1 como el de mayor concentración en todos los monitoreos, excepto en M2 donde ocupa el segundo lugar (**Figura N° 12-55**), destacando también los puntos S 8-2, S 9-1, S 9-2 y S 13-2, los cuales son los más estables en términos de concentración para todos los monitoreos.

**Figura N° 12-55: Resultados Salinidad (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia

En este sector la variabilidad de los puntos entre monitoreos es la condición normal, y está en función de los factores ambientales indicados anteriormente, no determinándose actividades antrópicas que determinen cambios en la concentración de sales, por cuanto estos son puntuales.

En general para el área de estudio, la concentración de sales varía en la mayoría de los puntos de muestreo para los diferentes monitoreos, esto se puede atribuir tanto a las características intrínsecas de los suelos (pH, MO, textura, humedad, entre otros) como a factores ambientales (precipitaciones, clima, entre otros), siendo lo más importantes la evapotranspiración y disponibilidad hídrica en el perfil.

Considerando que la evapotranspiración, es la salida del agua del perfil a la atmósfera y que durante este proceso existe un ascenso por capilaridad de las sales hacia la superficie del perfil donde se depositan, y la lixiviación el arrastre de las sales en profundidad por efecto del movimiento del agua, cuando este último es insuficiente para lavar el perfil, se produce un aumento en las sales.

Respecto al escaso efecto en la disminución en la concentración salinidad en las dos últimas temporadas, en las que han ocurrido abundantes precipitaciones durante la época estival, se debe principalmente a una baja tasa de infiltración del agua superficial. Esto dado que cuando precipitan grandes volúmenes en un corto periodo, no da el tiempo suficiente para que infiltre un gran volumen de agua en profundidad, debido tanto a la textura y estructura del suelo -relacionado con el tamaño de los poros- como también a una rápida saturación del perfil, lo que dificulta que continúe la infiltración, condicionando a que el agua escurra en superficie.

#### **12.4.2.5 Conductividad Hidráulica o Permeabilidad**

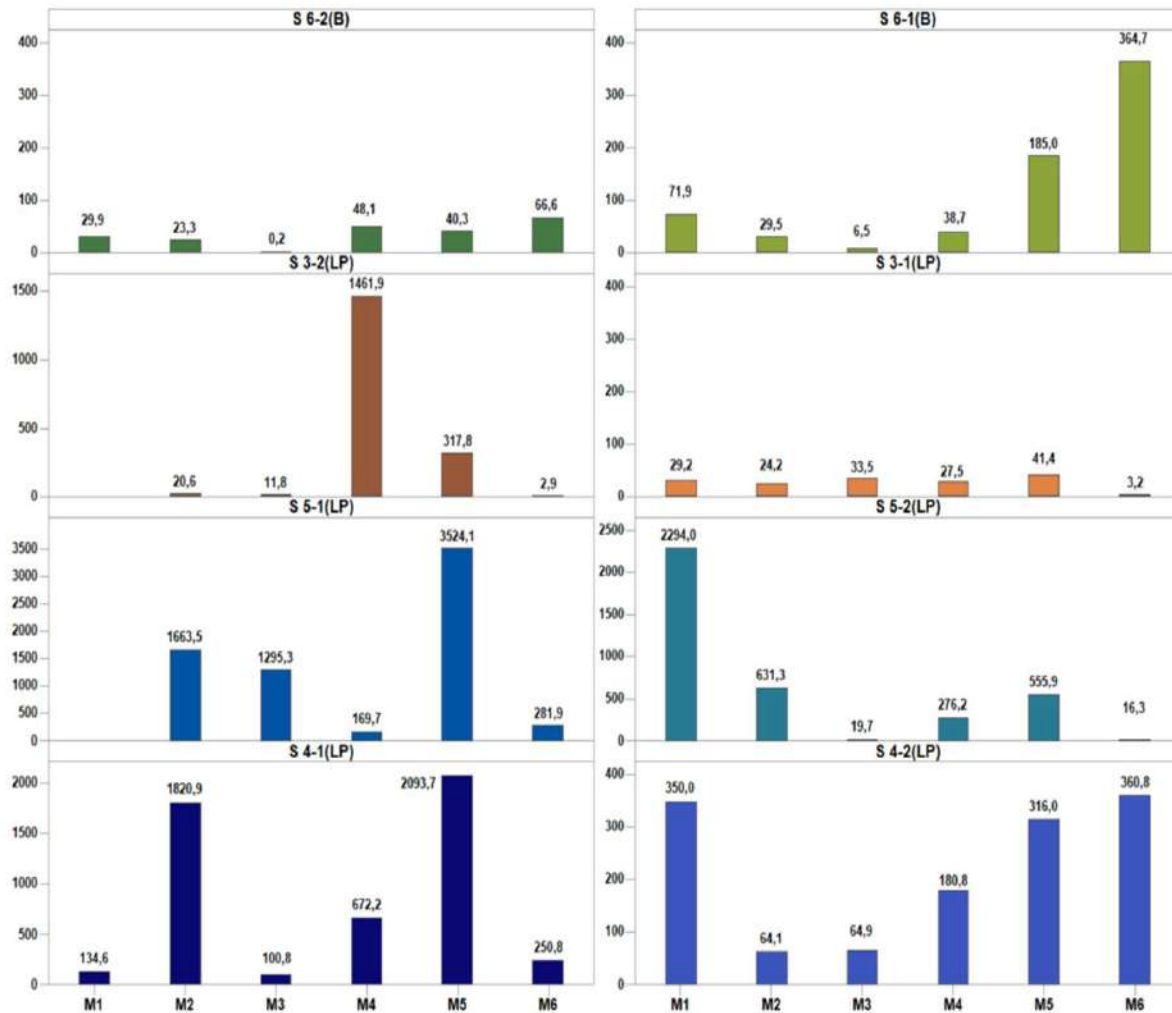
Para **La Punta-La Brava**, no se dispone información de los puntos S 3-2 y S 5-1 para M1, esto debido a las características físicas de los suelos en el punto muestreado -presencia horizonte extremadamente duro- lo que no permitió extraer las muestras.

Este sector se caracteriza por presentar una gran variabilidad en la velocidad de infiltración del agua entre puntos para los diferentes monitoreos. Tanto para M1 como M2, en la mitad de los puntos la permeabilidad es **muy alta**, y en los restantes puntos es **alta**. Mientras que, en M3, en la mitad de los puntos la velocidad de infiltración es **alta**, en otros (3) **muy alta** y en uno **moderadamente alta (Figura N° 12-56)**.

En la mayoría de los puntos de M4 y en la totalidad de M5, se observa un aumento de permeabilidad a categoría **muy alta**, y en la mayoría de los puntos de M6 la permeabilidad es **muy alta**, en los restantes puntos esta es **moderadamente alta** y **alta**, ver **Figura N° 12-56**.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-56**, no existe una relación entre los resultados para los diferentes monitoreos, siendo las velocidades muy variables. Esto se debe principalmente al cambio en el tipo de suelo entre monitoreo, a pesar de la mínima distancia entre uno y otro. La variación en los suelos se debe a la heterogeneidad de los materiales parentales, que conforman el sustrato del sector.

**Figura N° 12-56: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava.**



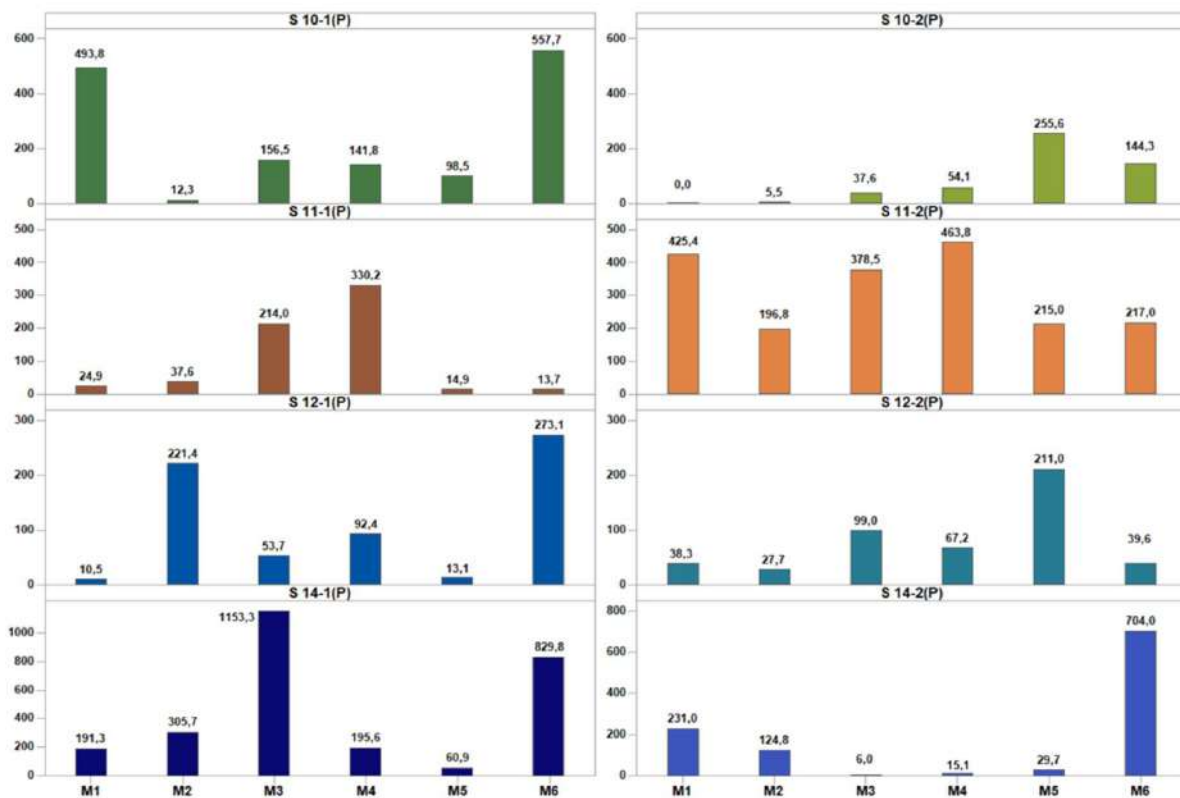
Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de **Peine**, al igual que en **La Punta-La Brava**, la velocidad de infiltración del agua en el perfil de suelo es muy variable para el mismo punto entre monitoreos, es así como en M1 y M2, la mitad de los puntos presenta una permeabilidad **muy alta** y en los restantes ésta disminuye a **alta** e incluso a **moderadamente alta** (Figura N° 12-57).

Mientras que, en M3 y M4 la permeabilidad de la mayoría de los puntos es **muy alta**, excepto en S 14-2 donde disminuye, y en M5 y M6 se observa nuevamente una importante variabilidad en la velocidad, aun cuando en la mayoría de los puntos la permeabilidad es **muy alta**.



**Figura N° 12-57: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine.**



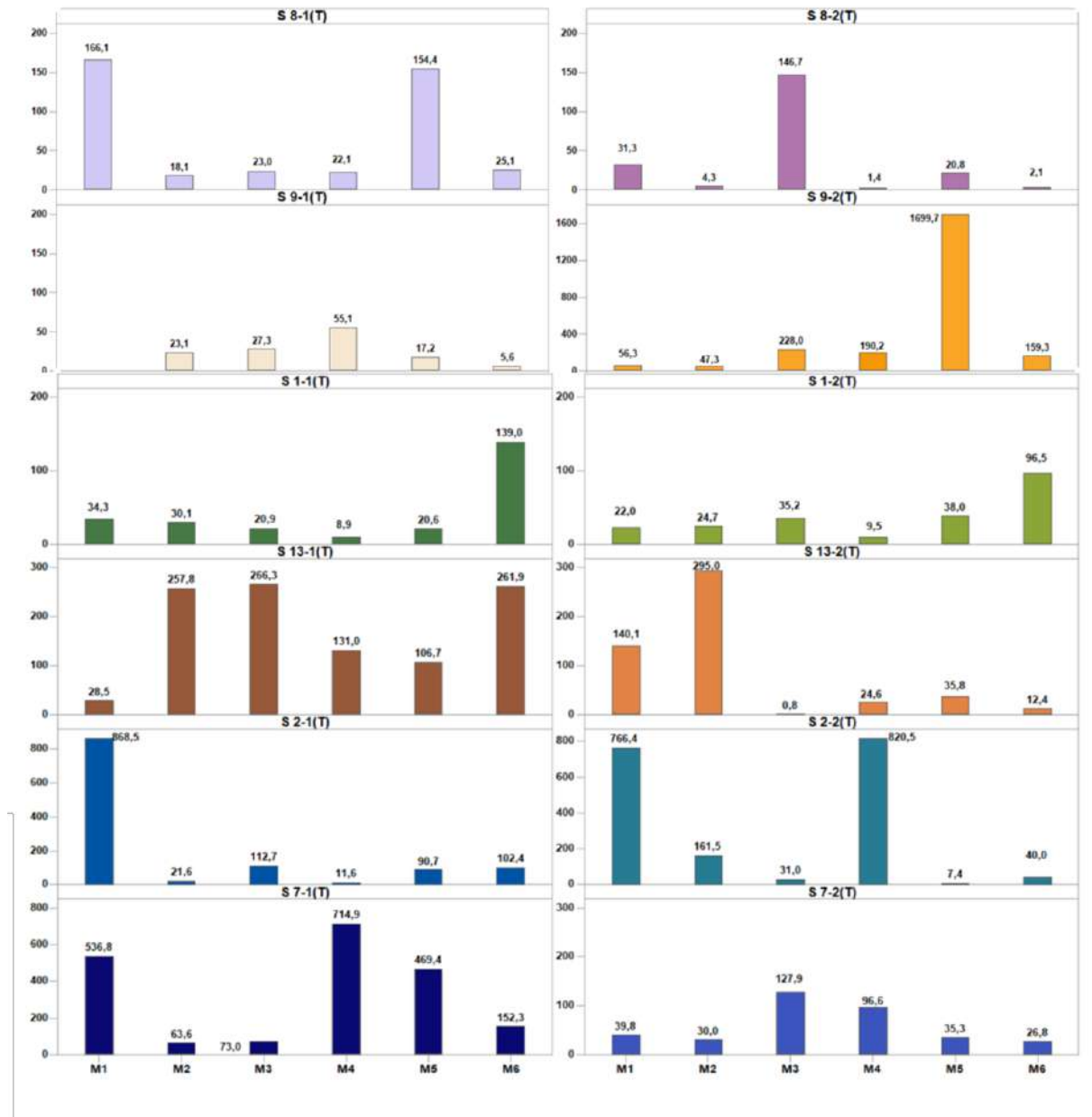
Fuente: Elaboración Propia

Aun cuando, se observa una gran variabilidad en los resultados de la velocidad de infiltración del agua en el sector de **Peine**, los puntos S 11-2 y S 14-1 mantienen la categoría (**muy alta**) en todos los monitoreos (**Figura N° 12-57**). Esta variabilidad en la velocidad es la condición esperable, la cual está determinada por la heterogeneidad de los sustratos, situación generalizada en el área de estudio.

En el sector de **Tilopozo**, en el punto S 9-1 no fue posible tomar muestras para determinar permeabilidad en M1 (por dureza del material del nivel superior), por lo que se tomó en profundidad (S 9-2), posteriormente, al cambiar localización de calicata, fue factible tomar muestras a la profundidad establecida, en la cual los resultados de M2 y M3 son muy similares, aumentando en M4 y descendiendo en M5 y M6. Para este sector, y tal como ocurre en el resto del área de estudio, este parámetro, se caracteriza por presentar una alta variabilidad en los resultados, respecto al comportamiento de cada punto en los diferentes monitoreos. Sin embargo, la permeabilidad en la mayoría de los puntos es **muy alta** (**Figura N° 12-58**), aun cuando no siempre es el mismo punto que presenta esta categoría en los diferentes monitoreos, excepto el punto S 7-1, el cual mantiene esta condición en todos ellos.

Destacan también los punto S 13-2 (M3) y S 8-2 (M4 y M6), cuya permeabilidad es moderadamente alta (Figura N° 12-58).

**Figura N° 12-58: Resultados Conductividad Hidráulica (cm/h). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia

Tal como ocurre, en **La Punta-La Brava** y **Peine**, en este último sector este parámetro presenta una gran variabilidad en la velocidad de infiltración del agua, lo cual sería la condición normal del sistema, condición que está dada por la heterogeneidad de los materiales parentales que dan origen a los suelos.

En los suelos del área de estudio, tanto la textura como la estructura, son los principales factores que regulan el comportamiento de la permeabilidad, por lo tanto, ante cambios en estas propiedades del suelo, se modifica la permeabilidad, no observándose agentes antrópicos que afecten estas propiedades, como por ejemplo, paso de maquinaria pesada, que afecte la compactación de los suelos u otro tipo de actividad que la altere.

#### **12.4.2.6 Nutrientes**

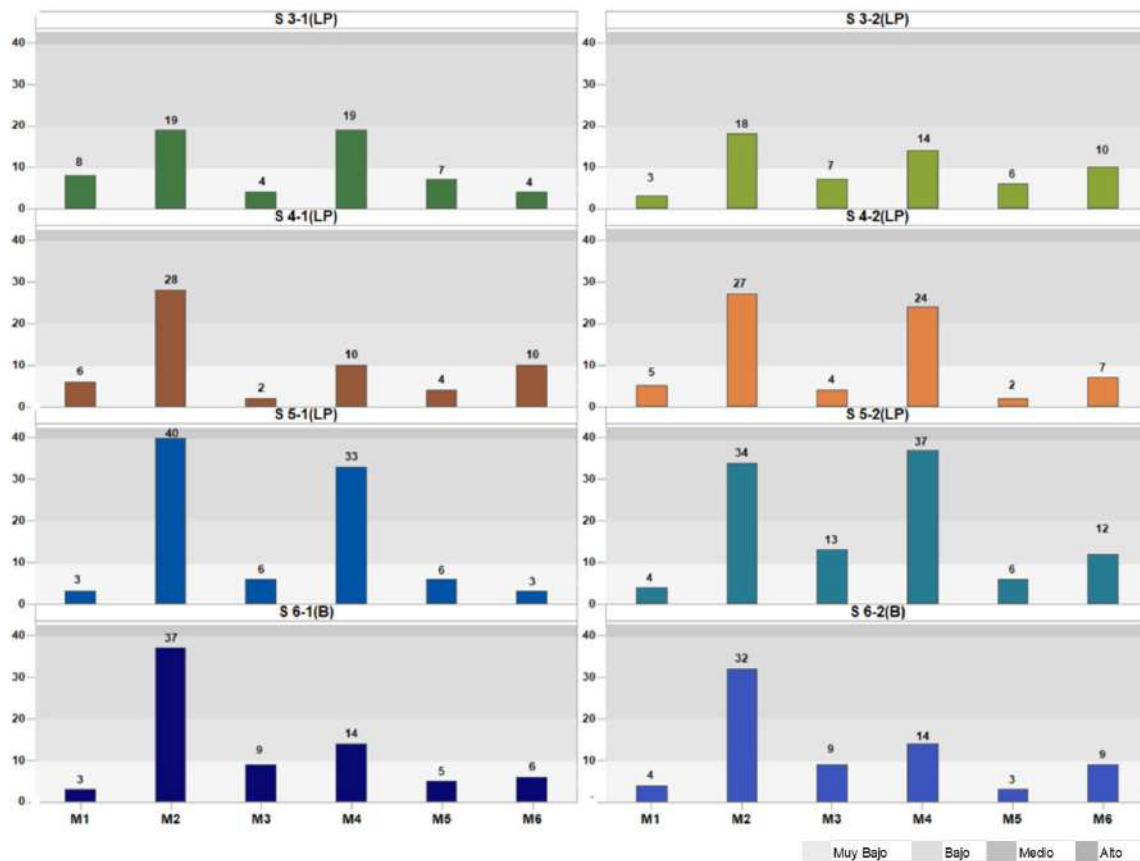
##### a) Nitrógeno

En el sector de **La Punta-La Brava**, se observan diferencias significativas en la concentración de nitrógeno entre los monitoreos invernales (M1, M3 y M5) y en 2 de los estivales (M2 y M4). En cambio, en M6 el nitrógeno es significativamente menor a los resultados de los estivales, pero levemente mayor a los invernales (**Figura N° 12-59**). También se observan variaciones en la concentración para los mismos puntos en los diferentes monitoreos.

En general, en los monitoreos invernales y como en M6, el nitrógeno se presenta en la categoría **muy baja**, excepto en el punto S 5-2 (M3) donde esta es **baja**, mientras que, en M2 y M4 las categorías dominantes son **media** y **baja**, excepto S 4-1 (M4) donde esta es **muy baja** (**Figura N° 12-59**).

Respecto al nitrógeno disponible en este sector, se observa un aumento en la concentración en los monitoreos estivales, siendo esta menor en M6, respecto a las obtenidas para los muestreos de invierno, lo cual está relacionado principalmente con la época de muestreo y que indica que la disponibilidad aumenta en los veranos, por efecto de las temperaturas. Respecto a las variaciones en la concentración de los puntos para los diferentes monitoreos, esta relacionados con la heterogeneidad del suelo.

**Figura N° 12-59: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava.**

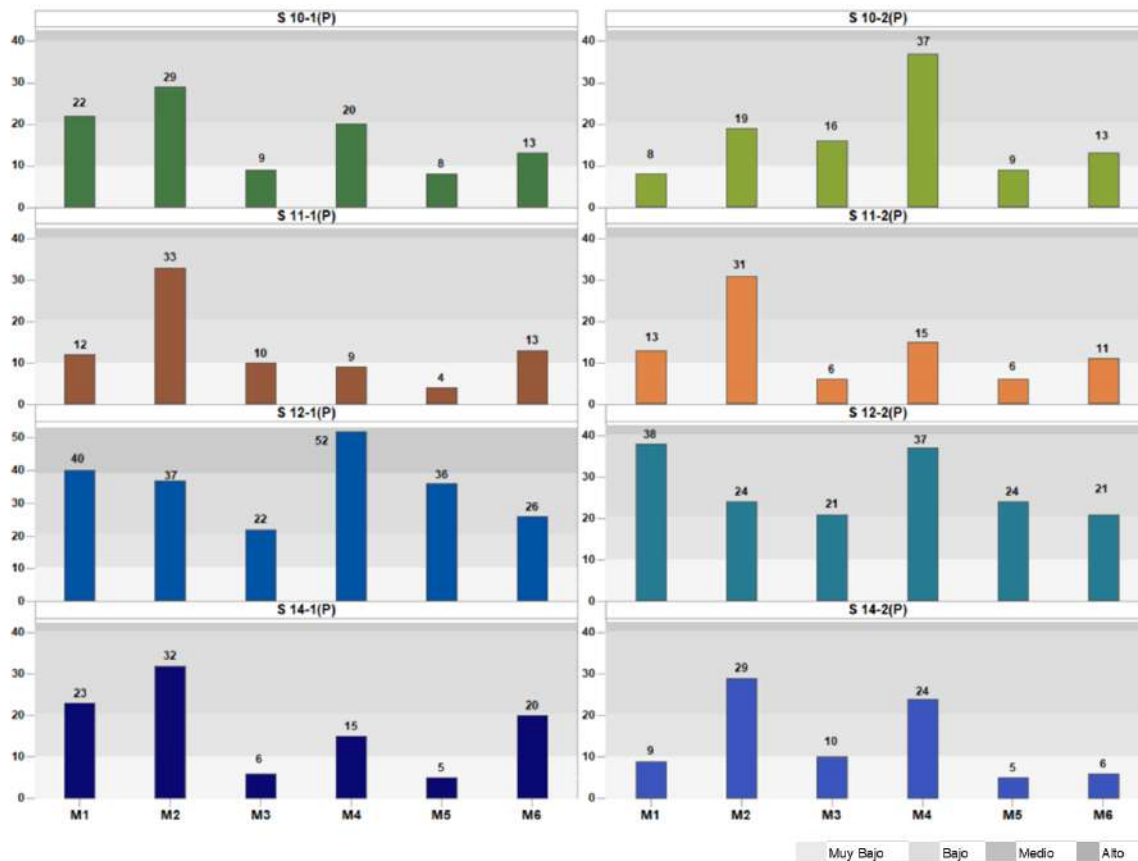


Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Peine**, se observa una leve diferencia entre los monitoreos invernales y estivales, siendo más amplia en M2, donde en la mayoría de los puntos la disponibilidad de nitrógeno es **media**. En los restantes monitoreos tanto invernales como estivales, el nitrógeno se mueve desde la categoría **muy baja** a **media**, excepto por el punto S 12-1 (M4) donde el nitrógeno es **alto** (**Figura N° 12-60**), siendo esto es un indicador de la variabilidad en la concentración de nitrógeno para los distintos puntos evaluados durante los diferentes monitoreos.

En este mismo sector, el punto S 12 (S 12-1 y S 12-2), es el que presenta en la totalidad de los monitoreos las concentraciones más alta de nitrógeno disponible, excepto en M2 para S 12-2, donde es uno de los menores. La alta concentración de nitrógeno para este tipo de ambiente (vegetación conformada exclusivamente por arbustos), podría explicarse en el tipo de suelo, cuyo origen es aluvional –fenómeno que se registra anualmente-, con suelos de texturas gruesas y poco aporte local de materia orgánica, por lo que gran parte del nitrógeno disponible proviene de los materiales de arrastre y no de una condición local.

**Figura N° 12-60: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine.**

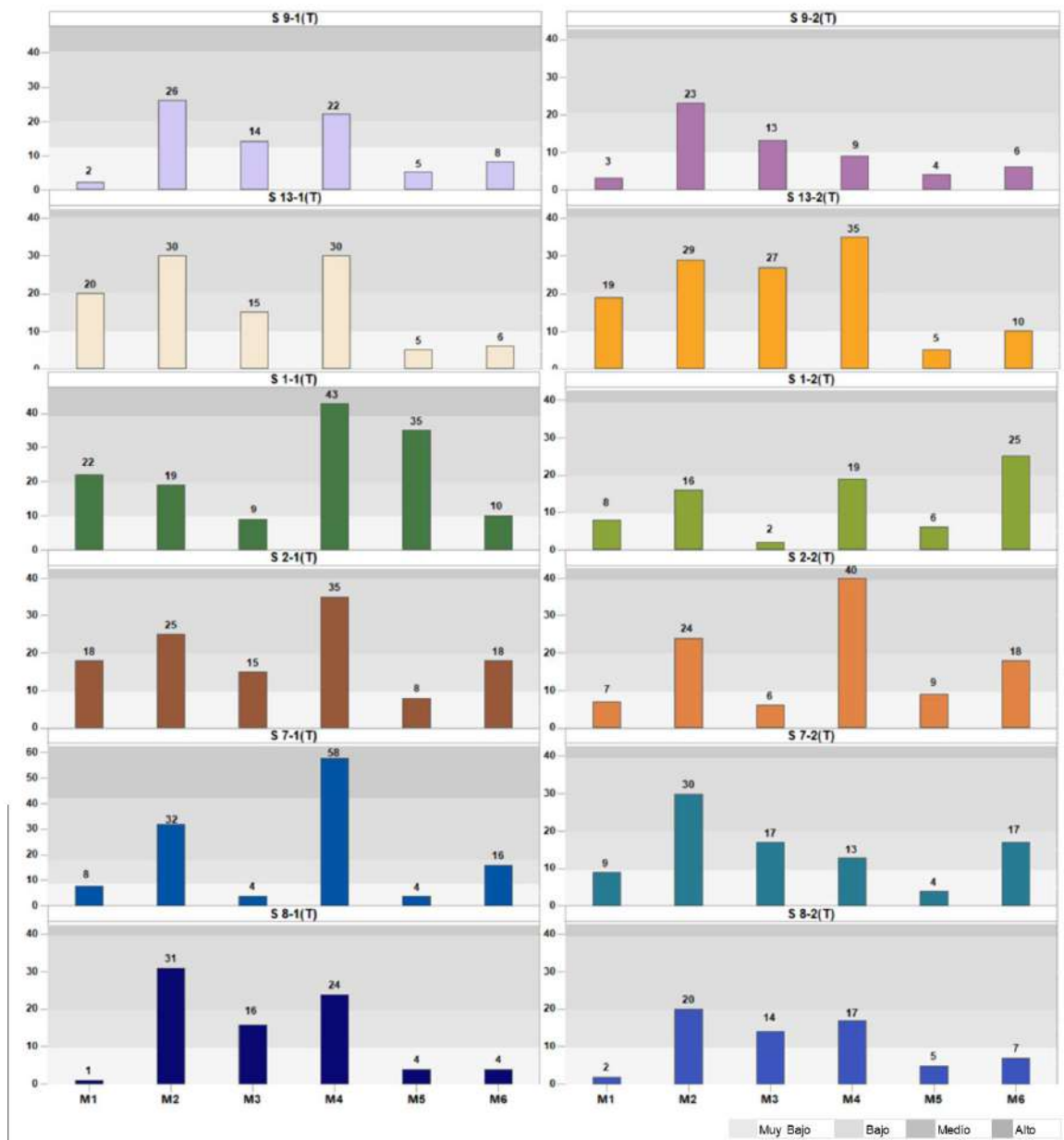


Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Peine**, considerando la variabilidad en la concentración de nitrógeno de los puntos para los diferentes monitoreos realizados, indica que este es el comportamiento normal de los suelos y que los cambios entre una evaluación y otra se deberían exclusivamente a las condiciones naturales del sustrato y no por efecto de actividades antrópicas.

En el sector de **Tilopozo**, el nitrógeno disponible presenta una estacionalidad marcada entre los monitoreos invernales (M1, M3 y M5) y dos de los estivales (M2 y M4), comportamiento similar al del sector La Punta-La Brava, mientras que en M6, en la mitad de los puntos de muestreo la concentración es similar o inferior a las determinadas para las evaluaciones invernales y en las restante es levemente superior (**Figura N° 12-61**). En los monitoreos M1, M5 y M6, en la mayoría de los puntos, el nitrógeno disponible se presenta en la categoría **muy baja**, en un reducido número ésta es **baja** y la categoría **media**, sólo se presenta en un punto por monitoreo. En cambio en M3, dominan la categoría **baja** sobre la **muy baja**, en M2 y M4 en la mayoría de los puntos el nitrógeno disponible es **medio**, y los restantes son **bajo**, con sólo 2 puntos en M4 cuya categoría es **alta**, ver **Figura N° 12-61**.

**Figura N° 12-61: Resultados Nitrógeno (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia

Para este sector no se observa una correlación del nitrógeno disponible entre los puntos de muestreo para los diferentes monitoreos, pero se observa que las mayores concentraciones se presentan en M2 y M4, y las menores en los monitoreos M1, M3, M5 y M6, situación similar a otros sectores del área de estudio.

Respecto a los resultados entre los monitoreos para el área de estudio, tanto en **La Punta-La Brava** como **Tilopozo**, se observa que las mayores concentraciones se dan en los muestreos estivales excepto para M6, relación que no se detecta en **Peine**. En general, se

observa una gran variabilidad en la concentración de nitrógeno entre los mismos puntos para los diferentes monitoreos.

Respecto a las variaciones entre los mismos puntos de los diferentes monitoreos, se deberían a los cambios en las propiedades del suelo por efecto de la heterogeneidad de los materiales parentales.

En cuanto al efecto de las actividades antrópicas y desarrolladas en el área de estudio sobre la disponibilidad de nitrógeno, se considera que no son un factor que las afecte, por lo que la variación se debería sólo a factores ambientales.

#### b) Potasio

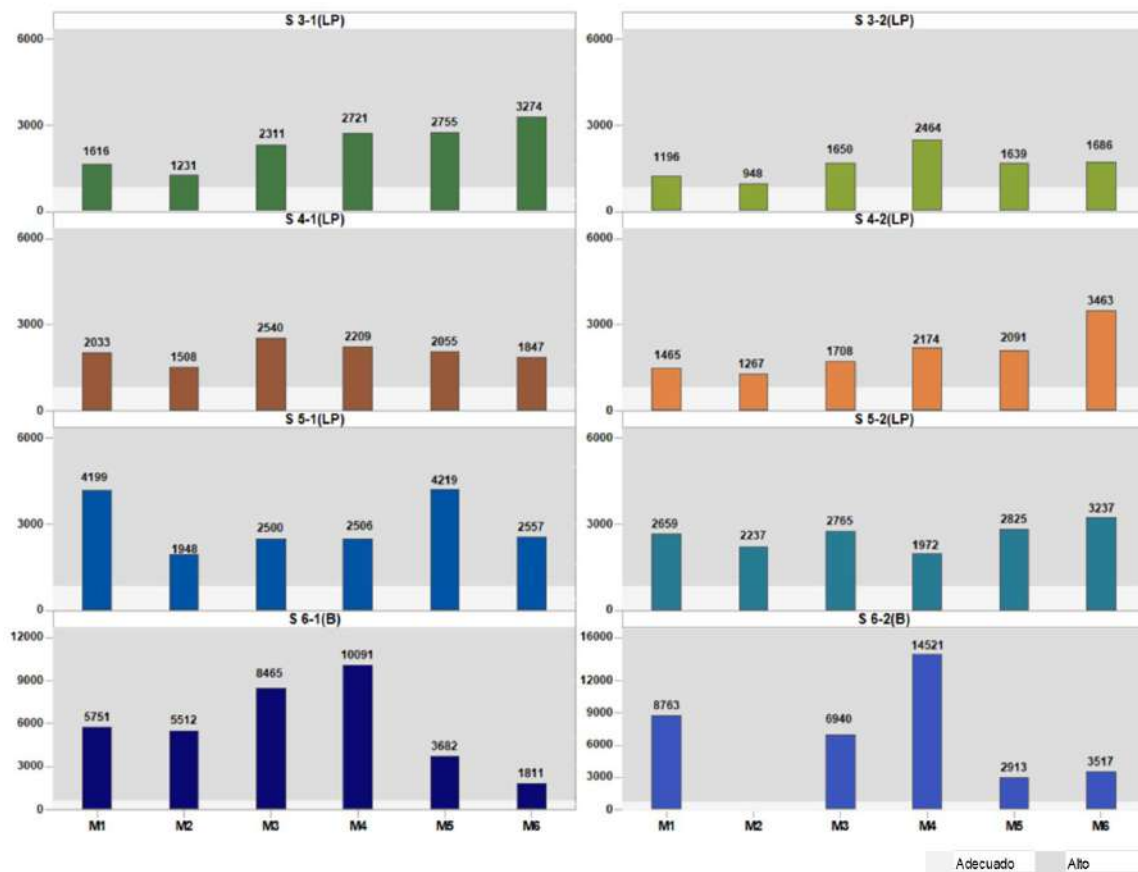
En la totalidad de los monitoreos realizados para el sector de **La Punta-La Brava**, el potasio disponible es **alto**, aun cuando se observan variaciones en la concentración para los mismos puntos en los diferentes monitoreos (**Figura N° 12-62**).

En general, se observa un aumento en la concentración de este macroelemento a partir de M3 respecto a los monitoreos anteriores, destacando M5 y M6, ver **Figura N° 12-62**.

En este sector, en la mitad de los puntos (S 3-1, S 3-2 y S 4-2), el potasio determinado para M3, M4, M5 y M6, es mayor a los valores obtenidos para M1 e inferior en M2. Mientras que en el punto S 5-2, en los monitoreos M3, M5 y M6 este macroelemento es mayor a M1, siendo inferior en M2 y M4, ver **Figura N° 12-62**. En los puntos S 4-1 y S 5-2 la concentración, es similar en todos los monitoreos, mientras que en el segundo muestreo (M2) ésta es inferior a las definidas para M1, excepto en M5 donde es similar.

En este sector los puntos S 6-1 y S 6-2, se caracterizan por presentar la mayor concentración de potasio en los primeros cuatro monitoreos, ocupando lugares secundarios en los últimos 2. Es necesario señalar que por problemas de disponibilidad de material no se pudo determinar el potasio para el punto S 6-2 en M2 (**Figura N° 12-62**).

**Figura N° 12-62. Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia

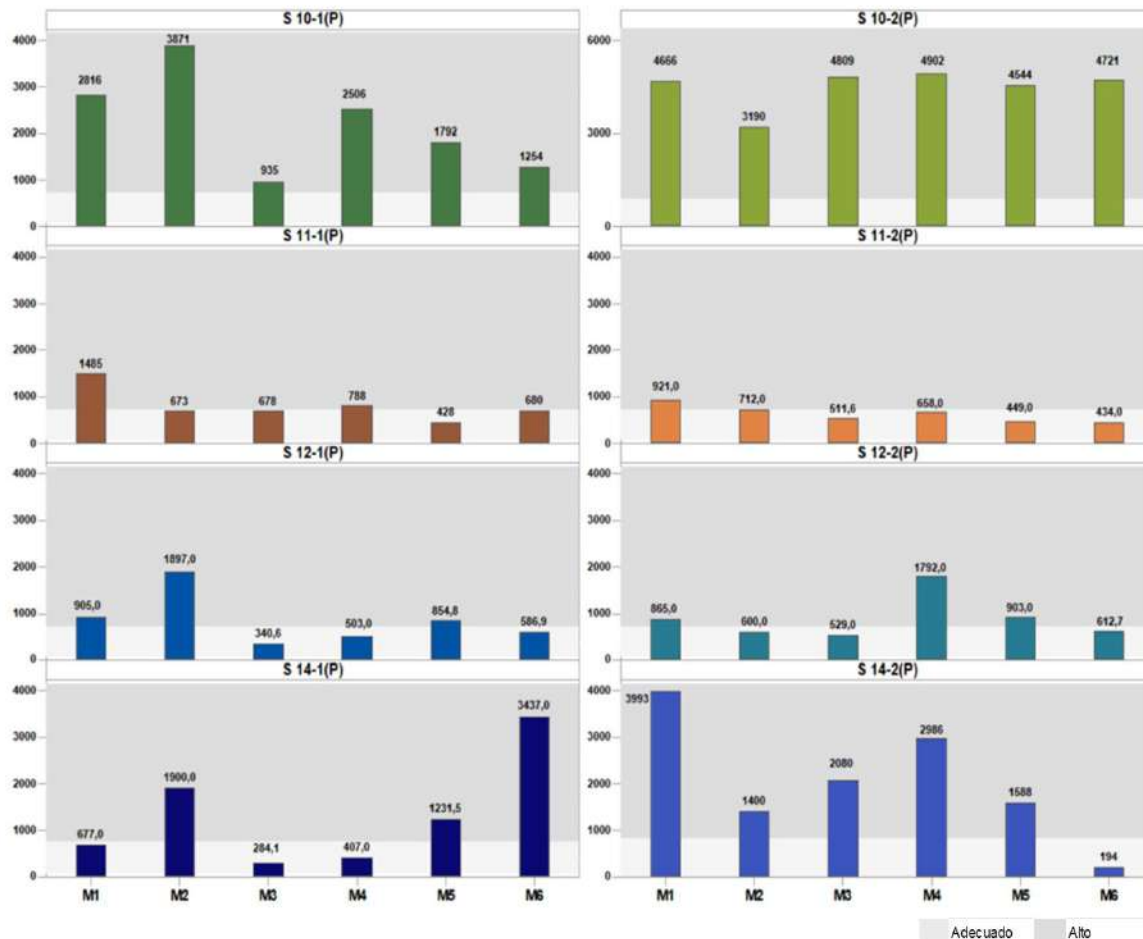
Respecto al comportamiento del potasio en el sector, se caracteriza por presentar una condición normal al igual que en la mayoría de los suelos chilenos, ya que se indica como un elemento de alta disponibilidad.

La variabilidad en la concentración de este macroelemento entre los mismos puntos para los diferentes monitoreos estaría determinada por la alta heterogeneidad de los suelos, condicionada por los diversos materiales que lo conforman.

En el sector de **Peine**, en la mayoría de los puntos se observa una disminución en la concentración y una caída en la categoría de potasio disponible a partir de M2, para aumentar levemente en M5 y volver a disminuir en M6, esta situación se presenta en todos los monitoreos (**Figura N° 12-63**), a excepción de los puntos S 10-1 y S 10-2 en los cuales, a pesar de la variación numérica, mantienen su categoría.



**Figura N° 12-63: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5y M6. Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia

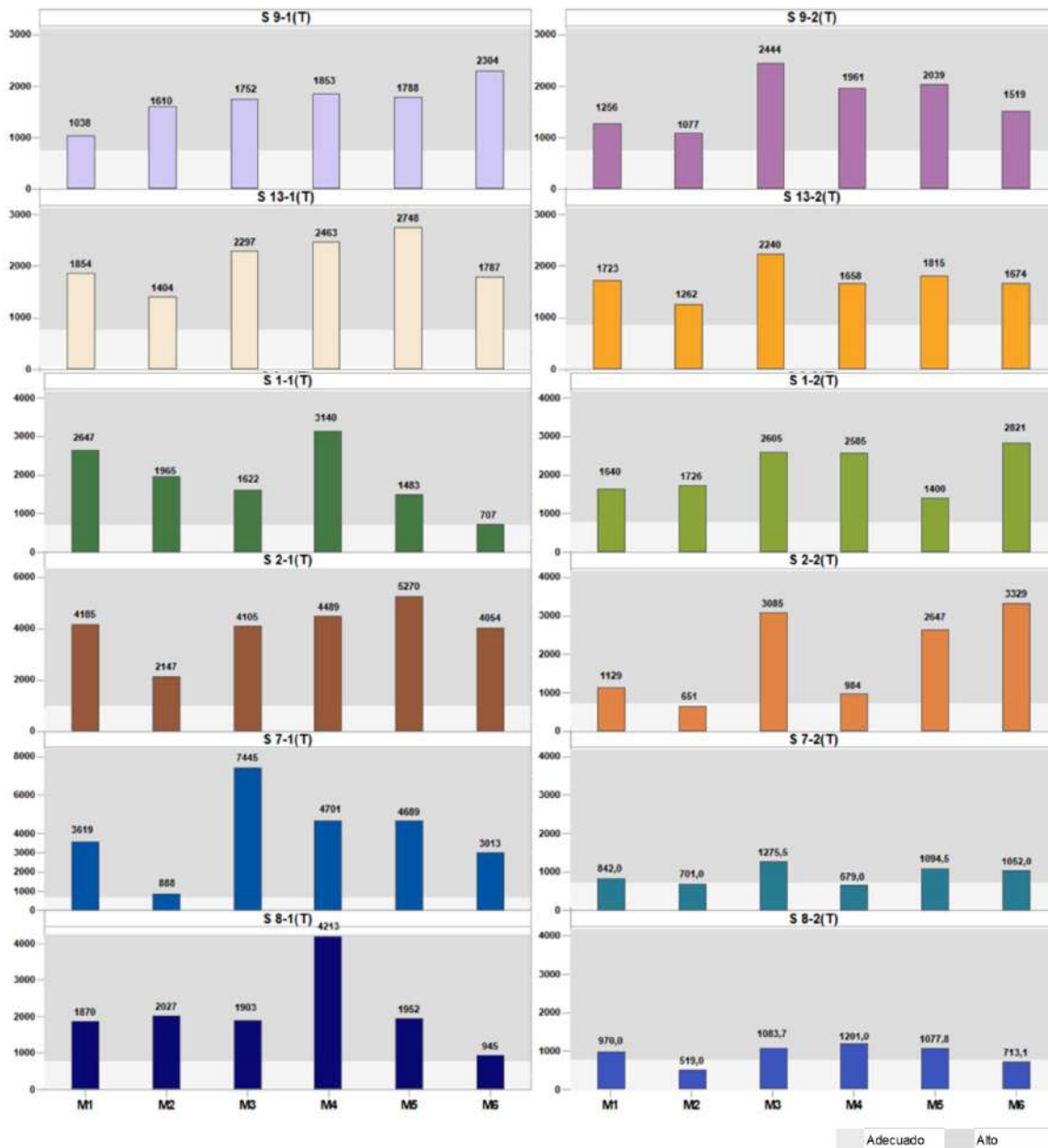
En el sector de **Peine**, los resultados de los monitoreos no presentan una relación entre las diferentes evaluaciones o la estacionalidad del muestreo, esto implica que la variación en la concentración estaría en función de la disponibilidad de este elemento en el suelo, la cual puede fluctuar de acuerdo al origen de los materiales parentales. Sin embargo, esta disminución no implica un efecto sobre la vegetación, por cuanto los niveles son **adecuados a alto**.

Para el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos de los diferentes monitoreos, la disponibilidad de potasio es **alta**, excepto en un reducido número de puntos en M2 (S 2-2, S 7-2, S 8-2), M4 (S 7-2) y M6 (S 1-1 y S 8-2), donde la categoría es **adecuada** (Figura N° 12-64), observándose fluctuaciones en la concentración de los mismos puntos, para las diferentes evaluaciones.

En general, para el sector se observa una disminución del potasio en M2 respecto a M1, aumentando a partir de M3 hasta M5 y disminuir nuevamente en M6, aun cuando en esta

última evaluación la disminución es muy leve y es menor a la ocurrida en M2, presentando niveles similares a los del primer monitoreo, ver **Figura N° 12-64**.

**Figura N° 12-64: Resultados Potasio (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de **Tilopozo**, los resultados para los diferentes monitoreos no presentan una relación directa entre ellos y los valores de los mismos puntos de muestreo presentan una variaciones para las distintas evaluaciones (**Figura N° 12-64**). Sin embargo, no se observa

un cambio de categoría en la mayoría de los puntos, lo cual se produce sólo en un reducido número de puntos y sólo para algunos monitoreos (M2, M4 y M6).

En cuanto a obtener conclusiones definitivas y que permitan explicar las variación en la disponibilidad, a la fecha con los antecedentes recopilados no es factible aún, por cuanto la disponibilidad de potasio en el suelo es multifactorial, destacando entre estos factores: tipo de material parental, meteorización, minerales, textura del suelo, tipo de arcilla, tipos de suelo (fijadores), pH, lixiviación, relación con otros elementos, entre otros, por lo que se requieren mayores datos para determinar si la variación es constante o sólo efecto de la época y precipitaciones. Pero en general, la variación de los puntos entre monitoreos estaría determinada por la heterogeneidad de los suelos dado los diferentes tipos de materiales que los constituyen.

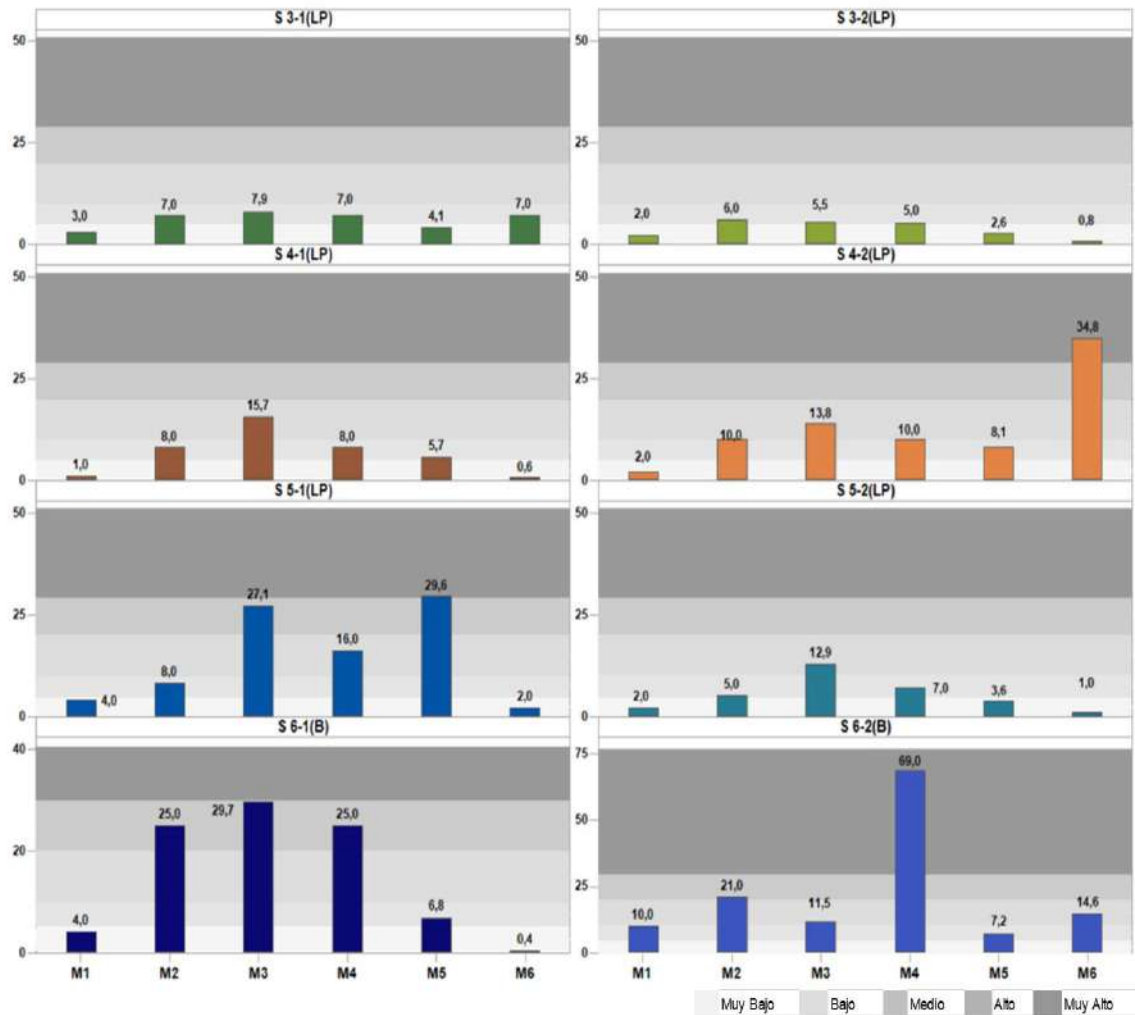
c) Fósforo

En el sector de La **Punta-La Brava**, se observa un aumento en la concentración de fósforo a partir de M2 alcanzando un máximo en la mayoría de los puntos en M3, para luego iniciar un descenso hasta valores mínimos en M6, los cuales son similares e incluso inferiores a M1 (**Figura N° 12-65**), observándose una variabilidad significativa para los mismos puntos en los diferentes monitoreos.

En términos de la categoría que presenta el fósforo disponible para los puntos en los diferentes monitoreos de este sector, sólo en M1 en la mayoría de los puntos, el potasio de encuentra en el rango **muy bajo**, en las restantes evaluaciones la disponibilidad de potasio varía de **muy bajo** a **muy alto**, siendo mayoritariamente **muy bajo** y **bajo** (**Figura N° 12-65**).

En este sector, los resultados de los monitoreos no presentan correlación entre ellos y los valores obtenidos para los puntos presentan una variación significativa entre los diferentes monitoreos (**Figura N° 12-65**). Este comportamiento es normal de este sistema, por cuanto los factores que determinan la disponibilidad de este elemento están en relación directa con el tipo de suelo, que tal como se indicó anteriormente, es muy heterogéneo, incluso en un mismo punto, dado los diversos orígenes de los materiales parentales que lo constituyen.

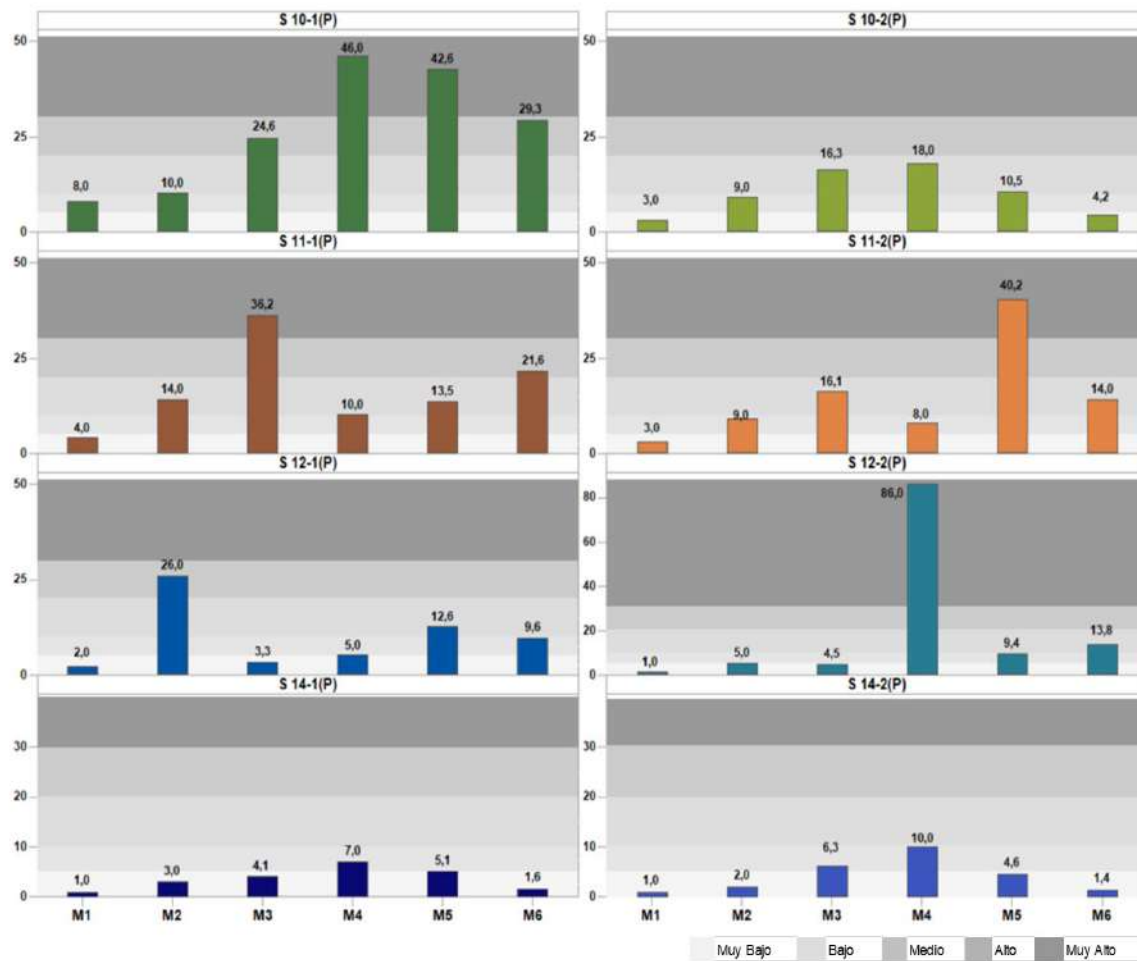
**Figura N° 12-65: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia

En el sector de **Peine**, se observa un aumento en la concentración de fósforo en la mayoría de los puntos a partir de M2, siendo estos valores superiores a los determinados para M1, aumentando en la mayoría de ellos su categoría, ver **Figura N° 12-66**. En todos ellos se observan variaciones significativas en la concentración de este elemento, para los mismos puntos entre monitoreos.

**Figura N° 12-66: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia

En este sector, no existe una relación directa entre de los resultados para los mismos puntos entre monitoreos, se observa una gran variabilidad en la concentración de fósforo, lo que indica que este sería el comportamiento normal de este parámetro, esto basado en que la mayoría de los factores que inciden en la disponibilidad se relacionan con las propiedades fisicoquímica del suelo, y tal como se ha mencionado este es muy heterogéneo, debido a la diversidad de materiales que lo conforman.

En el sector de **Tilopozo**, en la mayoría de los puntos (S 1-2, S 2-1, S 7-2, S 9-2 y S 13-2), se observa un aumento en la concentración de fósforo a partir de M2, siendo leve en M3, un poco mayor en M4 para alcanzar el máximo en M5 y presentar un leve descenso en M6. (**Figura N° 12-67**). En los restantes puntos la variación en la concentración no presenta una tendencia por cuanto pueden subir en uno y bajar en otros.

En este sector, la variabilidad en la concentración para los mismos puntos entre monitoreos es tal, que en M1 la mayoría de los puntos se ubica en el rango de disponibilidad **muy baja**,

---

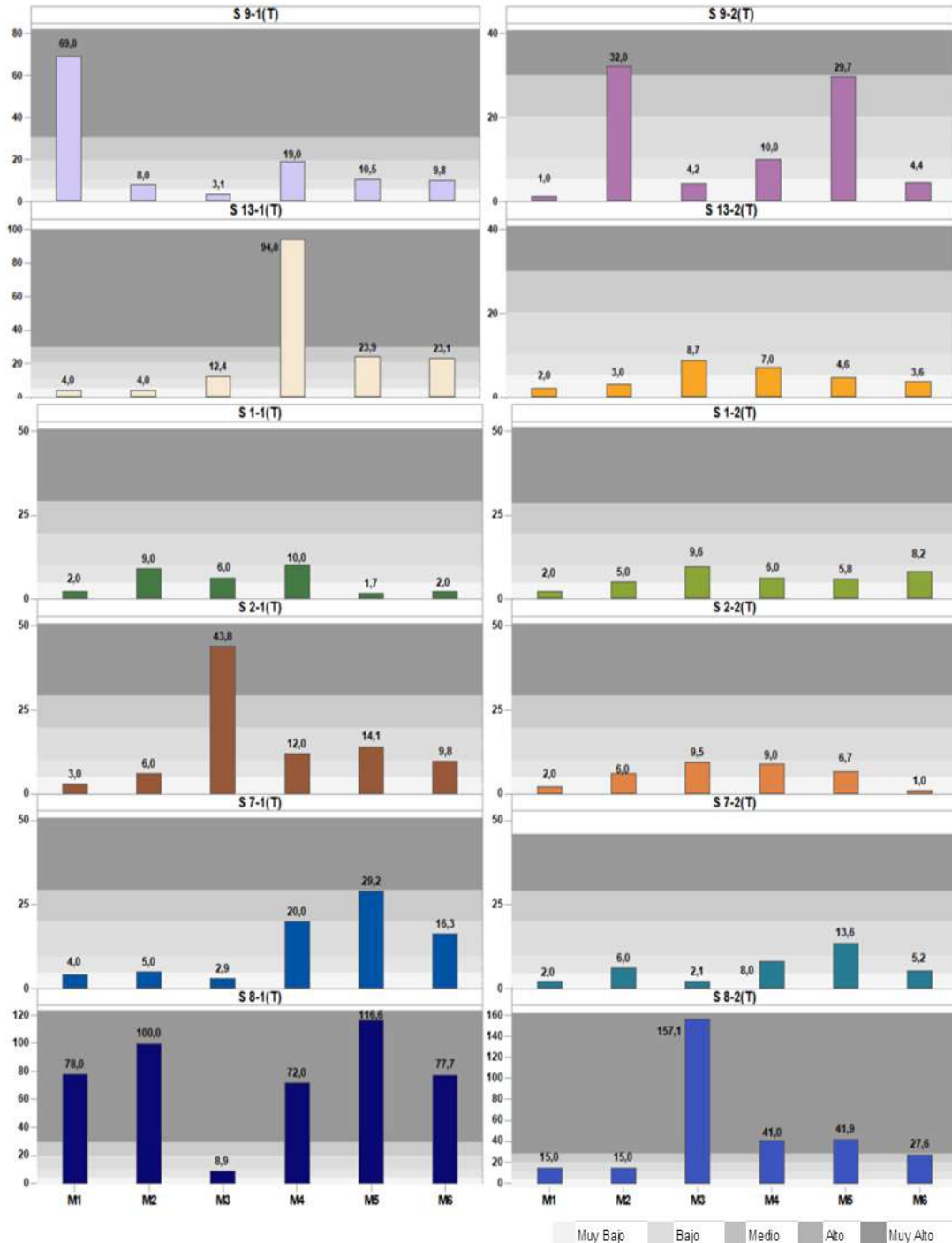
umentando a disponibilidad **baja y media** en los restantes monitoreos. Por su parte, la categoría **alta** sólo se presenta en un reducido número de puntos en M5 y M6, y la categoría **muy alta** está presente en todos los monitoreos, pero en un reducido número de puntos, ver **Figura N° 12-67**.

Para el sector de **Tilopozo**, no se observa una relación directa entre los resultados para los diferentes monitoreos, determinándose concentraciones con una significativa variación para los diferentes monitoreos (**Figura N° 12-67**). En general, este sector se caracteriza por presentar en la mayoría de los puntos niveles **muy bajo** de este elemento. Dichas variaciones estarían explicadas por la heterogeneidad de los suelos, dado los diferentes materiales parentales que los constituyen.

La disponibilidad de este macroelemento está determinada por múltiples factores, destacando entre ellos el tipo de suelo, el material parental, clima, erosión, pH, materia orgánica y humedad.

La condición heterogénea de los materiales que constituyen los suelos en el área y su accionar sobre los otros factores, explicaría las variaciones en la concentración de los mismos puntos para los diferentes monitoreos, indicando además que no existen actividad antrópicas locales, que afecten la concentración del fósforo.

**Figura N° 12-67: Resultados Fósforo (mg/kg). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo.**



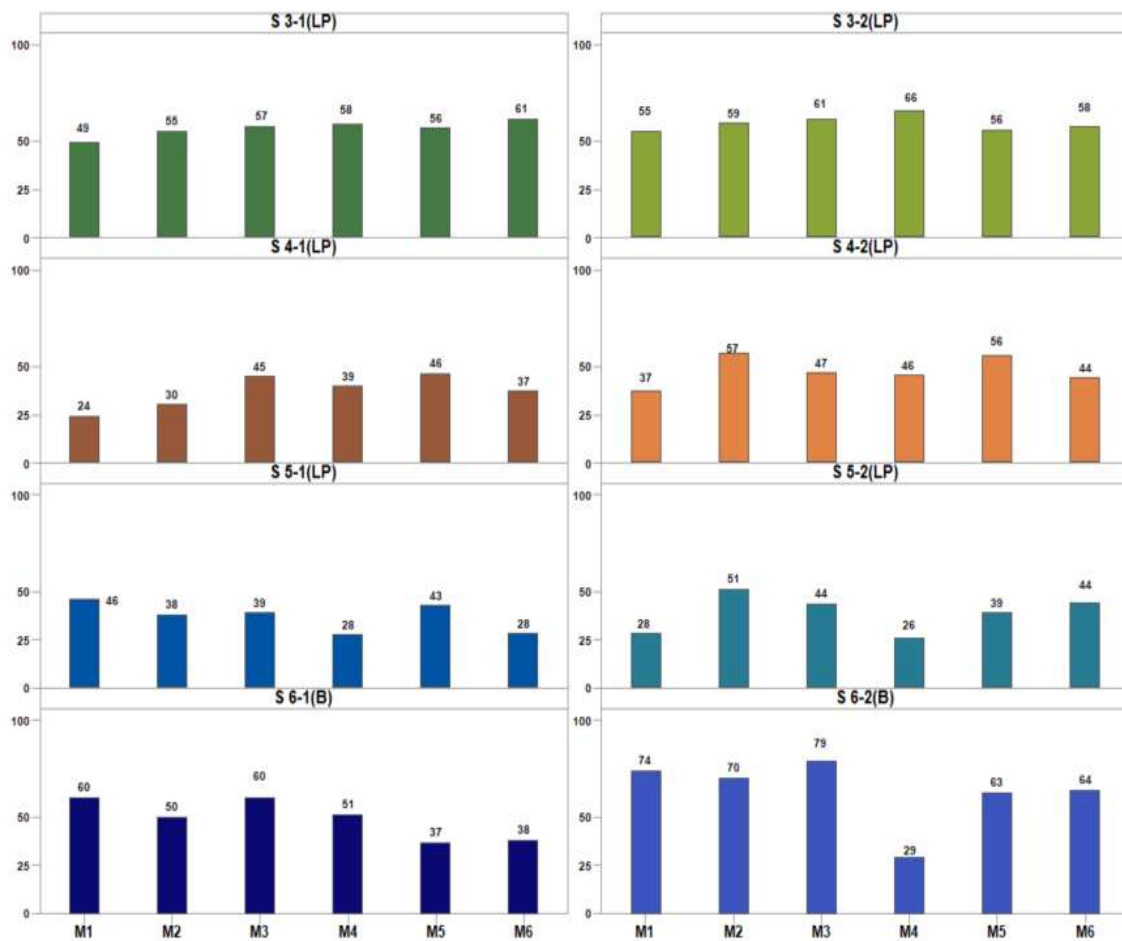
Fuente: Elaboración Propia

**12.4.2.7 Humedad**

En **La Punta-La Brava**, no se observan en general diferencias marcadas en la estacionalidad de muestreo de esta variable, esto dado la existencia de las lluvias estivales que son recurrentes todos los años lo que permite disminuir la brecha entre verano e invierno.

En la mitad de los puntos de muestreo (S 3-1, S 3-2, S 4-1 y S 4-2), el porcentaje de humedad del suelo aumenta levemente a partir del monitoreo M2 respecto a M1, no obstante disminuye en los puntos S 5-1 y S 6-1 (**Figura N° 12-68**).

**Figura N° 12-68: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector La Punta-La Brava.**



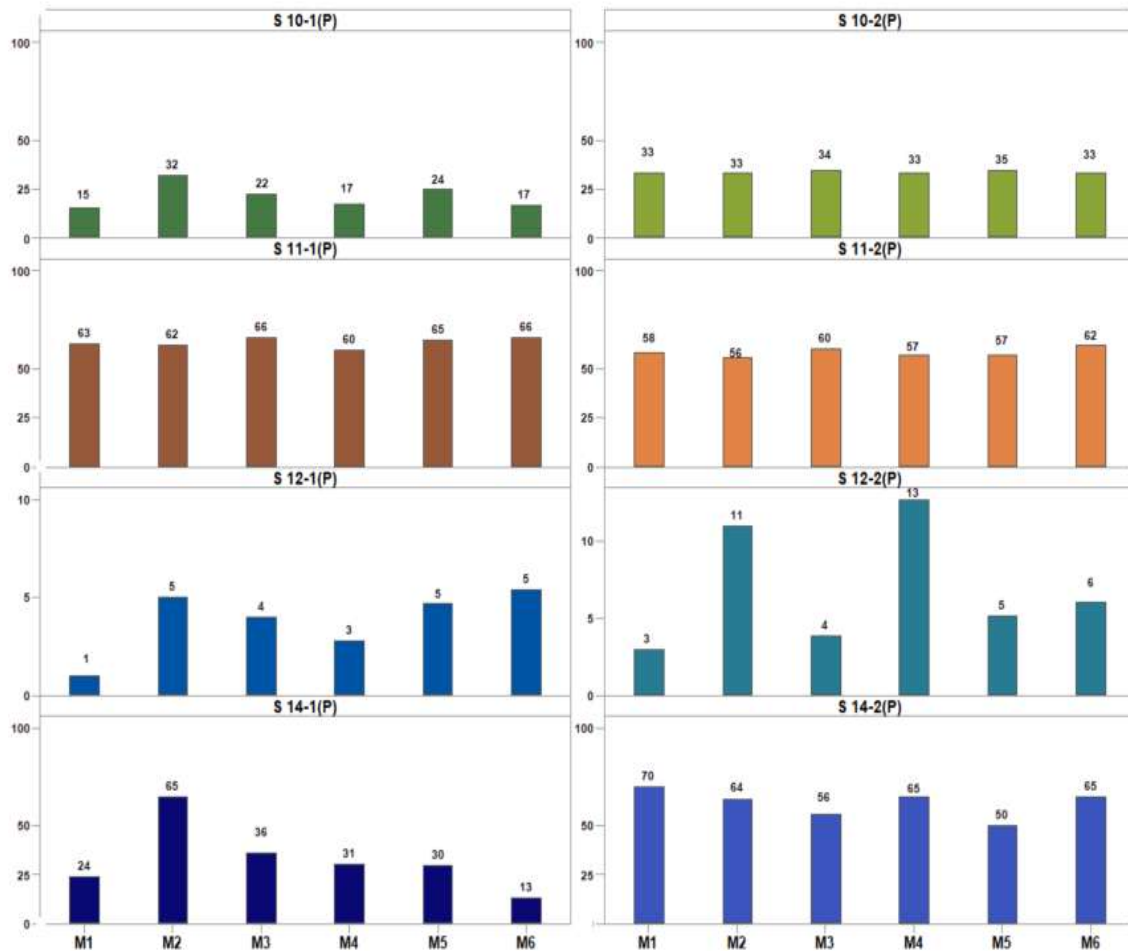
Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en la **Figura N° 12-67**, en general los puntos de mayor porcentaje de humedad tienden a ser los mismos en M1, M2, M3, M5 y M6 y no así en M4 donde presentaron una disminución en su porcentaje de humedad.



Para el sector de **Peine**, en la mayoría de los puntos de los monitoreos M1, M3, M4, M5 y M6, la humedad presenta un comportamiento similar en términos de porcentajes altos y bajos de humedad, los cuales corresponden a los mismos puntos. **(Figura N° 12-69)**

**Figura N° 12-69: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa en **Figura N° 12-69**, el porcentaje de humedad para los mismos puntos en los diferentes monitoreos es levemente variable. 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 leve aumento o mantención general en el contenido de humedad de la mayoría de los puntos, excepto para S 14-1, donde se puede observar una disminución notoria en sus porcentajes de humedad desde M2 a M6.

En el sector de **Tilopozo**, para todos los monitoreos, los puntos S 1 y S 2 son los que presentan el menor porcentaje de humedad (**Figura N° 12-70**), condición que se presenta

tanto en superficie como en profundidad. Estos puntos se encuentran asociados a suelos de textura gruesas y en la base de conos aluviales, lo que implica una menor retención de agua en el perfil.

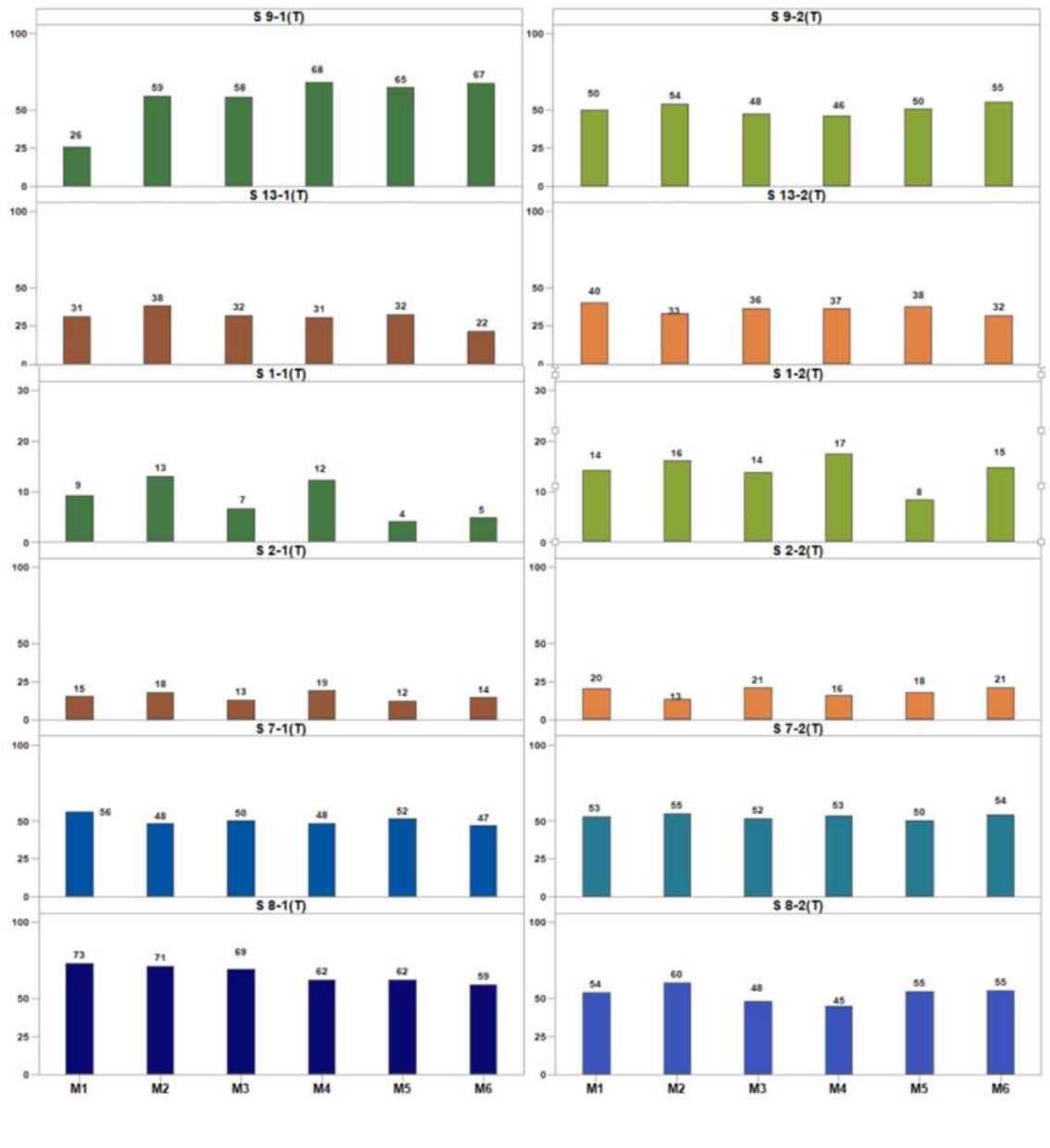
Otro punto con bajo contenido de humedad, respecto al resto es S 13, el cual se asocia a suelos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas donde es probable que los macroporos sean dominante, esta condición implica una menor retención de humedad en el perfil de suelo. Los restantes puntos de muestreo, en su mayoría presentan porcentaje altos de humedad, excepto el punto S 9-1 en M1, el que no obstante ha mostrado un ascenso sostenido hacia M6.

Tal como se observa en la **Figura N° 12-70**, el porcentaje de humedad para los mismos puntos en los diferentes monitoreos es levemente variable. Sin embargo, se puede observar que en general, tanto los puntos de mayor como los de menor porcentaje, son los mismos para todos los monitoreos, indicando estabilidad del sistema en este sector a lo largo de los monitoreos.

En términos generales, para el área estudio si bien, se observan comportamientos generales tendientes a la estabilidad en los puntos de monitoreados, es relevante consignar que la humedad presenta variabilidad entre los mismos puntos a diferentes profundidades para los diferentes monitores, como también dentro de cada sector. Este comportamiento se debe a que el contenido de humedad del perfil está relacionado principalmente con el tipo de suelo del horizonte muestreado, destacando la textura y cantidad de macroporos, lo que implica una mayor o menor retención de humedad en el perfil.

Asociando el nivel freático con la humedad observada, en aquellos puntos donde se detecta agua a profundidad de trabajo, aun cuando ésta presenta fluctuaciones, estas no explicarían dichas variaciones en la humedad, más aún considerando que en algunos puntos no se detectó nivel freático a profundidad de trabajo.

**Figura N° 12-70: Resultados Humedad (%). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6. Sector Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia

### 12.4.2.8 Textura

En el sector de **La Punta-La Brava**, en la mayoría de los puntos S 6 y S 3, dominan los suelos de textura media (**franca** y **franco limosa**), siendo menos frecuentes las texturas moderadamente gruesa (**franco arenosa**) y gruesa (**areno francosa**). Mientras que, en los suelos de los puntos S 4-1, S 4-2 y S 5-2, domina la textura moderadamente gruesa (**franco arenosa**) y con una escasa participación, lo hacen la gruesa (**areno francosa**) y muy gruesa (**arenosa**). En cambio, en el punto S 5-1, la textura dominante corresponde a gruesa (**areno francosa**) y con una muy escasa frecuencia, se presentan los suelos de textura muy gruesa (**arenosa**) y moderadamente gruesa (**franco arenosa**), **ver detalle en Anexo 2 Suelo o Sustrato**.

En el sector de **Peine**, no se observa una clara dominancia de una textura en los suelos de los diferentes puntos de muestreos, siendo ésta muy variable para los mismos puntos en los diferentes monitoreos. En este sector se presentan las texturas muy gruesa (**arenosa**), gruesa (**areno francosa**), moderadamente gruesa (**franco arenosa**), media (**franca**), moderadamente fina (**franco arcillosa**, **franco arcillo limosa** y **franco arcillo arenosa**) y muy fina (**arcillosa**), **ver detalle en Anexo 2 Suelo o Sustrato**.

En **Tilopozo**, los suelos de la mayoría de los puntos de muestreos (S 2-2, S 7-1, S 7-2, S 8-1, S 9-1, S 9-2 y S 13-1), la textura dominante es media (**franca** y **franco limoso**) y con una menor participación se presentan suelos cuya textura es moderadamente fina (**franco arcilloso** y **franco arcillo limoso**) y moderadamente gruesa (**franco arenoso**). En los restantes puntos, las texturas más frecuentes corresponden a moderadamente gruesas (**franco arenosa**), media (**franca**, **franco limoso**), moderadamente fina (**franco arcilloso**, **franco arcillo arenoso** y **franco arcillo limoso**) y con un menor frecuencia la textura gruesa (**areno francosa**) y siendo muy escasa en el área la textura muy gruesa (**arenosa**), **ver detalle en Anexo 2 Suelo o Sustrato**.

### 12.4.2.9 Nivel Freático

En la **Figura N° 12-71**, se indica la profundidad medida del nivel freático desde la superficie del suelo a lo largo de los monitoreos realizados.

Es necesario señalar que aquellos puntos en los cuales no se indica presencia de nivel freático, no implica necesariamente que éste no exista, ya que es posible este a una mayor profundidad de la prospectada.

**Tabla N° 12-40: Profundidad Nivel Freático (cm). Monitoreos M1, M2, M3, M4, M5 y M6.**

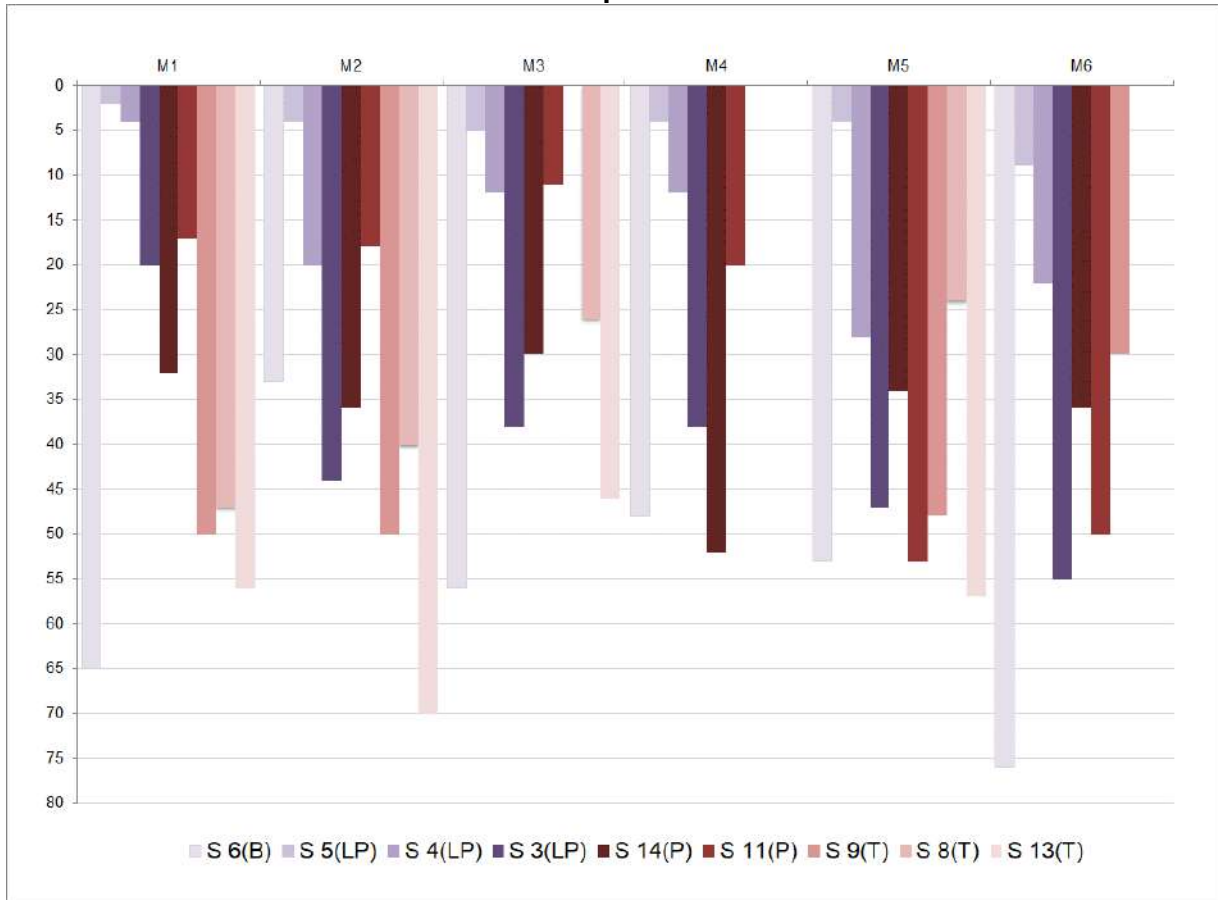
Sector	ID punto de muestreo final de suelo	Nivel freático (cm)					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Tilopozo	S 1	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 2	---	---	---	---	---	---
La Punta	S 3	20	44	38	38	47	53
La Punta	S 4	4	20	12	12	28	22
La Punta	S 5	2	4	5	4	4	9
La Brava	S 6	65	33	56	48	53	76
Tilopozo	S 7	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 8	47	40	26	---	24	38
Tilopozo	S 9	50	50	---	---	48	30
Peine	S 10	---	---	---	---	---	---
Peine	S 11	17	18	11	20	53	50
Peine	S 12	---	---	---	---	---	---
Tilopozo	S 13	56	70	46	---	57	---
Peine	S 14	32	36	30	52	34	36

Fuente: Elaboración Propia

En lo referente a los niveles freáticos durante el Monitoreo 1, se detectaron 9 puntos de muestreo con el nivel freático a profundidad de trabajo, este número permanece constante en M2, disminuyendo a 8 para M3, a 6 para M4, aumentando a 9 en M5 y disminuyendo a 8 en M6 (ver, **Figura N° 12-71** y **Tabla N° 12-40**).

Respecto a la profundidad del nivel freático en el área de estudio, y tal como se aprecia en la **Figura N° 12-71**, en general no existe una relación entre la época de muestreo y la profundidad de este. Para el área de estudio, el punto más estable respecto a la profundidad corresponde al S 5 (Sector La Punta), siendo este el que se sitúa más superficial en todos los monitoreos. En los restantes puntos, se presentan variaciones significativas en la profundidad, observándose aumento y disminución para la mayoría de los puntos entre monitoreos.

**Figura N° 12-71: Profundidad nivel freático (cm). Sectores La Punta-La Brava, Peine y Tilopozo.**



Fuente: Elaboración Propia

Respecto a este parámetro se observa en general una clara tendencia fluctuante respecto a la profundidad a la cual es detectada en los diferentes monitoreos, incluso en algunos se profundiza a tal punto que no se detecta a nivel de trabajo, reapareciendo en el monitoreo siguiente.

En cuanto al aporte de las precipitaciones, y basado en los antecedentes del último monitoreo, no son relevantes para M6 por cuanto, en general los niveles freáticos se presentaron a mayor profundidad en relación a M5, excepto en las calicatas S 14 (Peine) y S 9 (Tilopozo). La explicación a esta situación puntual, se debería a que aun cuando el volumen de agua fue muy alto, esto ocurrió en un corto tiempo, lo que implica que el agua no infiltra y sólo escurre superficialmente, principalmente por dos condiciones: la primera es la rápida saturación de los primeros centímetros del suelo, lo que impide la infiltración del agua en profundidad y en segundo, lugar el poco tiempo en el cual el agua permanece sobre la superficie, tanto por escurrimiento, como por evaporación.

## 12.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)

Los resultados señalan que tanto para el monitoreo de invierno 2018 como para el monitoreo de verano 2019, los parámetros físicos y químicos analizados en los tres sectores de estudio estuvieron en general dentro de los rangos determinados para estos sistemas según el marco de referencia utilizado (Plan de Manejo Biótico). Aun así, en algunos parámetros se observan valores fuera del rango de variación mínimo-máximo respecto a los registros recopilados en la Línea de Base de dicho PMB. Cabe mencionar que la calidad natural del agua superficial de la cuenca del Salar de Atacama, está fuertemente influenciada por la litología que es rica en sales y metales, la edafología interviene de manera considerable en las características de salinidad de las aguas y que en la cuenca se encuentran yacimientos de bórax, litio, sodio y potasio, lo que muestra que es muy rica en sales que intervienen en el aumento de la conductividad específica, cloruros y sulfatos (CADE-IDEPE Consultores, 2004).

El sistema de lagunas del Sector Peine se caracterizó por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, además de altas temperaturas acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua. La conductividad muestra un marcado incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna, además de variaciones temporales con mayores valores en verano 2019, alcanzando los 212.600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en I-17 que corresponde a una salinidad de 105 g/kg. Cabe mencionar que la conductividad detectada en I-17 en esta campaña, ha sido la más alta registrada durante los monitoreos del PMB, no superando a la LB en verano. Por otra parte las lagunas de ese sector presentaron un marcado carácter básico, esto en concordancia con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados.

El Sector La Punta y La Brava, se caracterizó por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, además de altas temperaturas acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua, Se observó un incremento en conductividad y salinidad desde la laguna La Punta hacia La Brava, alcanzando los 165.100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en LB-2, correspondiente a una salinidad de 81 g/kg en verano de 2019. En La Brava, las mayores diferencias se distinguen en la estación LB-3, punto voluntario de medición ubicado en la desembocadura de un afluente a Laguna La Brava, registrando menor valor en aquellos parámetros vinculados a conductividad y salinidad. La Punta y La Brava, presentaron valores alcalinos de pH por sobre un valor de 8, esto en concordancia con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados. En este sistema, el oxígeno disuelto también presentó concentraciones bajas, principalmente en La Brava, lo cual se relaciona con las altas temperaturas y salinidades registradas, que generan una menor solubilidad del oxígeno en el agua.

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo, muestran un sistema con menor conductividad eléctrica, salinidad y cloruro que los otros sectores de estudio y un pH entre neutro y alcalino, condición esperable dada las características propias de estas estaciones de sistema de vegas. Las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas profundas y TB-2 una laguna somera en invierno que se transformó en un pajonal hídrico en verano por la menor cantidad de agua encontrada. En verano 2019 se encontró sin agua esta estación al momento del monitoreo.

Es importante destacar, que en el caso del sedimento, sólo se efectuó una campaña de levantamiento de datos en el año 2015 para la elaboración del PMB de la Adenda 5, por lo que los desvíos con respecto a dichos datos, pueden deberse a la variación estacional. Los resultados descritos para las estaciones del sector Peine y del sector La Punta y La Brava, presentan valores sobre el máximo registrado para la línea base (PMB), para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total. En el caso de la materia orgánica y COT, están relacionados directamente con actividad biológica y aunque los sedimentos son relativamente ricos en materia orgánica, gran parte de esa materia orgánica es aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica. El alto contenido de fósforo puede deberse a la misma razón. Cabe señalar que el potencial redox en todas las estaciones presentó características reductoras.

Los análisis granulométricos de la línea base en verano 2015 (PMB), indican que los tipos de grano medio para este sector estuvieron entre limo y arena muy gruesa con grados de selección *Muy pobremente seleccionado*, el cual corresponde a un rango mayor de tamaño de grano medio a lo encontrado en cada uno de los sectores estudiados en invierno 2018, los que se encontraron entre *arena muy fina* y *arena media*.

Para el caso de las comunidades biológicas, en general mostraron valores dentro de los registros esperados de acuerdo a los estudios previos.

Las comunidades de microalgas, Fitobentos y Fitoplancton en general presentaron valores de riqueza de géneros y abundancia dentro o por sobre estos registros históricos de las campañas invierno y verano de línea de base contempladas en el Plan de Manejo Biótico.

Para los invertebrados, zoobentos y zooplancton, los valores tanto de abundancia como de riqueza, en su mayoría corresponden al rango determinado por los estudios anteriores o muestran valores superiores a estos registros.

Dentro de los invertebrados, destaca el caracol de la Familia Hydrobiidae, *taxa* que de acuerdo a los estudios anteriores corresponde a *Heleobia atacamensis*, al menos para el Sector Tilopozo, esta es una especie clasificada como En Peligro Crítico de acuerdo a la



legislación vigente. Esta familia se registró en los tres sectores estudiados, situación que podría ampliar el rango de distribución de *Heleobia atacamensis*.

Las plantas vasculares acuáticas (macrófitas) registradas corresponden a *taxa* detectados en los estudios previos, y que no están clasificados en alguna categoría de conservación. En esta componente, se destaca la diferencia que presentaron las estaciones de la vega de Tilopozo respecto de las estaciones de Peine y La Punta y La Brava. En relación a las lagunas fue detectado el género *Ruppia*, taxón típico de ambientes salobres e hidrófito y las helófitas también de ambientes salobres *Sarcocornia fruticosa*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna*. En tanto, en las vegas se observaron especies de ambientes dulces a salobres como *Zannichellia palustris*, *Juncus balticus*, *Baccharis* sp., *Distichlis spicata* y *Schoenoplectus californicus*.

Si bien, este estudio no contempló la evaluación de fauna íctica, ésta fue registrada por observación directa solamente en Sector Tilopozo, en las estaciones TB-1, TB-2 y TB-3 durante invierno y en TB-1 y TB-2 durante verano. Cabe señalar que no se realizó capturas de individuos, ni se efectuó pesca eléctrica, en ninguna de las estaciones de monitoreo. Las observaciones corresponden a individuos del género *Gambusia*, un pequeño pez originario del hemisferio norte que ha sido introducido en distintos lugares del planeta con el fin de ayudar en el control de mosquitos o zancudos que son vectores de enfermedades. No tiene algún grado de amenaza a su conservación de acuerdo a la legislación vigente.

### **12.5.1.1 Comparación Invierno 2018 y Verano 2019**

#### 12.5.1.1.1 Calidad de agua

En general, los registros de parámetros de calidad de agua en el sector de **Peine** para invierno de 2018 y verano 2019, estuvieron dentro de los rangos determinados para este sistema según el marco de referencia utilizado (Plan de Manejo Biótico). Este sistema de lagunas se caracterizó por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros (máximo de 202.753 mg/L en I-17 en verano 2019). La conductividad mostró un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna en ambos periodos, siendo mayores los valores en verano 2019, alcanzando los 212.600  $\mu$ S/cm en I-17 que corresponde a una salinidad de 105 g/kg. Cabe mencionar que la conductividad detectada en I-17 en esta campaña, ha sido la más alta registrada durante los monitoreos del PMB, no superando a la LB en verano (**Tabla N° 9-9** y **Tabla N° 9-32**). Según el Sistema de Venecia de 1959 (*The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity*), las aguas pueden discriminarse en aguas dulces (con valores de salinidad total <0,5 g/L), aguas oligohalinas (0,5 a 4 g/L), mesohalinas (4 a 18 g/L), polihalinas (18 a 30 g/L), euhalinas (30- 40 g/L, el promedio del agua de mar oceánica tendría un valor de 34,9 g/L) y aguas hipersalinas (>40 g/L) (Ribera, 2016), por lo que el

agua del sistema de Peine se encuentra entre aguas mesohalinas a hipersalinas para los periodos invierno 2018 y verano 2019, incrementándose desde laguna Salada hacia laguna Interna.

Las altas temperaturas fueron en general acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua, incrementándose también desde laguna Salada hacia laguna Interna en ambos periodos (de 6,4 a 23°C en invierno 2018 y desde 14,1° a un máximo registro de 30,1°C en I-17 en verano 2019) (**Tabla N° 9-9** y **Tabla N° 9-32**).

Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentaron un carácter básico de manera conservativa entre invierno 2018 y verano 2019, con un pH en general por sobre un valor de 8 (en concordancia con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados) alcanzando las 8,5 unidades de pH en laguna Salada (S-5) en invierno 2018. Para el caso del carbonato y la alcalinidad parcial (con la mayoría de los valores bajo el límite de detección de análisis) solo fueron altos en S-5 en invierno 2018, lo que explicaría el incremento de pH básico en esa estación y temporada (**Tabla N° 9-9** y **Tabla N° 9-32**).

Respecto al oxígeno disuelto en Peine, las concentraciones fueron variables, con un registro mínimo de 0,3 mg/L en I-17 (laguna Interna) en verano de 2019 y un máximo de 7,2 mg/L en S-9 (laguna Salada) en invierno de 2018, lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en los distintos períodos, que genera una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Otro parámetro a considerar fue el sulfato, que registró altos valores de concentración tanto en invierno como en verano (entre 883,9 y 7367,5 mg/L), siendo mayores en verano 2019 en todas las estaciones, registrándose los valores máximos en laguna Interna (I-17). Los valores de los parámetros de nitrógeno amoniacal, nitrógeno total Kjeldhal y ortofosfato, estuvieron en general por debajo del límite de detección en ambas campañas. Las concentraciones de fósforo fueron en general bajas en todas las estaciones y en ambas campañas, exceptuando por un leve incremento en SA-25 (laguna Saladita) en invierno 2018, donde también se observó un incremento de la Clorofila “a” y la Clorofila en Perifiton (**Tabla N° 9-9** y **Tabla N° 9-32**). Tal relación puede estar dada por el incremento de la actividad fotosintética, propiciada por el aumento del fósforo (aunque sea menor), ya que se considera como nutriente, muchas veces limitante, para el crecimiento microalgal.

Los registros obtenidos durante ambos monitoreos para las estaciones de **La Punta y La Brava**, mostraron un sistema de lagunas caracterizado por aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, con un máximo registro de este último parámetro de 144.744 mg/L en La Punta (LP-24), seguido por un valor de 135.029 mg/L en La Brava (LB-2), ambos en verano 2019. Se observó un incremento en conductividad y salinidad desde la laguna La Punta hacia La Brava, alcanzando los máximos para este parámetro en La Brava (LB-2) en verano 2019 con 165.100  $\mu\text{S/cm}$  y 81 g/Kg, respectivamente. En esta laguna, los menores valores de conductividad se distinguen en la estación LB-3, punto voluntario de medición ubicado en la desembocadura de un afluente a Laguna La Brava, registrando valores entre 30.360  $\mu\text{S/cm}$

(invierno 2018) y 67.980  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (verano 2019) (**Tabla N° 9-10** y **Tabla N° 9-33**). Según el sistema de Venecia de 1959, los registros de salinidad obtenidos en LB-1 y LB-2, tanto en invierno 2018 como en verano 2019, clasifica esta agua como hipersalina ( $>40$  g/L) (Ribera, 2016), lo que está en concordancia con los estudios de Farías *et al.* (2014) y Fernandez *et al.* (2016), quienes especifican que las condiciones ambientales dadas en la laguna La Brava se caracterizan por (1) una alta radiación solar debido a una menor presión barométrica a gran altura, (2) fluctuaciones extremas de la temperatura, típica de los ambientes desérticos, (3) cambios extremos en la salinidad debido a la evaporación neta que produce agua hipersalina y (4) altas concentraciones de litio, boro y arsénico.

Se registraron mayores temperaturas en laguna La Brava respecto a laguna La Punta, en ambos periodos monitoreados, los cuales están acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (máximo de 27,7°C en LB-3 en verano 2019 y mínimo de 9°C en LP-24 en invierno 2018) (**Tabla N° 9-10** y **Tabla N° 9-33**).

Por otra parte las lagunas La Punta y La Brava, presentaron valores alcalinos de pH cercanos a un valor de 8 en la mayoría de las estaciones en ambos períodos, exceptuando por un pH de 6 en LB-3 en invierno 2018. Tales registros están en concordancia con los valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados, junto con los valores de carbonato y alcalinidad parcial, que si bien en su mayoría fueron valores bajo el límite de detección de análisis, se registró un incremento de estos LP-24 en invierno 2018, lo que explicaría el incremento de pH en esa estación y campaña, que alcanzó un máximo para el sector de 8,5 unidades (**Tabla N° 9-10** y **Tabla N° 9-33**).

En La Punta y La Brava, el oxígeno disuelto presentó concentraciones comparativamente más bajas en verano 2019 respecto de invierno 2018, en todas las estaciones monitoreadas en este sistema lagunar (mínimo 1,7 mg/L en LB-2 en verano 2019 y máximo 8,3 mg/L en LB-3 en invierno 2018), lo cual se relaciona con las mayores temperaturas registradas en verano que genera una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Cabe mencionar que la alta concentración de oxígeno en LB-3 en invierno 2018, se pudo deber a una mayor actividad fotosintética dada en esa ocasión y lugar, condiciéndose con la Clorofila "a" y la Clorofila en Perifiton que alcanzaron sus máximas concentraciones en esa estación y campaña, con 20,9  $\mu\text{g}/\text{L}$  y 0,64 mg cl-a/m<sup>2</sup>, respectivamente. En el caso del nitrito y nitrato, los mayores valores se registraron en verano de 2019, lo cual puede estar relacionado con el mayor nivel trófico del sistema. Otro parámetro a considerar fue el sulfato, que registró altos valores de concentración tanto en invierno como en verano, observándose una tendencia de incrementarse desde laguna La Punta a La Brava (mínimo de 1.573,3 mg/L en LP-24 en invierno 2018 y máximo de 12.861 mg/L en LB-3 en verano 2019) (**Tabla N° 9-10** y **Tabla N° 9-33**).

En un contexto geoquímico, cabe señalar que el Salar de Atacama comprende dos unidades principales en su territorio: un núcleo y una zona marginal. El núcleo (1.100 km<sup>2</sup> y 900 m de espesor) consiste en un haluro poroso (90%) impregnado con una salmuera de cloruro de

sodio rica en litio, potasio, magnesio y boro, la cual ocupa los intersticios del haluro. La zona marginal del Salar que rodea el núcleo, consiste en sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos, especialmente yeso (Alonso y Risacher 1996). En el caso de la laguna La Brava se encuentra ubicada en la zona marginal (Farías *et al.*, 2014), al igual que laguna La Punta y las lagunas Salada, Saladita e Interna del sistema de Peine. Esto concuerda con las altas concentraciones de sulfato encontradas en ambos sistemas. Cabe mencionar que las mayores conductividades, salinidades y concentraciones de sulfato, se registraron en las estaciones más cercanas al núcleo del salar (La Brava e Interna), en concordancia con lo descrito anteriormente.

Los valores obtenidos en el sector de **Tilopozo**, muestran un sistema con menor conductividad eléctrica (entre 4.481 y 4.202  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), salinidad (2 gr/Kg) y cloruro (entre 1.326 y 935 mg/L) que los otros sectores de estudio, condición esperable dada las características propias de estas estaciones de sistema de vegas y de su lejanía del núcleo del salar. Se registró un pH principalmente neutro (6,9 a 7,7), con valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 334 y 381 mg/L. Respecto a los parámetros mencionados para este sector, no se observaron importantes variaciones o diferencias entre invierno 2018 y verano 2019. Las temperaturas en general fueron altas (entre 24,9 y 26°C para TB-1 y TB-3), exceptuando por TB-2 con un registro de 6,7°C en invierno 2018. Si bien las estaciones del sector Tilopozo se encuentran cercanas entre sí, éstas presentan diferencias, observándose valores similares para algunos parámetros entre las estaciones TB-1 y TB-3, a diferencia de la estación TB-2, en relación a la temperatura, pH, conductividad específica, oxígeno disuelto, alcalinidad total, bicarbonato, sulfato, nitrato, clorofila “a” y turbiedad. Esto se relaciona con que las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de 1,5 a 2 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial, respectivamente, y TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad. Cabe mencionar que esta última se encontró sin agua en verano 2019. Ahora bien, en invierno 2018: la clorofila “a” en fitoplancton presentó un rango amplio de valores entre <0,02 y 47,22  $\mu\text{g}/\text{L}$ . Este último valor se registró en la estación TB-2 siendo el mayor para el sector, que si bien podría indicar que corresponde a un sistema Eutrófico (entre 25 y 75  $\mu\text{g Cl-a}/\text{L}$  según la normativa de referencia de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE, 1982), también se relaciona con que esa estación correspondió a una zona inundada (vega) de baja profundidad con alta concentración vegetal (**Tabla N° 9-10** y **Tabla N° 9-33**).

#### 12.5.1.1.2 Calidad de sedimentos

Los resultados descritos para las estaciones del sector **Peine** (laguna Salada, Saladita e Interna), tanto para invierno 2018 como verano 2019, presentan porcentajes de materia orgánica en general sobre un 10%, con un máximo registrado de 21,61% en S-5 (laguna Salada) en verano 2019, valores que se corresponden con el contenido de carbono orgánico

total (COT) con un máximo de 125,4 g/Kg también en la misma estación y campaña. Comparativamente, la materia orgánica y COT fueron mayores en verano 2019 respecto a invierno 2018 en laguna Salada, en laguna Saladita tendieron a ser similares y en laguna Interna la estación I-11 tuvo los registros más bajos para estos parámetros en verano 2019, mientras que en I-17 tuvo mayores valores para la campaña de verano 2019. Para el caso del nitrógeno total Kjeldahl, presentó mayores concentraciones principalmente en laguna Salada alcanzando un máximo de 7,1 g/Kg en S-5 (verano 2019). Estos parámetros del sedimento están relacionados directamente con actividad biológica, dado por los subproductos orgánicos e inorgánicos de microorganismos halofílicos, que por lo demás pueden afectar la morfología, cinética de precipitación y la ocurrencia de los distintos minerales de evaporitas que se forman en estos sistemas. Aunque los sedimentos tienden a ser relativamente ricos en materia orgánica, gran parte de esa materia orgánica es aparentemente recalitrante a la degradación microbiana anaeróbica (Javor, 1989). El alto contenido de fósforo puede deberse a la misma razón, el cual tuvo mayores concentraciones en invierno 2018 respecto a verano 2019, observándose también una disminución en la concentración de este parámetro desde laguna Salada (277,21 mg/Kg en S-5, invierno 2018) a laguna Interna (11,89 mg/Kg en I-17, verano 2019) (**Tabla N° 9-12** y **Tabla N° 9-35**).

Cabe señalar que el potencial redox en las lagunas de Peine presentó características reductoras en todas las estaciones y en ambas campañas (invierno 2018 y verano 2019), con valores en general mayores en invierno 2018 (máximo de -190,1 mV en S-10), pero conservando la condición de ambientes de características reductoras. Esto se relaciona con las características los sedimentos de esta zona marginal del Salar (que rodea el núcleo), que corresponden a sedimentos salinos delgados ricos en sulfatos, especialmente yeso (Alonso y Risacher 1996) (**Tabla N° 9-12** y **Tabla N° 9-35**).

Respecto de los análisis granulométricos del sector de Peine en invierno 2018 (**Tabla N° 9-13**), los resultados mostraron que el diámetro medio de grano obtenido, estuvo comprendido entre *arena fina* y *arena media* (de 0,232 a 0,382 mm de diámetro), con un grado de selección de *Pobrementemente seleccionado* a *Muy pobrementemente seleccionado*. Tales grados de selección implican que la composición granulométrica de los sedimentos presentó varios tipos de tamaño de arena y limo, pero principalmente *arena fina* a *arena media* en Laguna Salada y Laguna Saladita y *arena media* de mayor diámetro en Laguna Interna.

Cabe mencionar que en verano 2019 no se pudo llevar a cabo ningún análisis granulométrico en laboratorio debido a factores técnicos explicados por la ETFA encargada de realizar los análisis (ANAM S.A.) en la Carta R64/2019 incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos** (ver acápite 9.2.3.2 Resultados Calidad de sedimentos).

Los resultados descritos para las estaciones de **La Punta** y **La Brava**, muestran que los parámetros de carbono orgánico total (COT) y materia orgánica tendieron a ser estables en

laguna La Punta al comparar invierno 2018 y verano 2019, observándose entre 11,78% en LP-23 (invierno 2018) y 14,38% en LP-24 (verano 2019) de materia orgánica, correspondiente a 68,3 y 83,4 g/Kg de COT, respectivamente. Mientras que en La Brava, se observó mayor variabilidad en estos parámetros, registrándose el máximo de 126,3 g/Kg de COT en LB-3 en invierno 2018 (21,77% de materia orgánica) y el mínimo de 40,4 g/Kg de COT en LB-1 en verano 2019 (6,96% de materia orgánica). Por su parte el nitrógeno total Kjeldahl también presentó mayor variabilidad en La Brava, con un valor máximo registrado de 5,2 g/Kg en LB-1 (invierno 2018) y un mínimo de 2 g/Kg en LB-3 (verano 2019). Respecto al fósforo total, en todas las estaciones de este sector se registraron mayores valores en la campaña de monitoreo de invierno 2018 respecto de la de verano 2019, alcanzando un máximo de 169,3 mg/Kg en LB-3. 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 en todas las estaciones presentó características reductoras con valores negativos, con un mínimo de -445,4 mV en LP-24 en verano 2019, lo cual se relaciona con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar (que rodea el núcleo), corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos (**Tabla N° 9-14** y **Tabla N° 9-36**).

Respecto a la granulometría obtenida en invierno de 2018 (**Tabla N° 9-15**), en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos tanto en LP-23 como en LP-24, correspondieron a *arena fina* (entre 0,212 y 0,227mm, respectivamente), con un grado de selección *Muy pobremente seleccionado* en ambos casos. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano estuvo comprendido de *arena media* (0,285 mm) a *arena muy gruesa* (1,01 mm), con grados de selección en todas las estaciones de *Pobremente seleccionado*.

En las estaciones del sector **Tilopozo** se registraron altos valores para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total, este último alcanzando los 896,11 mg/Kg en la estación TB-2 en invierno 2018, además de importantes concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl en el sector, tanto en invierno 2018 como en verano 2019. Por su parte, el potencial redox presentó características reductoras en ambos periodos en las tres estaciones. Cabe mencionar que los registros de carbono orgánico total y materia orgánica fueron más altos en TB-2, esto relacionado con que esa estación está ubicada a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, el cual en verano 2019 se encontró sin agua. Por su parte las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden principalmente a pozas de 1,5 y 2 m de profundidad, respectivamente, de modo que se favorece en estas últimas la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos (**Tabla N° 9-16** y **Tabla N° 9-37**).

Los resultados granulométricos para el Sector de Tilopozo en invierno 2018 (**Tabla N° 9-17**), muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones correspondieron a *arena fina* en TB-1 y TB-3 (0,150 y 0,236 mm, respectivamente) y a *arena media* en TB-2

(0,367 mm), con grados de selección de *Pobrementemente seleccionado a Muy pobrementemente seleccionado*.

#### 12.5.1.1.3 Biota acuática

A continuación se presenta la comparación de los monitoreos de invierno 2018 y verano 2019 para las variables riqueza, abundancia, diversidad de Shannon y equidad de la biota acuática presente en los sectores Peine, La Punta y La Brava y las vegas de Tilopozo.

- Fitobentos

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica entre invierno 2018 y verano 2019 considerando el **Sector Peine**, presentó un mayor registro en el periodo de verano con 29 géneros en total respecto del periodo de invierno en el que se detectaron 19 géneros en total. Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo fueron observados en la laguna Salada en ambos periodos de monitoreo. En invierno las estaciones S-5 y S-9 presentaron la mayor riqueza con 12 géneros, mientras que, en verano la estación S-9 registró 17 géneros. Por otra parte, en la laguna Interna específicamente en la estación I-17 se observaron las menores riquezas en ambos periodos de monitoreo, oscilando entre 7 y 8 géneros en invierno y verano respectivamente.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2018 y verano 2019 para el sector Peine son mostradas en la **Tabla N° 9-18** y **Tabla N° 9-38**.

La abundancia total detectada en Peine, fue levemente mayor en el periodo de invierno 2018 respecto de verano 2019, con 28618 cel/cm<sup>2</sup> y 22460 cel/cm<sup>2</sup> respectivamente. En relación a las abundancias por estación de monitoreo estas fueron variables, en invierno 2018 se detectó la mayor abundancia en la estación SA-25 ubicada en la laguna Saladita con 10635 cel/cm<sup>2</sup>, mientras que, en verano 2019 se observó la mayor abundancia en la estación S-5 de la laguna Salada con 6037 cel/cm<sup>2</sup>. Por el contrario, la menor abundancia para ambos periodos de monitoreo invierno y verano fue detectada en la estación S-10 ubicada en la laguna Saladita con 959 cel/cm<sup>2</sup> y 1841 cel/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Por otra parte, durante invierno 2018 el fitobentos presentó en este sector, una diversidad y equidad mayor en la estación S-10, ubicada en la laguna Saladita. En cambio, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación SA-25 (laguna Saladita). En verano 2019, en tanto, la diversidad y equidad fue mayor en las estaciones S-9, ubicada en la laguna Salada, mientras que, en la estación SA-25 (laguna Saladita) se registraron los menores valores de dichos parámetros.

En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2018 y verano 2019, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 9-2** y **Figura N° 9-13**). En invierno 2018, dominaron las diatomeas *Navicymbula*; *Nitzschia* y *Navicula*, en cambio, en verano 2019 las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Halamphora* y *Navicula* y la cianofícea *Oscillatoria*.

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector Peine para la campaña invierno 2018 y verano 2019.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica entre invierno 2018 y verano 2019 considerando el sector **La Punta** y **La Brava**, presentó un registro similar entre el periodo de invierno y verano con 24 y 26 géneros en total respectivamente.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2018 y verano 2019 para el sector **La Punta** y **La Brava** son mostradas en la **Tabla N° 9-19** y **Tabla N° 9-39**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo fueron observados en la laguna La Punta en ambos periodos de monitoreo. En invierno la estación LP-23 presentó la mayor riqueza con 14 géneros, mientras que, en verano la estación LP-24 registró 17 géneros. Por otra parte, en la laguna La Brava específicamente en la estación LB-1 se observaron las menores riquezas en ambos periodos de monitoreo, oscilando entre 6 y 11 géneros en invierno y verano respectivamente.

La abundancia total detectada en La Punta y La Brava, fue menor en el periodo de invierno 2018 respecto de verano 2019, con 3011 cel/cm<sup>2</sup> y 59090 cel/cm<sup>2</sup> respectivamente. En relación a las abundancias por estación de monitoreo, en invierno 2018 y verano 2019 se detectó la mayor abundancia en la estación LB-1 ubicada en la laguna La Brava con valores entre 1127 cel/cm<sup>2</sup> y 26561 cel/cm<sup>2</sup> respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LP-23 (laguna La Punta) en invierno 2018 con 117 cel/cm<sup>2</sup> y en la estación LB-2 (laguna La Brava) en verano 2019 con 5038 cel/cm<sup>2</sup>.

Por otra parte, durante invierno 2018 y verano 2019 el fitobentos presentó en este sector, una diversidad y equidad mayor en la estación LP-24 de la laguna La Punta. En cambio, la menor diversidad y equidad durante invierno 2018 y verano 2019 fue observada en la estación LB-1 de la laguna La Brava.

En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2018 y verano 2019, se observó que las mayores representatividades



fueron diferentes (**Figura N° 9-3** y **Figura N° 9-14**). En invierno 2018, dominaron las diatomeas *Amphora* y *Nitzschia* además de la cianofícea *Oscillatoria*, en cambio, en verano 2019 las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula*, además de la cianofícea *Chroococcus*.

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector La Punta y La Brava para la campaña invierno 2018 y verano 2019.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitobentónica entre invierno 2018 y verano 2019 considerando el **Sector Vegas de Tilopozo**, presentó un registro similar entre el periodo de invierno y verano con 12 y 14 géneros en total respectivamente.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2018 y verano 2019 para el sector vegas de Tilopozo son mostradas en la **Tabla N° 9-20** y **Tabla N° 9-40**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo en invierno lo presentó la estación TB-1 con 9 géneros, mientras que, en verano la estación TB-3 registró 12 géneros.

La abundancia total detectada en vegas de Tilopozo, fue menor en el periodo de invierno 2018 respecto de verano 2019, con 1988 cel/cm<sup>2</sup> y 6732 cel/cm<sup>2</sup> respectivamente. En relación a las abundancias por estación de monitoreo, en invierno 2018 y verano 2019 se detectó la mayor abundancia en la estación TB-3 con valores entre 773,7 cel/cm<sup>2</sup> y 3723,8 cel/cm<sup>2</sup> respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación TB-2 en invierno 2018 con 543,4 cel/cm<sup>2</sup> y en la estación TB-1 en verano 2019 con 3007,9 cel/cm<sup>2</sup>.

En la campaña de invierno 2018 y verano 2019, los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitobentos fueron mayores en la estación TB-1 y menores en TB-3 solo en invierno de 2018.

En relación a los taxa dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2018 y verano 2019, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 9-4** y **Figura N° 9-15**). En invierno, dominaron las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula*, en cambio, en verano las mayores representatividades la presentaron las diatomeas *Nitzschia*, *Achnantheidium* y *Cocconeis*.

El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las estaciones que conforman el sector vegas de Tilopozo para la campaña invierno 2018 y verano 2019.

En general, para los tres sistemas estudiados (Peine, La Punta y La Brava, y vegas de Tilopozo) y para ambos periodos de monitoreo se reportó la alta frecuencia y dominancia en el fitobentos de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas), seguido de Cyanophyceae. Respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados en invierno 2018 y verano 2019, estos correspondieron a las diatomeas *Denticula*, *Cocconeis*, *Amphora*, *Halamphora*, *Nitzschia* y *Navicula* (de estas últimos géneros solo algunas especies), todos correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos como *Haloroundia* (que se distribuye a un ámbito geográfico reducido) (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009). Cabe mencionar la presencia de cianófitas de los géneros *Oscillatoria* y *Chroococcus* los cuales son cosmopolitas, determinados para el Salar de Atacama, estos taxa pueden colonizar variados ambientes entre ellos los halófilos, además de estar en estrecha relación con los denominados tapetes microbianos (Mirande & Tracanna, 2015).

Dentro de los sistemas estudiados, el ensamble de microalgas bentónicas muestra una estructura y composición variable temporal y espacialmente. Tales variaciones estarían moduladas principalmente por la alta heterogeneidad resultante de las tasas diferenciales de evaporación y las precipitaciones entre verano e invierno, lo que resulta en cambios en salinidad, contenido de oxígeno, temperatura, radiación solar (entre otros) en el subsistema acuático, variaciones en los niveles del agua los cuales son variables relevantes para el desarrollo de este grupo (Díaz-Quiroz & Rivera-Rondon, 2004). Su importancia ecológica, al igual que el fitoplancton, radica en ser productores primarios en el ecosistema, sosteniendo en parte la diversidad de invertebrados y la avifauna que se alimentan de los microorganismos que componen el fitobentos y el fitoplancton (Wetzel, 2001).

En relación a las variaciones obtenidas para el fitobentos en riqueza de géneros y abundancia total en los 3 sistemas, se sugiere que las variaciones estacionales dadas entre invierno y verano (muestreo post lluvias), estarían en estrecha relación con las diferencias entre evaporación y precipitación entre periodos estacionales y los cambios asociados al hábitat principalmente relativos a la salinidad en los sistemas y la temperatura (Cepeda-Pizarro 2013). Cabe destacar que en la campaña post lluvias se observó disminuciones en la abundancia y riqueza probablemente debido a que al invierno altiplánico de verano 2019 fue intenso, presentándose estaciones inundadas y diluidas como I-17 de la laguna Interna, o con altos niveles de salinidad en la misma laguna Interna y Saladita. Por otra parte, se observó retracción del espejo de agua en algunas estaciones de laguna La Brava, con menores profundidades lo cual también afectó el número de géneros presentes y la disminución de las abundancias totales.

- Fitoplancton

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitoplanctónica entre invierno 2018 y verano 2019 considerando el **Sector Peine**, presentó un registro similar en el periodo de invierno con 10 géneros en total respecto del periodo de verano en el que se detectaron 11 géneros en total.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2018 y verano 2019 para el sector Peine son mostradas en la **Tabla N° 9-21** y **Tabla N° 9-41**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo fueron observados en la laguna Salada en invierno y en la laguna Saladita en verano. En invierno la estación S-9 presentó la mayor riqueza con 8 géneros, mientras que, en verano la estación SA-25 registró 6 géneros. Por otra parte, en la laguna Interna específicamente en la estación I-17 se observaron las menores riquezas en ambos periodos de monitoreo, oscilando entre 7 y 8 géneros en invierno y verano respectivamente.

La abundancia total detectada en Peine, fue levemente mayor en el periodo de invierno 2018 respecto de verano 2019, con 1417 cel/mL y 311 cel/mL respectivamente. En relación a las abundancias por estación de monitoreo estas fueron variables, en invierno 2018 se detectó la mayor abundancia en la estación S-9 ubicada en la laguna Salada con 389 cel/mL, mientras que, en verano 2019 se observó la mayor abundancia en la estación I-11 de la laguna Interna con 83 cel/mL. Por el contrario, la menor abundancia para invierno fue detectada en la estación S-10 (laguna Saladita) con 111 cel/mL y en verano en I-17 (laguna Interna) con 18 cel/mL respectivamente.

Por otra parte, durante invierno 2018 el fitoplancton presentó en este sector, una diversidad y equidad mayor en la estación S-5, ubicada en la laguna Salada. En cambio, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación I-17 (laguna Interna). En verano 2019, en tanto, la diversidad fue mayor en la estación SA-25, ubicada en la laguna Saladita y la mayor equidad fue registrada en la estación S-9 (laguna Salada), mientras que, en la estación S-9 (laguna Salada) se registró la menor diversidad, y la menor equidad en la estación I-17 (laguna Interna).

En relación a los taxa dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2018 y verano 2019, se observó que las mayores representatividades fueron similares (**Figura N° 9-5** y **Figura N° 9-16**). En invierno 2018 y verano 2019, dominaron las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula*.

El análisis por clase de la comunidad de fitoplanctónica, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector Peine para la campaña invierno 2018 y verano 2019.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitoplanctónica entre invierno 2018 y verano 2019 considerando el **Sector La Punta y La Brava**, presentó un registro similar entre el periodo de invierno y verano con 16 y 19 géneros en total respectivamente.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2018 y verano 2019 para el sector **La Punta y La Brava** son mostradas en la **Tabla N° 9-22 y Tabla N° 9-42**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo fueron observados en la laguna La Brava en ambos periodos de monitoreo. En invierno y en verano la estación LB-3 presentó la mayor riqueza con 12 y 15 géneros. Por otra parte, en la laguna La Brava específicamente en la estación LB-1 se observaron las menores riquezas con 3 géneros en invierno y en verano LP-24 de la laguna La Punta con 3 géneros igualmente.

La abundancia total detectada en La Punta y La Brava, fue mayor en el periodo de invierno 2018 respecto de verano 2019, con 2819 cel/mL y 1572 cel/mL respectivamente. En relación a las abundancias por estación de monitoreo, en invierno 2018 y verano 2019 se detectó la mayor abundancia en la estación LB-3 ubicada en la laguna La Brava con valores entre 1073 cel/mL y 1333 cel/mL respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación LB-1 (laguna La Brava) en invierno 2018 con 185 cel/mL y en verano 2019 con 48 cel/mL.

Por otra parte, durante invierno 2018 el fitoplancton presentó en este sector, una diversidad y equidad mayor en la estación LB-3 de la laguna La Brava. En cambio, la menor diversidad y equidad fue observada en la estación LB-1 y LB-2 de la laguna La Brava. En verano 2019 la mayor diversidad fue observada en la estación LP-23 y la mayor equidad en la estación LP-24 ambas estaciones ubicadas en la laguna La Punta. En cambio, la menor diversidad fue detectada en la estación LP-24 (laguna La Punta) y la menor equidad en la estación LB-1 (laguna La Brava).

En relación a los taxa dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2018 y verano 2019, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 9-6 y Figura N° 9-17**). En invierno 2018, dominaron las diatomeas *Nitzschia* y *Cymbellonitzschia*, en cambio, en verano 2019 las mayores representatividades la presentaron la diatomea *Nitzschia* y de la cianófita *Chroococcus*.

El análisis por clase de la comunidad de fitoplanctónica, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las lagunas que conforman el Sector La Punta y La Brava para la campaña invierno 2018 y verano 2019.

La comparación de la composición y la riqueza total de la comunidad fitoplanctónica entre invierno 2018 y verano 2019 considerando el **Sector Vegas de Tilopozo**, presentó un registro similar entre el periodo de invierno y verano con 9 y 7 géneros en total respectivamente.

La composición, riqueza de géneros, abundancias totales, diversidad y equidad de la campaña de invierno 2018 y verano 2019 para el sector **vegas de Tilopozo** son mostradas en la **Tabla N° 9-23** y **Tabla N° 9-43**.

Los mayores valores de riqueza por estación de muestreo en invierno lo presentó la estación TB-2 con 9 géneros, mientras que, en verano la estación TB-3 registró 5 géneros.

La abundancia total detectada en vegas de Tilopozo, fue mayor en el periodo de invierno 2018 respecto de verano 2019, con 3925 cel/mL y 417 cel/mL respectivamente. En relación a las abundancias por estación de monitoreo, en invierno se detectó la mayor abundancia en la estación TB-2 con valores entre 3825 cel/mL y verano en la estación TB-1 con 386 cel/mL respectivamente. Por el contrario, la menor abundancia fue detectada en la estación TB-1 en invierno con 44 cel/mL y en la estación TB-3 en verano con 31 cel/mL.

En la campaña de invierno 2018, los valores de diversidad y equidad en la comunidad de fitoplancton fueron mayores en la estación TB-2 y en la estación TB-1 respectivamente. En verano 2019 fueron mayores en TB-3 diversidad como equidad.

En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2018 y verano 2019, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes (**Figura N° 9-7** y **Figura N° 9-18**). En invierno 2018, dominó la diatomea *Nitzschia*, en cambio, en verano 2019 las mayores representatividades la presentó la diatomea *Halamphora*.

El análisis por clase de la comunidad de fitoplanctónica, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentaron la mayor representatividad en las estaciones que conforman el Sector vegas de Tilopozo para la campaña invierno 2018 y verano 2019.

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) y para ambos periodos de monitoreo se reportó la alta frecuencia y dominancia en el fitoplancton de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas), seguido de Cyanophyceae y Conjugatophyceae. Respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados en invierno 2018 y verano 2019, estos correspondieron a las diatomeas *Halamphora*, *Cymbellonitzschia*, *Nitzschia* y *Navicula* (de estas últimos géneros solo algunas especies), todos correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos como *Haloroundia* (que se distribuye a un ámbito geográfico reducido) (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009). Cabe mencionar la presencia de cianófitas del género *Chroococcus* el cual es cosmopolita, determinado para el Salar de Atacama, puede colonizar variados ambientes entre ellos los halófilos, además de estar en estrecha relación con los denominados tapetes microbianos (Mirande & Tracanna 2015).

En relación a las variaciones obtenidas para el fitoplancton en riqueza de géneros y abundancia total en los 3 sistemas, se sugiere que las variaciones estacionales dadas entre invierno y verano (muestreo post lluvias), estarían en estrecha relación con las diferencias entre evaporación y precipitación entre periodos estacionales y los cambios asociados al hábitat principalmente relativos a la salinidad en los sistemas y la temperatura (Cepeda-Pizarro 2013). Cabe destacar que en la campaña post lluvias se observó disminuciones en la abundancia y riqueza probablemente debido a que al invierno altiplánico de verano 2019 fue intenso, presentándose estaciones inundadas y diluidas como I-17 de la laguna Interna, o con altos niveles de salinidad en la misma laguna Interna y Saladita. Por otra parte, se observó retracción del espejo de agua en algunas estaciones de laguna La Brava, con menores profundidades lo cual también afectó el número de géneros presentes y la disminución de las abundancias totales.

- Zooplancton

Al comparar la comunidad de zooplancton en el **Sector Peine**, entre invierno 2018 y verano 2019, se pudo observar que presentó en general bajas riquezas de *taxa* (1 a 2 *taxa* por estación) con mayores valores de riqueza en el periodo de verano 2019 (**Tabla N° 9-24 y Tabla N° 9-44**).

Las abundancias totales en Peine durante el invierno 2018 y verano 2019 fueron bajas, con un registro menor de 0,02 ind/L en S-5 y el mayor de 50,28 ind/L en I-17, ambos en invierno 2018. Al comparar por estación y período, en general las abundancias totales fueron mayores en verano 2019, exceptuando por S-9, I-11 e I-17, donde las abundancias totales fueron mayores en invierno 2018. Las diversidades y equidades estimadas, en general fueron bajas debido a las bajas riquezas (solo se pueden calcular con 2 *taxa* o más) y disimiles abundancias. Aun así, se ve una tendencia a ser mayores estos parámetros comunitarios en verano 2019 (**Tabla N° 9-24 y Tabla N° 9-44**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Peine durante estas campañas, se observó que en invierno 2018, dominaron los copépodos Harpacticoida en laguna Salada y Laguna Interna, mientras que en laguna Saladita en ese periodo tuvo representatividad exclusiva el branquiópodo *Artemia franciscana*. En verano 2019, solo en la estación S-9 dominó el copépodo Harpacticoida *Tigriopus* sp. ya que en el resto de las estaciones dominó ampliamente *A. franciscana*. Cabe mencionar que esta última especie fue más abundante en laguna Saladita en ambos períodos, principalmente verano 2019, observándose un incremento en abundancia desde laguna Salada, llegar al máximo en S-10 y decrecer en abundancia en laguna interna (**Tabla N° 9-24 y Tabla N° 9-44**).

La comparación entre invierno 2018 y verano 2019 de la comunidad zooplanctónica en el sector **La Punta** y **La Brava**, mostró que las riquezas totales por estación también fueron bajas en este sector en ambos periodos, con un máximo de 5 *taxa* en LP-23 en invierno 2018 y el mínimo de 1 taxón en LB-3 en verano 2019 (**Tabla N° 9-25 y Tabla N° 9-45**).

Las abundancias totales en La Punta y La Brava fueron bajas tanto en invierno 2018 como en verano 2019. El registro menor correspondió a 0,25 ind/L en LB-2 y el mayor a 30,98 ind/L en LB-1, ambos en verano 2019 en laguna La Brava. Al comparar por estación y período, en general las abundancias totales fueron mayores en verano 2019, tanto en laguna La Punta como en laguna La Brava, exceptuando por LB-2, donde las abundancias totales fueron mayores en invierno 2018. Las diversidades estimadas, en general fueron bajas debido a las bajas riquezas (solo se pueden calcular con 2 *taxa* o más) y similares abundancias. Aun así, se ve una tendencia a ser mayores en invierno 2018 en La Punta (máxima diversidad de 1,274 nits/ind en LP-23), mientras que en La Brava fueron similares o menores a 0,7 nits/ind en ambos periodos. Las equidades más altas fueron estimadas en verano 2018 en LB-1 y

LB-2, respectivamente, lo cual está dado por la similitud de sus abundancias (**Tabla N° 9-25** y **Tabla N° 9-45**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2018 y verano 2019 en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna, sin embargo, *A. franciscana* fue la especie más frecuente. En La Punta, durante invierno 2018, dominaron en LP-23 los copépodos Centropagidae del género *Boeckella* (principalmente *B. bergi*) seguidos por *Artemia franciscana*, mientras que en LP-24, dominó *Artemia franciscana* seguida de *Boeckella bergi*. Posteriormente en verano 2019 en esta laguna, dominó ampliamente *Artemia franciscana* seguida por los copépodos Harpacticoida *Tigriopus sp.* En el caso de La Brava, en invierno 2018, dominaron los copépodos Harpacticoida, secundados por *A. franciscana*, mientras que en verano 2019 tendieron a ser dominantes en LB-1 y LB-2 *A. franciscana* seguidos por los Harpacticoida *Tigriopus sp.*, mientras que en LB-3 dominó totalmente *Tigriopus sp.* durante esa campaña (**Tabla N° 9-25** y **Tabla N° 9-45**).

El zooplancton del **Sector de Tilopozo**, mostró tan solo un registro en invierno 2018 en la estación TB-2, correspondiendo a un anfípodo de la familia Hyaellidae en baja abundancia (2,25 ind/L) (**Tabla N° 9-26**). Tanto en la estación TB-1 como en TB-3, ubicadas en pozas de ese sector, no se encontraron organismos zooplanctónicos ni en invierno 2018, ni en verano 2019. Cabe mencionar que la estación TB-2 correspondió a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, sin embargo, en la campaña de verano 2019 esta estación se encontró sin agua.

- Zoobentos

El zoobentos del **Sector Peine** tanto en invierno 2018 como en verano 2019, mostró bajas riquezas de *taxa* (entre 0 y 3 *taxa* por estación), con mayores valores de riqueza en las estaciones de laguna Salada en verano 2019 (**Tabla N° 9-27** y **Tabla N° 9-46**).

Las abundancias totales en Peine durante el invierno 2018 y verano 2019, fueron en general bajas, registrando un mínimo de 125 ind/m<sup>2</sup> en S-10 (ambos periodos) y el máximo de 1625 ind/m<sup>2</sup> en S-9 en verano 2019. Al comparar por estación y período, las abundancias totales fueron mayores en verano 2019 en las estaciones S-9, S-5 y SA-25, abundancias iguales en S-10 (laguna Saladita) y abundancias mayores en invierno 2018 en la estación I-11 (laguna Interna). En I-17, no se encontraron organismos zoobentónicos en ninguna de las dos campañas. Las diversidades estimadas fueron bajas y las equidades altas, debido a las bajas riquezas y similares abundancias. Estas solo se pudieron calcular con en laguna Salada por encontrarse 2 o más *taxa* (**Tabla N° 9-27** y **Tabla N° 9-46**).



En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Peine durante estas campañas, se observó que en ambas dominaron los insectos dípteros en todas las estaciones donde hubo registros, exceptuando por S-9 en verano 2019, donde dominaron los gasterópodos del género *Heleobia* sp. De los dípteros, cabe mencionar a las familias Stratiomyidae, Empididae y Ceratopogonidae para laguna Salada, Empididae, Ceratopogonidae y Dolichopodidae para laguna Saladita y Ceratopogonidae y Ephydriidae para laguna Interna (solo I-11) (**Tabla N° 9-27** y **Tabla N° 9-46**).

La comparación entre invierno 2018 y verano 2019 de la comunidad zoobentónica en el sector **La Punta** y **La Brava**, mostró que las riquezas totales por estación también fueron bajas en este sector en ambos periodos, con un máximo de 5 *taxa* en LB-1 en invierno 2018 y 0 *taxa* en LB-1 en verano 2019 (**Tabla N° 9-28** y **Tabla N° 9-47**).

Las abundancias totales en La Punta y La Brava fueron mayores en invierno 2018 respecto a verano 2019. El menor registro fue de 0 ind/m<sup>2</sup> en LB-1 y el mayor de 25.250 ind/m<sup>2</sup> en la misma estación de laguna La Brava, siendo importantes de mencionar las abundancias totales registradas en La Punta, con 5000 ind/m<sup>2</sup> en LP-23 y 1750 ind/m<sup>2</sup> en LP-24 durante el invierno 2018. Las diversidades estimadas (cuando se pudieron calcular), en general fueron bajas debido a las bajas riquezas y disímiles abundancias (entre 0,22 y 0,88 nits/ind). Las equidades más altas fueron estimadas en LP-23 (0,92 en verano 2019) y en LB-3 (0,92 en invierno 2018), lo cual está dado por la similitud de sus abundancias. El caso contrario se obtuvo en LB-1 en invierno 2018, resultando una baja equidad de 0,13 dada por la gran abundancia de copépodos Canthocamptidae respecto a los otros *taxa*, los cuales alcanzaron los 24.250 ind/m<sup>2</sup> (**Tabla N° 9-28** y **Tabla N° 9-47**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en cada una de las estaciones durante la campaña de invierno 2018 y verano 2019 en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna y campaña. En La Punta, durante invierno 2018, dominaron en LP-23 y LP-24 los gasterópodos *Heleobia* sp. seguidos por los dípteros Ceratopogonidae. En verano 2019, en LP-23 dominó el díptero Stratiomyidae seguido por Ephydriidae, mientras que en LP-24 dominó solo el díptero Ephydriidae en esa campaña. Por su parte, en la estación LB-1 de La Brava, dominaron ampliamente en verano 2019 los copépodos bentónicos Canthocamptidae y en las estaciones LB-2 y LB-3 de La Brava, en invierno 2018, dominaron los dípteros Ceratopogonidae, mientras que en verano 2019 fueron dominantes los dípteros Stratiomyidae (**Tabla N° 9-28** y **Tabla N° 9-47**).

El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, tanto en invierno 2018 como en verano 2109, mostró bajas riquezas de *taxa* (entre 0 y 5 *taxa* por estación), con el mayor valor de riqueza en la estación TB-2 en invierno 2018 (**Tabla N° 9-29** y **Tabla N° 9-48**).

La mayor abundancia total ocurrió en TB-1 en verano 2019, mientras que en TB-2 se obtuvieron organismos zoobentónicos solo en invierno 2018, ya que en verano 2019 tal estación se encontró sin agua al momento del monitoreo. El menor registro fue de 0 ind/m<sup>2</sup> en TB-3 en verano 2019. Las diversidades estimadas (las que se pudieron calcular), en general fueron bajas debido a las bajas riquezas y disímiles abundancias (entre 0,31 y 1,2 nits/ind). La equidad más alta fue estimada en TB-2 (0,75 en invierno 2018), mientras que la más baja se obtuvo en TB-1 en verano 2019 (0,45) dada por la gran abundancia de *Heleobia atacamensis* registrada, la cual alcanzó los 2.375 ind/m<sup>2</sup> (**Tabla N° 9-29 y Tabla N° 9-48**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Tilopozo durante estas campañas, se observó que en TB-1 y TB-3 dominaron ampliamente los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, tanto en invierno 2018 como en verano 2019 para la estación TB-1 y en invierno 2018 para la estación TB-3 (ambas estaciones corresponden a pozas con afloramiento de agua subsuperficial). En la estación TB-2 (que corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad) dominaron los dípteros de la familia Syrphidae en invierno 2018 (**Tabla N° 9-29 y Tabla N° 9-48**).

La presencia de Cochliopidae, representado por *Heleobia atacamensis* es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA) y ha sido descrita en literatura para el sector de Tilopozo. Su ciclo de vida es completamente acuático al respirar por branquias (Philippi, 1860), y es la única especie del género descrita en Chile y por ende endémica (Collado & Méndez, 2011). No se conocen datos sobre tendencias poblacionales salvo que no se registran antecedentes en otros sistemas hidrológicos del norte de Chile, sin embargo, su presencia ha sido descrita en el sector de Tilopozo (Biese, 1947), el cual es alimentado superficialmente por quebradas de orientación sur a norte mientras que el sector La Punta y La Brava es alimentada por la quebrada del Tucúcaro. Ambos sistemas no presentan comunicación superficial aparente, aunque no se descarta que exista una pendiente de escorrentía desde el sector Tilopozo a La Punta y La Brava la cual permita el desplazamiento de *Heleobia atacamensis* de un sector a otro, ampliando de esta forma el área de distribución actualmente conocido para esta especie.

- Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

El total de especies registradas en los sectores de Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo en la campaña de invierno 2018, fue de 9 especies, constituidas por las hidrófitas *Ruppia filifolia* y *Zannichellia palustris* y por las helófitas *Schoenoplectus (Scirpus) californicus*, *Juncus balticus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Distichlis spicata* y *Baccharis* sp. En tanto, en la campaña de verano 2019, fueron detectadas 8 especies en total, similares a las detectadas en invierno 2018 excepto por la ausencia de *P. frigida*. En relación al origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies consignadas presenta categoría de conservación.

En el sector **Peine**, la riqueza de especies en invierno 2018 y verano 2019 fue de una especie la que correspondió a *Ruppia filifolia* en las estaciones S-5 (laguna Salada) y en la estación SA-25 (laguna Saladita).

En las lagunas **La Punta y La Brava** fueron detectadas entre 4 y 3 especies en invierno y verano respectivamente. En detalle *R. filifolia* fue detectada en las estaciones LP-24 y LB-3. En las orillas de la laguna La Punta en la estaciones LP-24 fue detectada la presencia de las helófitas emergentes *Triglochin concinna*, y *Sarcocornia fruticosa*, esta última también presente en LP-23. En tanto, en la laguna La Brava solo se reportó un pequeño parche aislado *T. concinna*. Por último consignar que la especie *Puccinellia frigida* fue reportada en invierno 2018 en la estación LP-24.

En el Sector de **vegas de Tilopozo**, fueron detectadas entre 5 y 4 especies en invierno y verano respectivamente. En ambos periodos de monitoreo se detectó la presencia de la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* en altos porcentajes de cobertura dentro de los ojos de agua de las estaciones TB-1 y TB-3. En relación a la especie, durante invierno y verano cubrió buena parte de la superficie del espejo de agua de las estaciones, además sus hojas constituyen una buena base para el asentamiento de algunas lamas de microalgas, aumentando la cobertura vegetal en TB-1 y TB-3 y favoreciendo la disponibilidad de ambientes refugiales y de desove para invertebrados y peces.

Por otra parte, en invierno fue detectada la presencia de las helófitas emergentes *Schoenoplectus californicus* observada en TB-1 y TB-3, *Juncus balticus* en las vegas presentes en TB-1 y TB-2, *Distichlis spicata* en TB-1 y TB-2 y *Baccharis* sp. en TB-3. En verano si bien se detectaron las mismas especies presentaron pequeñas diferencias respecto de invierno, es así como las helófitas emergentes *S. californicus* fue observada en TB-1, TB-2 y TB-3, *Distichlis spicata* en TB-1 y *Baccharis* sp. en TB-3. En la estación TB-2 fue detectada solo *S. californicus* (Totorá), cabe mencionar que la estación no presentó agua superficial en verano 2019.

Respecto de las coberturas en el sector **Peine**, en invierno 2018 y verano 2019 fueron similares detectándose en invierno parches de *R. filifolia* en porcentajes que oscilaron entre 25% en la estación S-5 (laguna Salada) y 73% en la estación SA-25 y en verano entre 20% en la estación S-5 (laguna Salada) y 80% en la estación S-10 (laguna Saladita).

En **La Punta y La Brava** en ambos periodos de monitoreo *R. filifolia* fue la única hidrófita observada, encontrándose sumergida y distribuida en el centro o en las orillas de las lagunas. En invierno esta especie fue detectada en las estaciones LP-24 con 3% y LB-3 con 23% y en verano entre 13% en la estación LP-24 y 15% en la estación LP-23. En la laguna La Brava no fue detectada. Respecto de las helófitas en invierno *Triglochin concinna* presentó coberturas que oscilaron entre 12% en LP-23 y 17% en LB-2 y en verano entre 3% y 27% en LP-23 y LB-2 respectivamente. *S. fruticosa* presentó coberturas entre 13% y 58%

en las estaciones de la laguna La Punta LP-24 y LP-23, no fue detectada en la laguna La Brava. Por último *P. frigida* con un 7% en la estación LP-24 detectada solo en el periodo de invierno 2018.

Finalmente, en el sector vegas de Tilopozo, *Z. palustris* presentó coberturas de un 33% en TB-1 y TB-3 en invierno y verano. En invierno *S. californicus* osciló entre 30% en TB-1 y 33% en TB-2 y TB-3, mientras que, en verano osciló entre 30% en TB-3 y 100% en TB-2. La especie *J. balticus* fue detectada en invierno con coberturas entre 33% en TB-1 y 42% en TB-2. Luego en invierno *D. spicata* osciló entre 3% en TB-1 y 17% en TB-2, mientras que en verano solo fue detectada en TB-1 con 25% de cobertura. Por último *Baccharis* sp. Presentó un 33% de cobertura en la estación TB-3 para ambos periodos de monitoreo.

### **12.5.1.2 Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo)**

#### 12.5.1.2.1 Calidad de agua

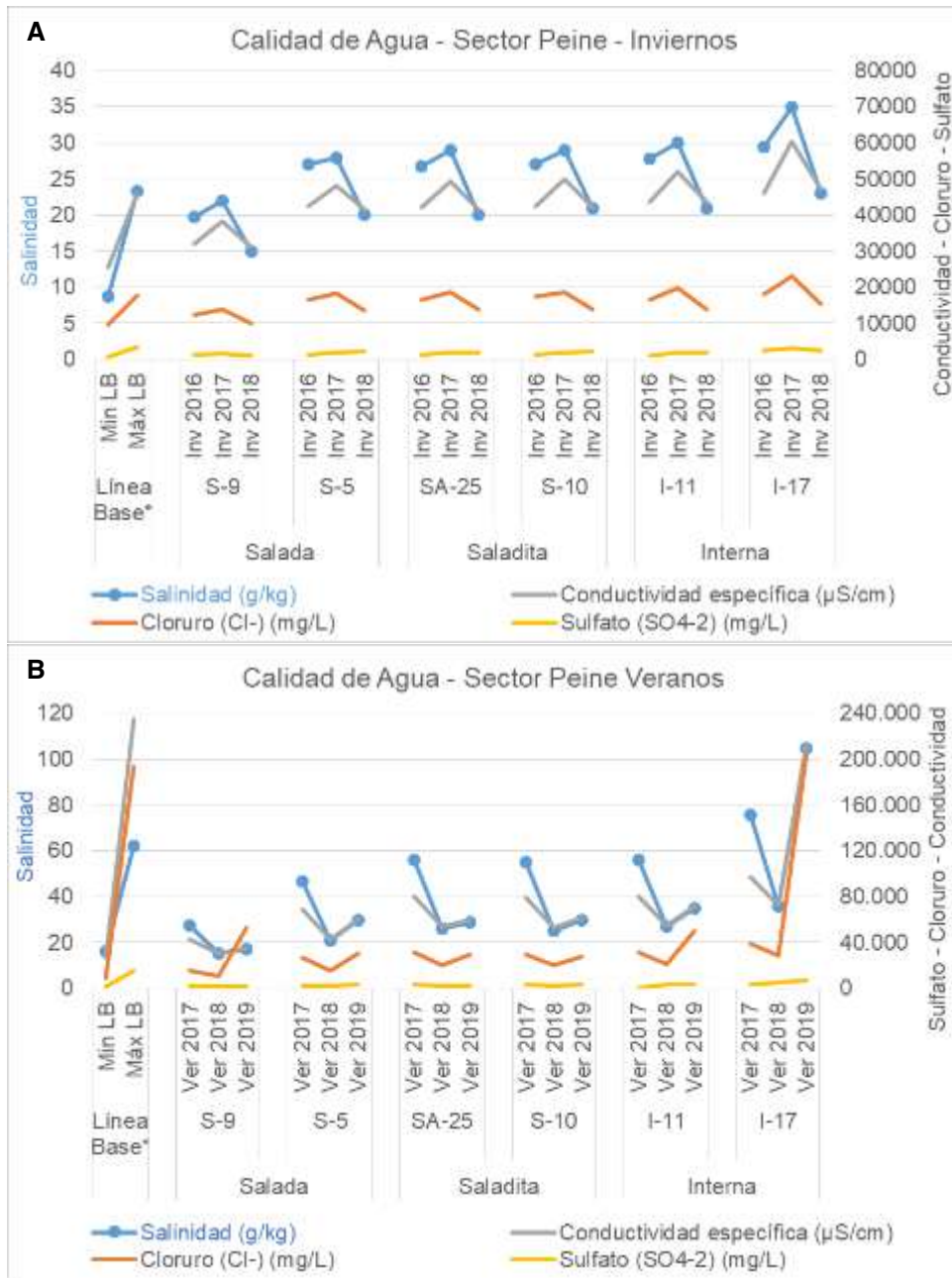
En el sector Peine se observan resultados con valores dentro de los rangos establecidos del Plan de Monitoreo Biótico (PMB) (**Figura N° 12-72** y **Figura N° 12-73**). Algunos valores que se encontraron fuera del rango de la línea base (principalmente en verano 2019), como lo son el Carbonato, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno Total Kjeldhal y Fósforo Total, que estuvieron por debajo del mínimo registrado durante línea base, debido a que su límite de detección de análisis fue menor (**Tabla N° 9-9** y **Tabla N° 9-32**).

Este sistema de lagunas se caracterizó por presentar históricamente en sus aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros (máximo de 202.753 mg/L en I-17 en verano 2019). Estos parámetros mostraron un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna en todos los periodos, siendo la mayor conductividad en verano 2019, alcanzando los 212.600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en I-17, que corresponde a una salinidad de 105 g/kg. Cabe mencionar que la conductividad detectada en I-17 en esta campaña, ha sido la más alta registrada durante los monitoreos del PMB, no superando a la LB en verano. Por su parte, el registro más bajo fue en verano 2018 con 30.600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de conductividad y 15 g/kg de salinidad en S-9 (**Figura N° 12-72**). Según el Sistema de Venecia de 1959 (*The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity*) (Ribera, 2016), el agua del sistema de Peine se encuentra entre aguas mesohalinas a hipersalinas para el periodo estudiado, incrementándose desde laguna Salada hacia laguna Interna. Otro parámetro a considerar fue el sulfato, que registró altos valores de concentración tanto en invierno como en verano, siendo mayores en verano 2019 en todas las estaciones con su valor máximo en laguna Interna (7367,5 mg/L en I-17). Para este parámetro se observa también una tendencia a incrementarse desde laguna Salada hacia laguna Interna (**Figura N° 12-72**).

---

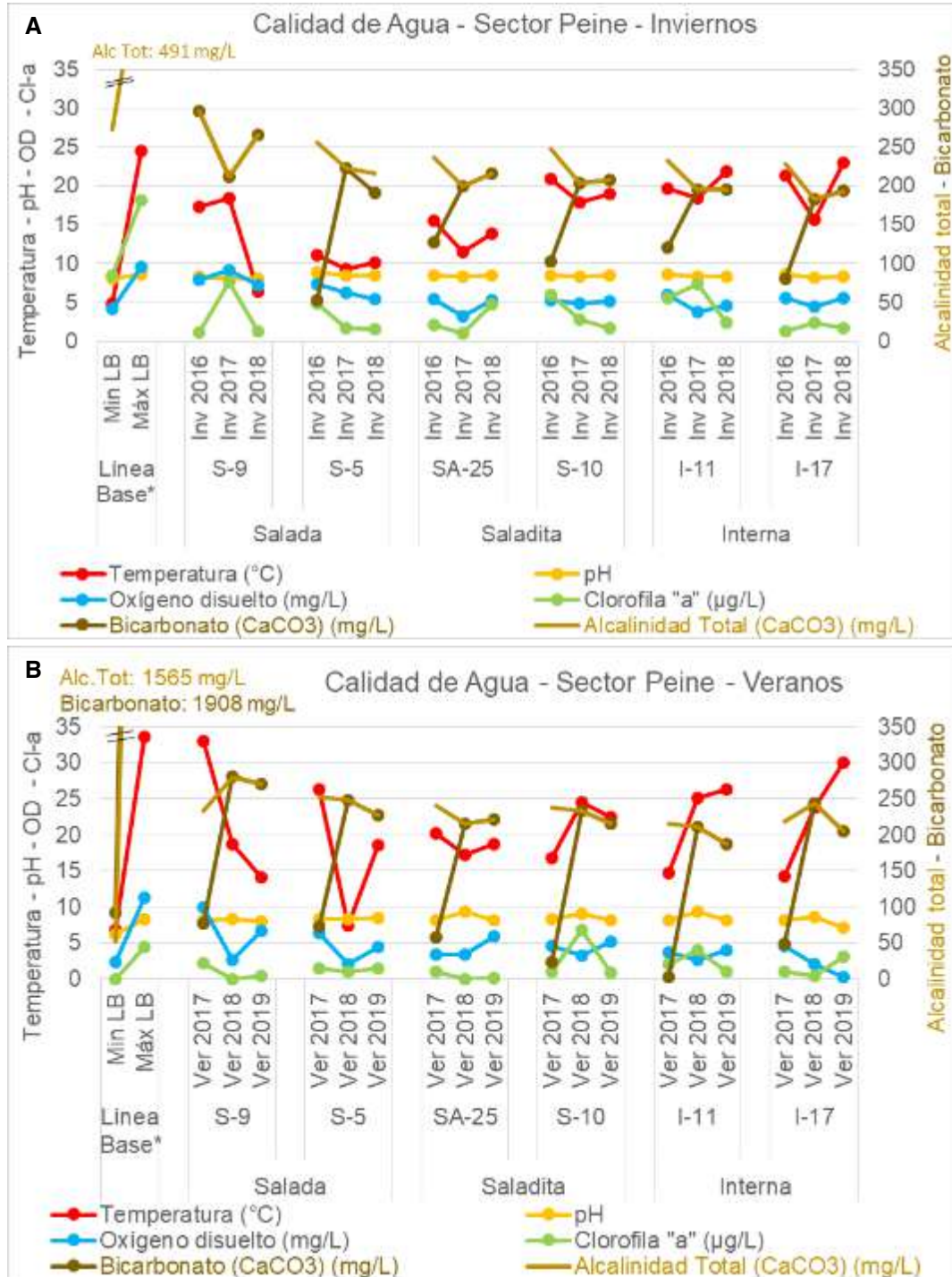
Las altas temperaturas fueron acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua, si bien tienen una importante variabilidad en el tiempo en laguna Salada, en general se observa un incremento desde laguna Salada hacia laguna Interna por cada campaña (mínimo de 6,4°C en invierno 2018 y máximo de 33° verano 2017, ambas en S-9) (**Figura N° 12-73**). Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentaron un carácter principalmente básico, con un pH en general por sobre un valor de 8 (en concordancia con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados) alcanzando las 9,4 unidades de pH en laguna Saladita (SA-25) en verano 2018 y un mínimo neutro de 7,1 en verano 2019 en I-17 (**Figura N° 12-73**). Respecto al oxígeno disuelto en Peine, las concentraciones fueron variables, con un registro mínimo de 0,3 mg/L en I-17 (laguna Interna) en verano de 2019 y un máximo de 10 mg/L en S-9 (laguna Salada) en verano de 2017, lo cual se relaciona con las temperaturas registradas en los distintos períodos, que genera una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Las concentraciones de Clorofila “a” tuvieron una importante variabilidad tanto en las campañas de invierno como de verano (**Figura N° 12-73**), las cuales se relacionan con la actividad fotosintética, ya que es un indicador indirecto de productividad primaria.

**Figura N° 12-72. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. \*Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente.

**Figura N° 12-73. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua in situ, los relacionados con el pH y Cl-a en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. \*Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente.

Los resultados de calidad de agua obtenidos para el sector **La Punta y la Brava**, en general se encuentran dentro de los límites registrados en línea base, exceptuando por algunos parámetros excedidos como la Salinidad, el Cloruro, el Bicarbonato, Nitrato y Nitrógeno amoniacal (principalmente en verano 2019). Sin embargo, estos parámetros han mostrado una alta variabilidad en los monitoreos realizados desde invierno 2016 dentro del Plan de Manejo Biótico, evidenciando que tales valores se corresponden con ambientes acuáticos alcalinos con ocurrencia de biota y con altas concentraciones de sales (**Tabla N° 9-10 y Tabla N° 9-33**).

Los registros obtenidos durante los monitoreos en La Punta y La Brava, mostraron un sistema de lagunas caracterizado por aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, con un máximo registro de este último parámetro de 144.744 mg/L en La Punta (LP-24) en verano 2019 y un mínimo de 7.788 mg/L en LP-23 durante el invierno 2018. Se observó un incremento en conductividad y salinidad desde laguna La Punta hacia La Brava, con mínimos históricos registrados de 26.360  $\mu\text{S/cm}$  en conductividad y 13 g/Kg de salinidad en La Punta (LP-23) en invierno 2018, para alcanzar los máximos de 165.100  $\mu\text{S/cm}$  y 81,4 g/Kg, respectivamente, en La Brava (LB-2) en verano 2019. Cabe mencionar que también se registró un descenso de estos parámetros en la estación LB-3, punto voluntario de medición ubicado en la desembocadura de un afluente a Laguna La Brava, registrando valores entre 29.830  $\mu\text{S/cm}$  (verano 2018) y 67.980  $\mu\text{S/cm}$  (verano 2019) (**Figura N° 12-74**).

Según el sistema de Venecia de 1959, los registros de salinidad obtenidos en LB-1 y LB-2, tanto para los inviernos como veranos, clasifica esta agua como hipersalina (>40 g/L) (Ribera, 2016), lo que está en concordancia con los estudios de Farías *et al.* (2014) y Fernandez *et al.* (2016), quienes especifican que las condiciones ambientales dadas en la laguna La Brava se caracterizan por (1) una alta radiación solar debido a una menor presión barométrica a gran altura, (2) fluctuaciones extremas de la temperatura, típica de los ambientes desérticos, (3) cambios extremos en la salinidad debido a la evaporación neta que produce agua hipersalina y (4) altas concentraciones de litio, boro y arsénico.

Otro parámetro a considerar fue el sulfato, que registró altos valores de concentración tanto en invierno como en verano, observándose una tendencia de incrementarse desde laguna La Punta a La Brava (mínimo de 992 mg/L en LP-24 en invierno 2016 y máximo de 12.861 mg/L en LB-3 en verano 2019) (**Figura N° 12-74**).

En un contexto geoquímico, cabe señalar que el Salar de Atacama comprende dos unidades principales en su territorio: un núcleo y una zona marginal. El núcleo (1.100 km<sup>2</sup> y 900 m de espesor) consiste en un haluro poroso (90%) impregnado con una salmuera de cloruro de sodio rica en litio, potasio, magnesio y boro, la cual ocupa los intersticios del haluro. La zona

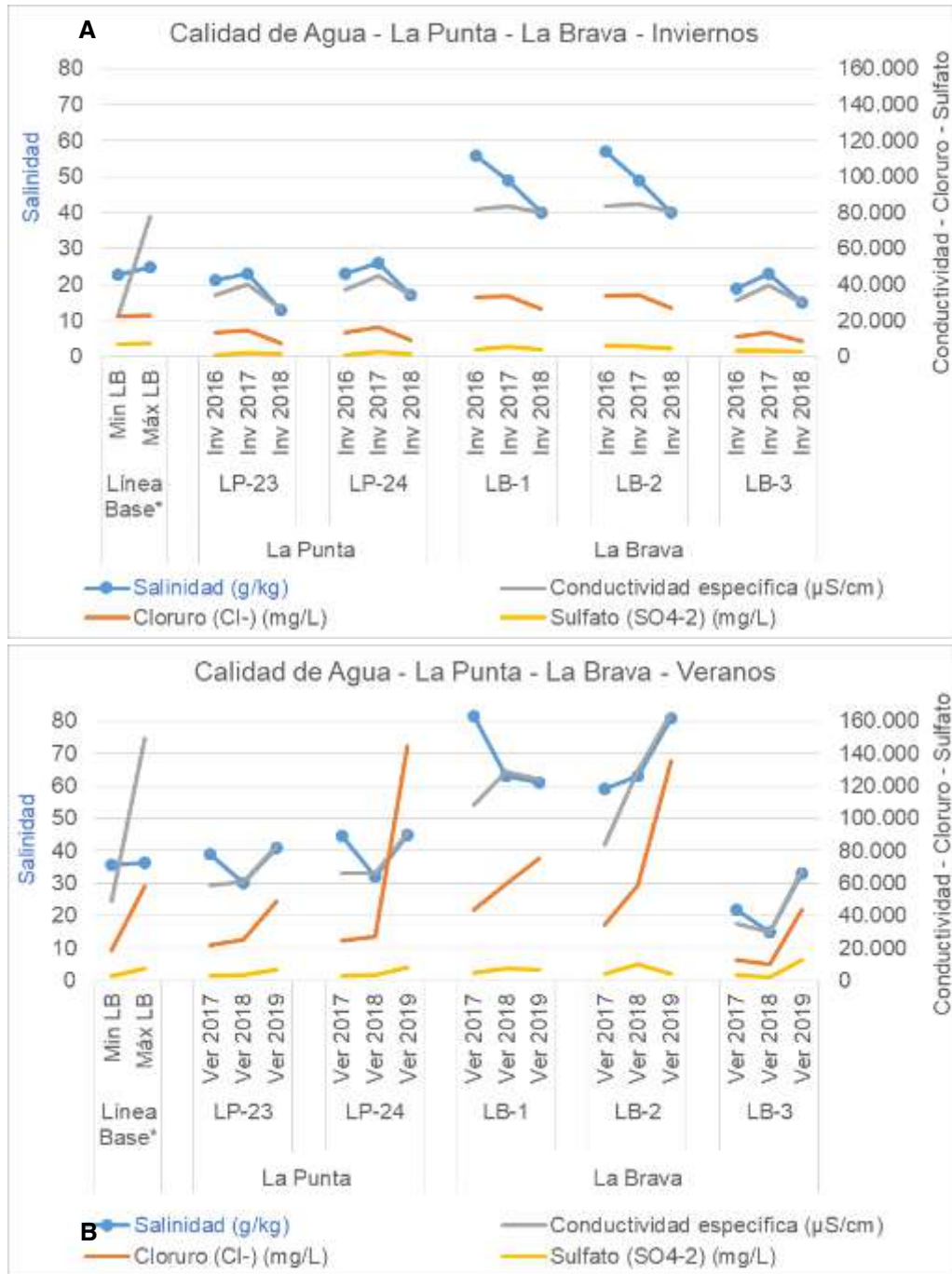


marginal del Salar que rodea el núcleo, consiste en sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos, especialmente yeso (Alonso y Risacher 1996). En el caso de la laguna La Brava se encuentra ubicada en la zona marginal (Farías *et al.*, 2014), al igual que laguna La Punta y las lagunas Salada, Saladita e Interna del sistema de Peine. Esto concuerda con las altas concentraciones de sulfato encontradas en ambos sistemas. Cabe mencionar que las mayores conductividades, salinidades y concentraciones de sulfato, se registraron en las estaciones más cercanas al núcleo del salar (La Brava e Interna), en concordancia con lo descrito anteriormente.

Se registraron mayores temperaturas en laguna La Brava respecto a laguna La Punta, en todos los periodos monitoreados, los cuales están acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (máximo de 31,3°C en LB-2 en verano 2017 y mínimo de 8,4°C en LP-24 en invierno 2017). Por otra parte las lagunas La Punta y La Brava, presentaron valores alcalinos de pH cercanos a un valor de 8 en la mayoría de las estaciones en todos los períodos, exceptuando por un pH de 6 en LB-3 en invierno 2018. Tales registros están en concordancia con los valores de bicarbonato y alcalinidad total registrados (**Figura N° 12-75**).

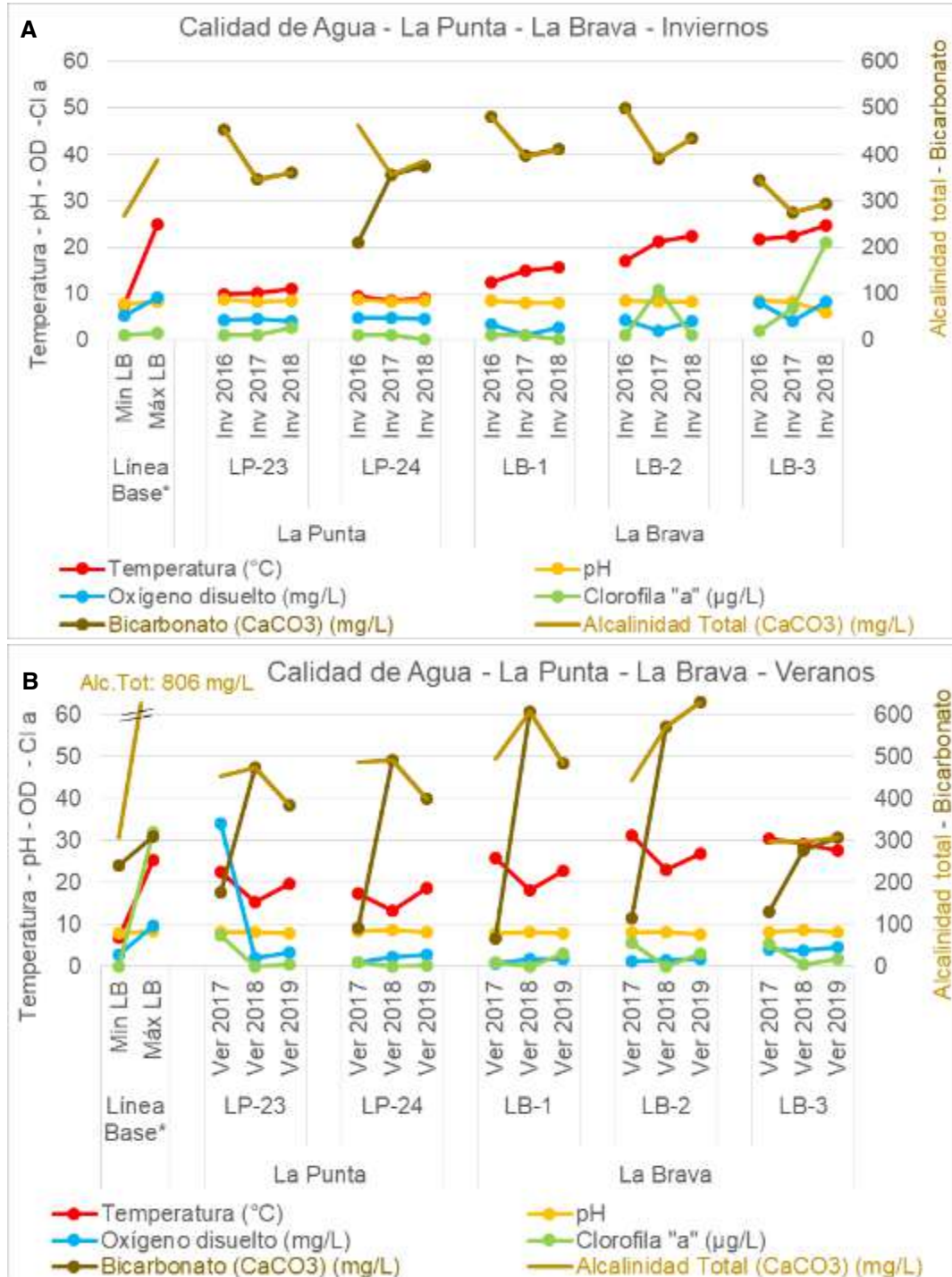
En La Punta y La Brava, el oxígeno disuelto presentó concentraciones comparativamente más bajas en los monitoreos de verano respecto de los de invierno, en la mayoría de las estaciones de este sistema lagunar (máximo 34 mg/L en LP-23 en verano 2017), lo cual se relaciona con las mayores temperaturas registradas en verano que genera una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Las concentraciones de Clorofila “a” tuvieron una importante variabilidad tanto en las campañas de invierno como de verano, las cuales se relacionan con la actividad fotosintética (crecimiento microalgal) (**Figura N° 12-75**).

**Figura N° 12-74. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. \*Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente.

**Figura N° 12-75. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua *in situ*, los relacionados con el pH y Cl-a en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**

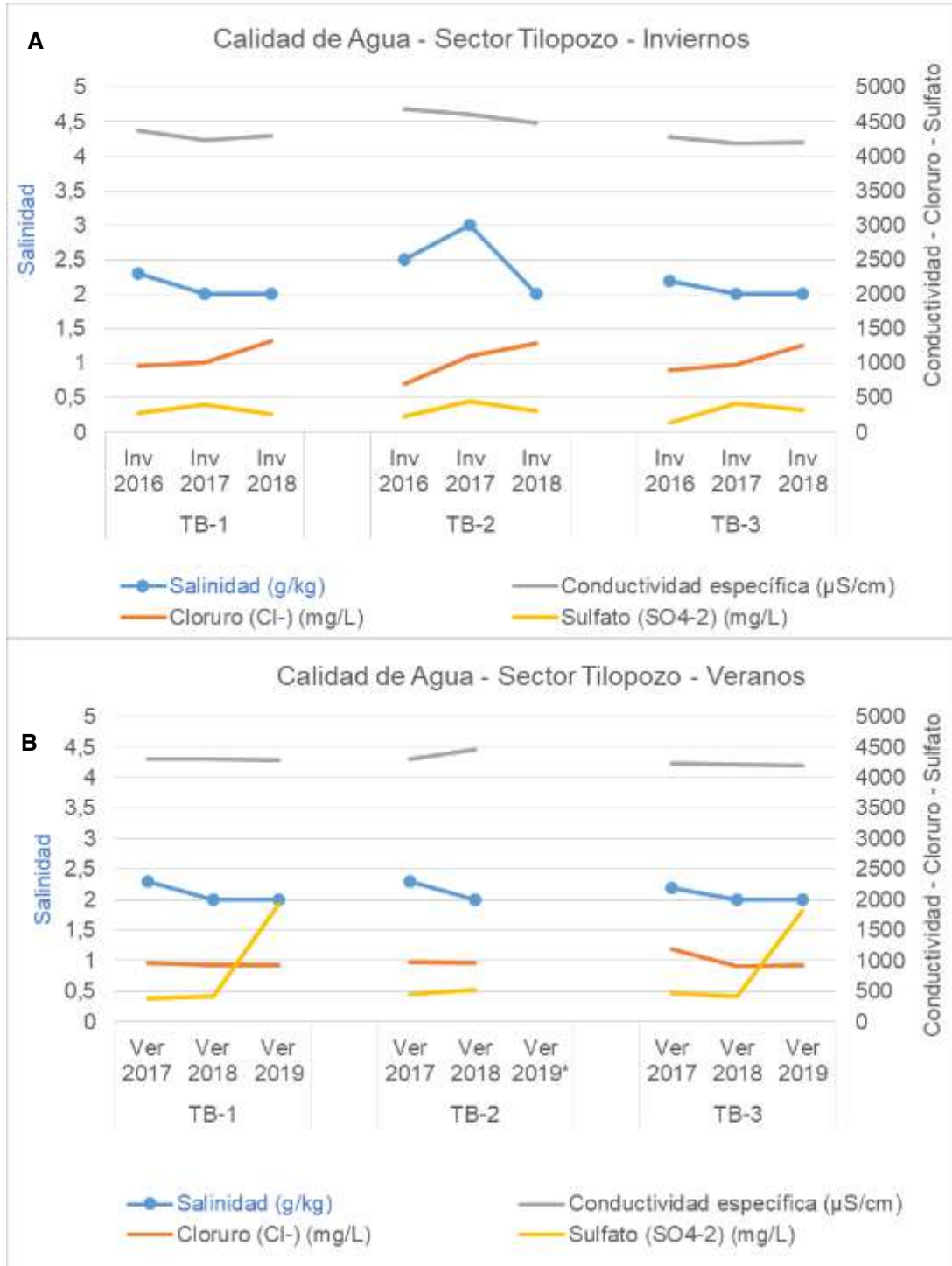


Fuente: Elaboración propia. \*Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente.

Los valores obtenidos en el sector de **Tilopozo**, muestran un sistema con menor conductividad eléctrica (entre 4.481 y 4.690  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), salinidad (2 a 3 gr/Kg) y cloruro (entre 702 y 1.326 mg/L) que los otros sectores de estudio, condición esperable dada las características propias de estas estaciones de sistema de vegas y de su lejanía del núcleo del salar. Se registró un pH de neutro a básico (6,9 a 9), con valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 274 y 413 mg/L. Respecto a los parámetros mencionados para este sector, no se observaron importantes variaciones o diferencias entre las campañas de invierno y verano (**Figura N° 12-76**).

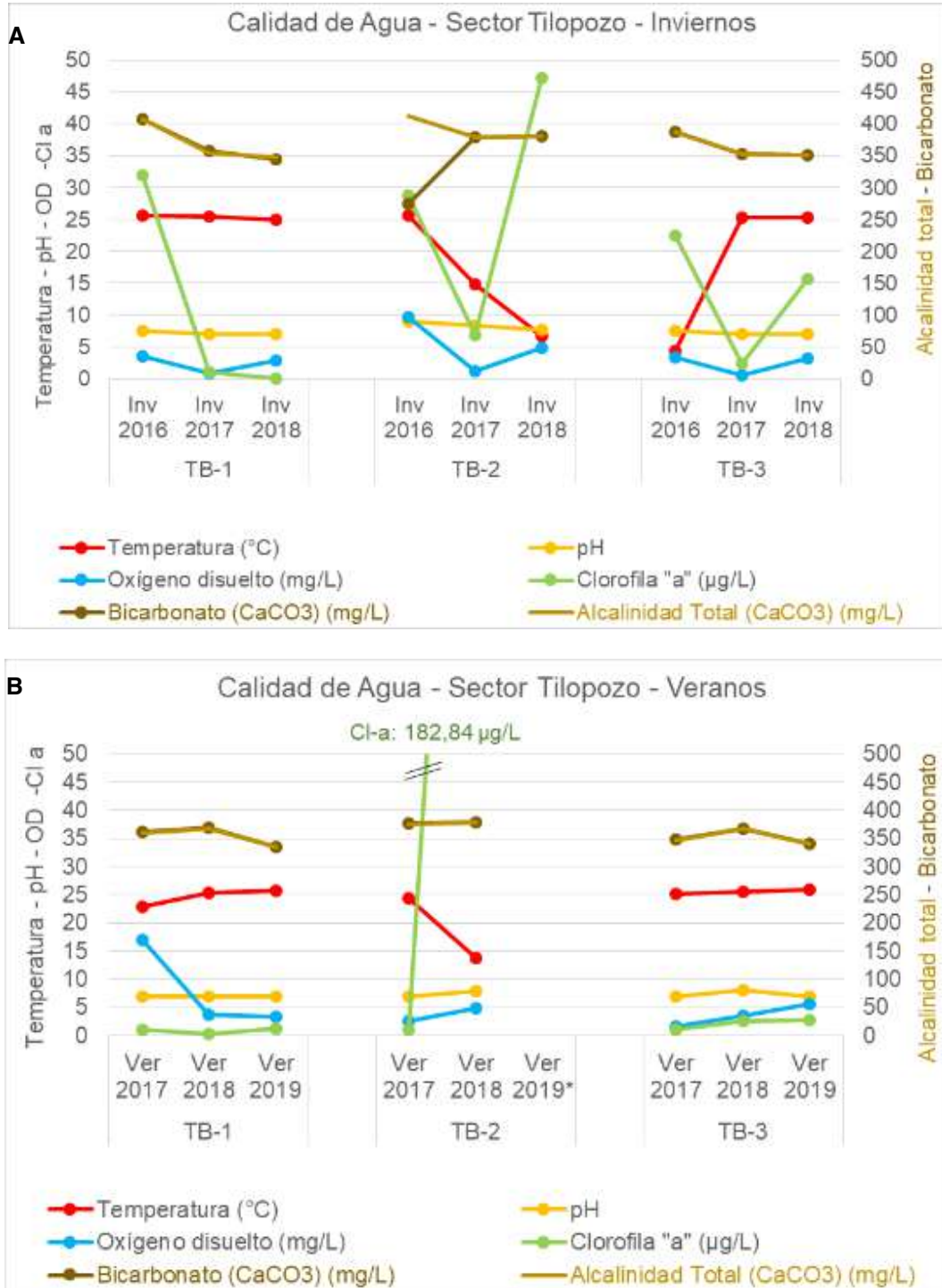
Las temperaturas en general fueron altas y cercanas a 25°C para TB-1 y TB-3, tanto en verano como en invierno, pero en el caso de TB-2 tuvo un registro más variable, entre de 6,7°C en invierno 2018 y 25,7 en invierno 2016. Si bien las estaciones del sector Tilopozo se encuentran cercanas entre sí, éstas presentan diferencias, observándose valores similares para algunos parámetros entre las estaciones TB-1 y TB-3, a diferencia de la estación TB-2, en relación a la temperatura, pH, conductividad específica, oxígeno disuelto, alcalinidad total, bicarbonato, sulfato, nitrato, clorofila “a” y turbiedad. Esto se relaciona con que las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de 1,5 a 2 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial, respectivamente, y TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad. Cabe mencionar que esta última se encontró sin agua en verano 2019. Ahora bien, en verano 2018 la clorofila “a” en fitoplancton alcanzó un valor de 182,84  $\mu\text{g}/\text{L}$ . Este último valor se registró en la estación TB-2 siendo el mayor para el sector, que si bien podría indicar que corresponde a un sistema Eutrófico (sobre 75  $\mu\text{g Cl-a}/\text{L}$  según la normativa de referencia de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE, 1982), también se relaciona con que esa estación correspondió a una zona inundada (vega) de baja profundidad con alta concentración vegetal (**Figura N° 12-77**).

**Figura N° 12-76. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 12-77. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua *in situ*, los relacionados con el pH y Cl-a en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. \*TB-2 en Verano 2019 se encontró sin agua.

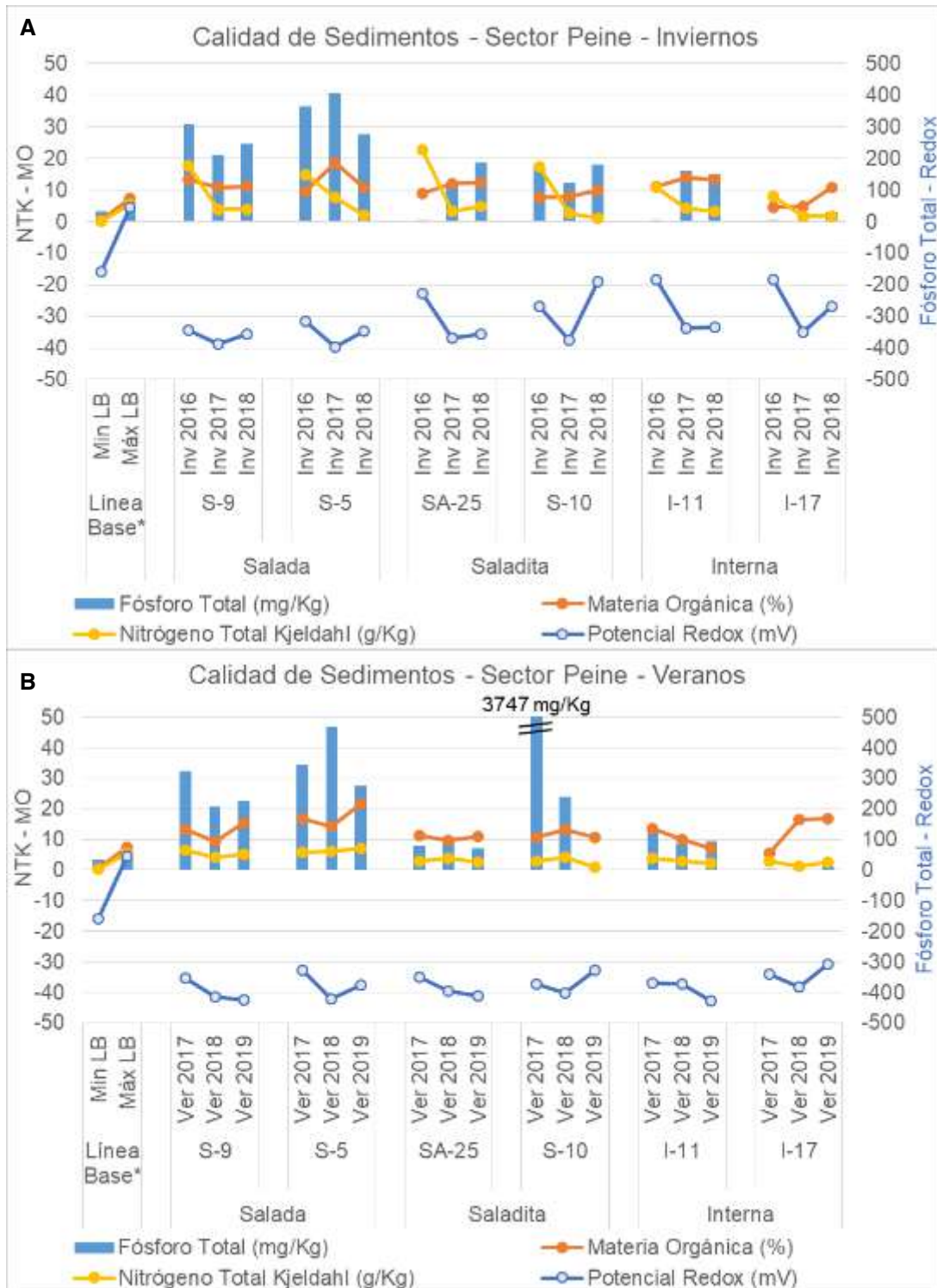
### 12.5.1.2.2 Calidad de sedimentos

Es importante destacar, que en el caso del sedimento, sólo se efectuó una campaña de levantamiento de datos en el año 2015 para la elaboración del PMB de la Adenda 5, por lo que los desvíos con respecto a dichos datos, pueden deberse a la variación natural de los sistemas.

Los resultados descritos para las estaciones del sector **Peine** (laguna Salada, Saladita e Interna), tanto para los inviernos como los veranos, presentan valores sobre el máximo registrado en la línea base (PMB), para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total (**Figura N° 12-78**). En el caso de la materia orgánica y COT, están relacionados directamente con actividad biológica, dado por los subproductos orgánicos e inorgánicos de microorganismos halófilicos, que por lo demás pueden afectar la morfología, cinética de precipitación y ocurrencia de minerales de evaporitas que se forman en estos sistemas. Aunque los sedimentos son relativamente ricos en materia orgánica, gran parte de esa materia orgánica es aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica (Javor, 1989). El alto contenido de fósforo puede deberse a la misma razón. Cabe señalar que el potencial redox presentó características reductoras en todas las estaciones y en todas las campañas. 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).

Respecto al análisis granulométrico del sector de Peine, los sedimentos mostraron que el diámetro medio de grano estuvo comprendido entre *arena fina* y *arena media*, observándose porciones más finas en verano 2018, respecto de invierno 2017 e invierno 2018. Los grados de selección obtenidos fueron de *Pobrememente seleccionado* a *Muy pobrememente seleccionado*, lo que implica que la composición granulométrica de los sedimentos presentó varios tipos de tamaño de arena y limo, pero principalmente *arena fina* en Laguna Salada (invierno 2017 y verano 2018), *arena fina* y *arena media* en Saladita (invierno 2017 e invierno 2018) y mayoritariamente *arena media* en Laguna Interna (invierno 2017 e invierno 2018). Los análisis granulométricos de la línea base en verano 2015 (PMB), indican que los tipos de grano medio para este sector estuvieron entre limo (0,018 mm) y arena fina (0,230 mm), con grados de selección entre *Pobrememente seleccionado* a *Muy pobrememente seleccionado*, lo cual si bien es similar para las lagunas Salada y Saladita, no se ajusta totalmente a lo encontrado en la laguna Interna. Tal desviación de los resultados respecto a dicha campaña de LB, podrían deberse a un mayor flujo de agua en laguna Interna en las últimas campañas, permitiendo la ocurrencia de fracciones sedimentarias de mayor tamaño (arena media). Cabe mencionar que en verano 2019 no se pudo llevar a cabo ningún análisis granulométrico en laboratorio debido a factores técnicos explicados por la ETFA encargada de realizar los análisis (ANAM S.A.) en la Carta R64/2019 incluida en el **Anexo Limnología – Sedimentos** (ver acápite 9.2.3.2 Resultados Calidad de sedimentos).

**Figura N° 12-78. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. \*Registro de Línea Base solo en verano 2015.



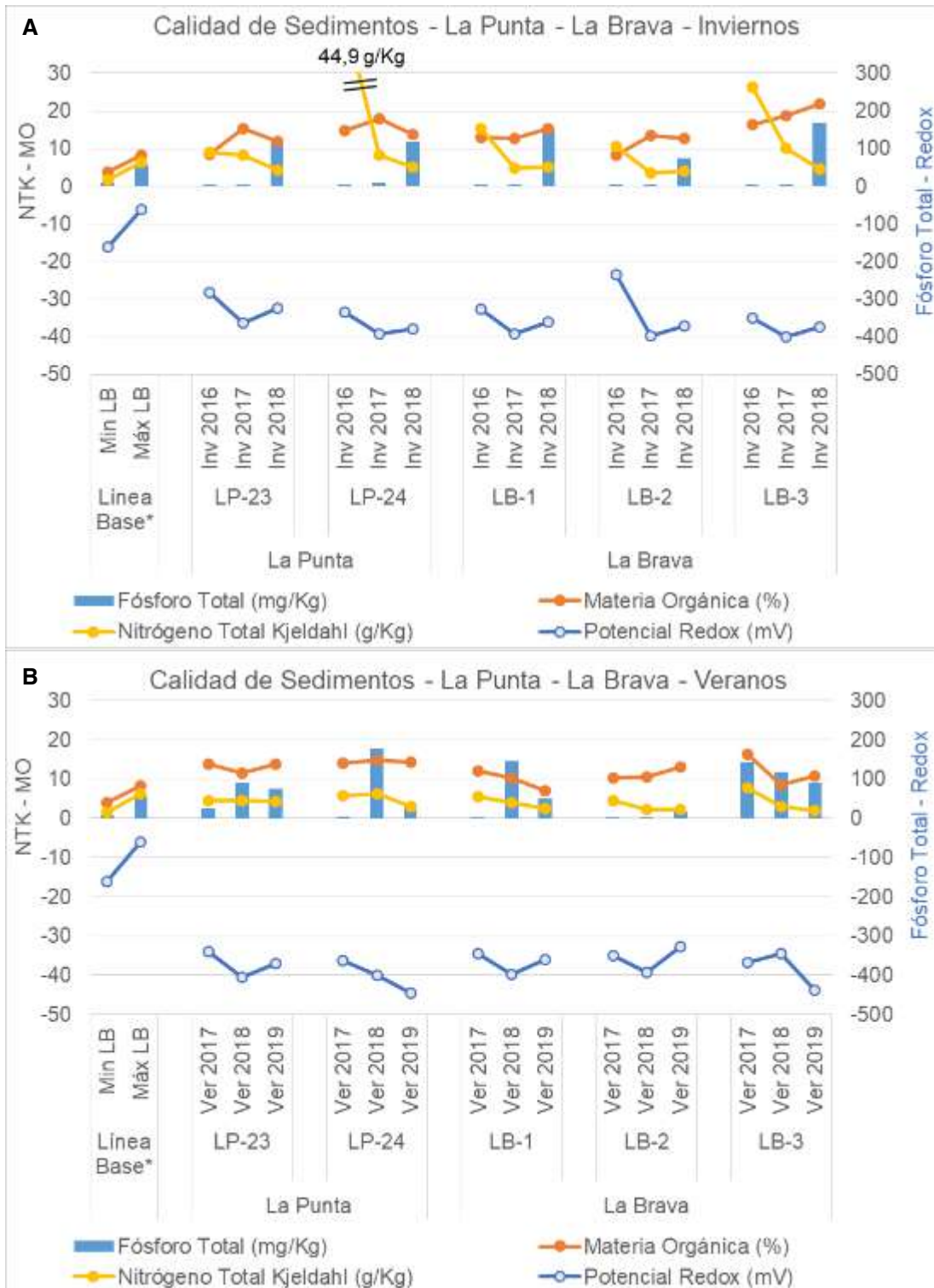
Los resultados descritos para las estaciones de **La Punta y La Brava**, muestran valores sobre el máximo registrado para la línea base (PMB). Al igual que para el sector de Peine, los valores en la mayoría de los parámetros analizados se encuentran fuera de los rangos establecidos en la línea base (carbono orgánico total, materia orgánica, fosforo total y potencial óxido reducción). Sin embargo, estos parámetros han mostrado generalmente valores fuera del rango de la línea base en los monitoreos realizados desde invierno 2016 dentro del Plan de Manejo Biótico, evidenciando que tales valores se corresponden con ambientes acuáticos alcalinos con ocurrencia de biota, con altas concentraciones de sales y con materia orgánica en su sedimento recalcitrante a su degradación (**Figura N° 12-79**).

Respecto a la granulometría obtenida en los distintos periodos, en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos tanto en LP-23 como en LP-24, correspondieron de *arena muy fina a arena media* con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado* en todos los casos. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano estuvo comprendido de *arena fina a arena muy gruesa*, con grados de selección de *Muy pobremente seleccionado a Pobremente seleccionado*.

En las estaciones del sector **Tilopozo** se registraron altos valores para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total en los sedimentos, este último alcanzando los 1094,2 mg/Kg en la estación TB-2 en invierno 2016, además de importantes concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl en el sector, en invierno 2016 en TB-3. Por su parte, el potencial redox presentó características reductoras en la mayoría de los periodos en las tres estaciones de monitoreo (**Figura N° 12-80**). Cabe mencionar que los registros de carbono orgánico total y materia orgánica fueron más altos en TB-2, esto relacionado con que esa estación está ubicada a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, el cual en verano 2019 se encontró sin agua. Por su parte las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden principalmente a pozas de 1,5 y 2 m de profundidad, respectivamente, de modo que se favorece en estas últimas la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos.

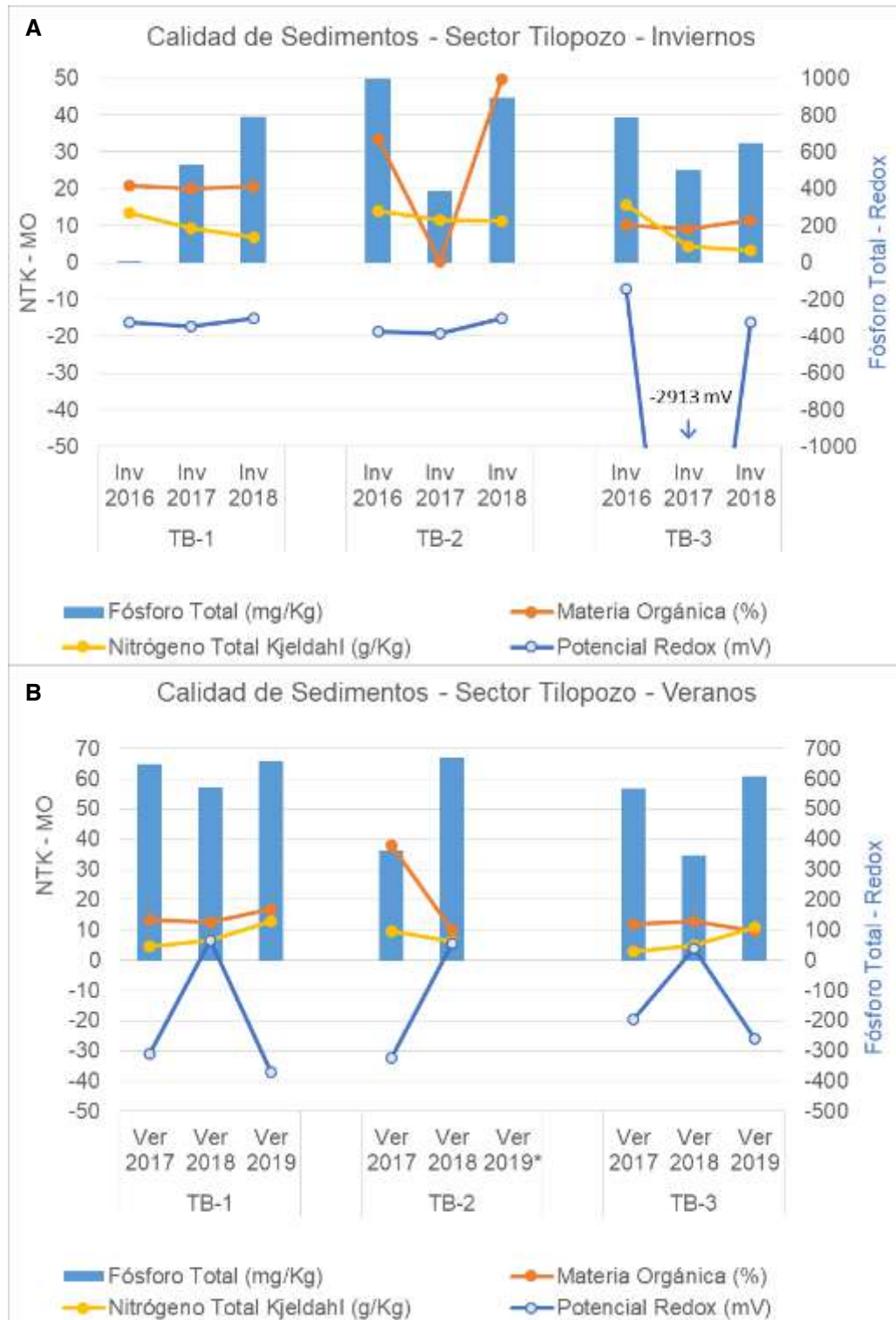
Los resultados granulométricos para el Sector de Tilopozo, muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones correspondieron de *arena muy fina a arena media* en las tres estaciones monitoreadas, con grados de selección de *Pobremente seleccionado a Muy pobremente seleccionado*.

**Figura N° 12-79. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. \*Registro de Línea Base solo en verano 2015.

**Figura N° 12-80. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. \*TB-2 en Verano 2019 se encontró sin agua.

### 12.5.1.2.3 Biota acuática

Para el análisis comparativo entre línea de base y monitoreo de la biota acuática, se consideró la comparación de la riqueza y la abundancia total con los rangos de variación (mínimo y máximo) de la línea de base (en adelante LB) contemplados en el Plan de Manejo Biótico. Para ello se utilizará la data de línea de base de los periodos de septiembre 2008, 2013, y julio 2014 como periodo de invierno y los periodos de abril 2014 y febrero 2015 como periodo de verano. Estos datos de LB, serán comparados con lo detectado en las respectivas campañas de monitoreo invierno 2016 (M1), 2017 (M3) y 2018 (M5). Por otro lado se compararán las campañas de monitoreo verano de LB, con las respectivas campañas de monitoreo de verano 2017 (M2), 2018 (M4) y 2019 (M6).

Además, se aborda el detalle de los taxa dominantes (en abundancia y representatividad) de la Biota Acuática por período estacional de invierno y verano los que se incluyen en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua.**

- Fitobentos

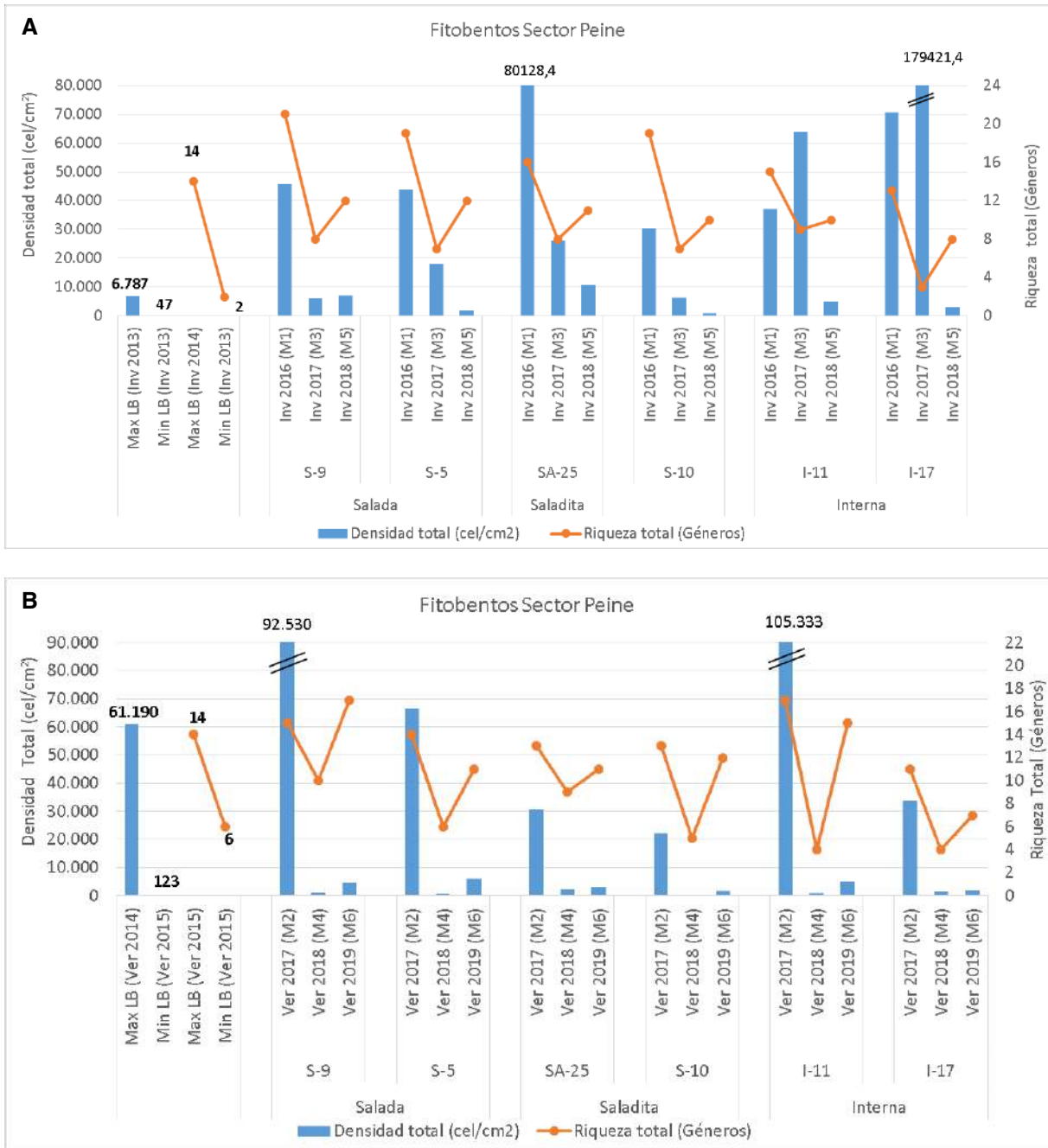
Respecto del fitobentos y su evolución histórica en el **sector Peine**, para la riqueza de géneros y la abundancia total, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2018 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2019 y línea de base (periodos de verano), se observó que los registros fueron similares para un mismo periodo estacional. Al comparar los registros de riqueza de géneros de invierno con los de verano se observó que estos también fueron similares. En cambio, los registros para la abundancia comparando invierno y verano, fueron menores en verano.

El rango de variación detectado en invierno 2018 presentó un mínimo y máximo de riqueza de géneros contenido dentro de lo observado en la línea de base. Rango (Min 8; Max 12) en invierno 2018 versus (Min 2; Max 14) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-81 A**). En tanto en verano 2019 el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo contenido en general dentro de lo observado en la línea de base. Rango (Min 7; Max 17) en verano 2019 versus (Min 6; Max 14) en periodos de verano LB, exceptuando el punto S-9 e I-11. En cuanto a todos los veranos, también en su mayoría se encuentran dentro de los rangos de LB (**Figura N° 12-81 B**).

En tanto el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en invierno 2018, estuvo dentro del rango observado en la línea de base. Rango (Min 959; Max 10.635) en invierno 2018 versus (Min 46,8; Max 6787,2) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-81 A**). En verano 2019, el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada estuvo dentro del rango observado en la línea de base. Rango (Min 2102; Max 6037) en verano 2019 versus (Min 123; Max 61190) en periodos de verano LB. Sin

embargo, se pueden observar valores fuera de este rango para el verano 2017 en algunas estaciones de muestreo (Figura N° 12-81 B).

**Figura N° 12-81. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

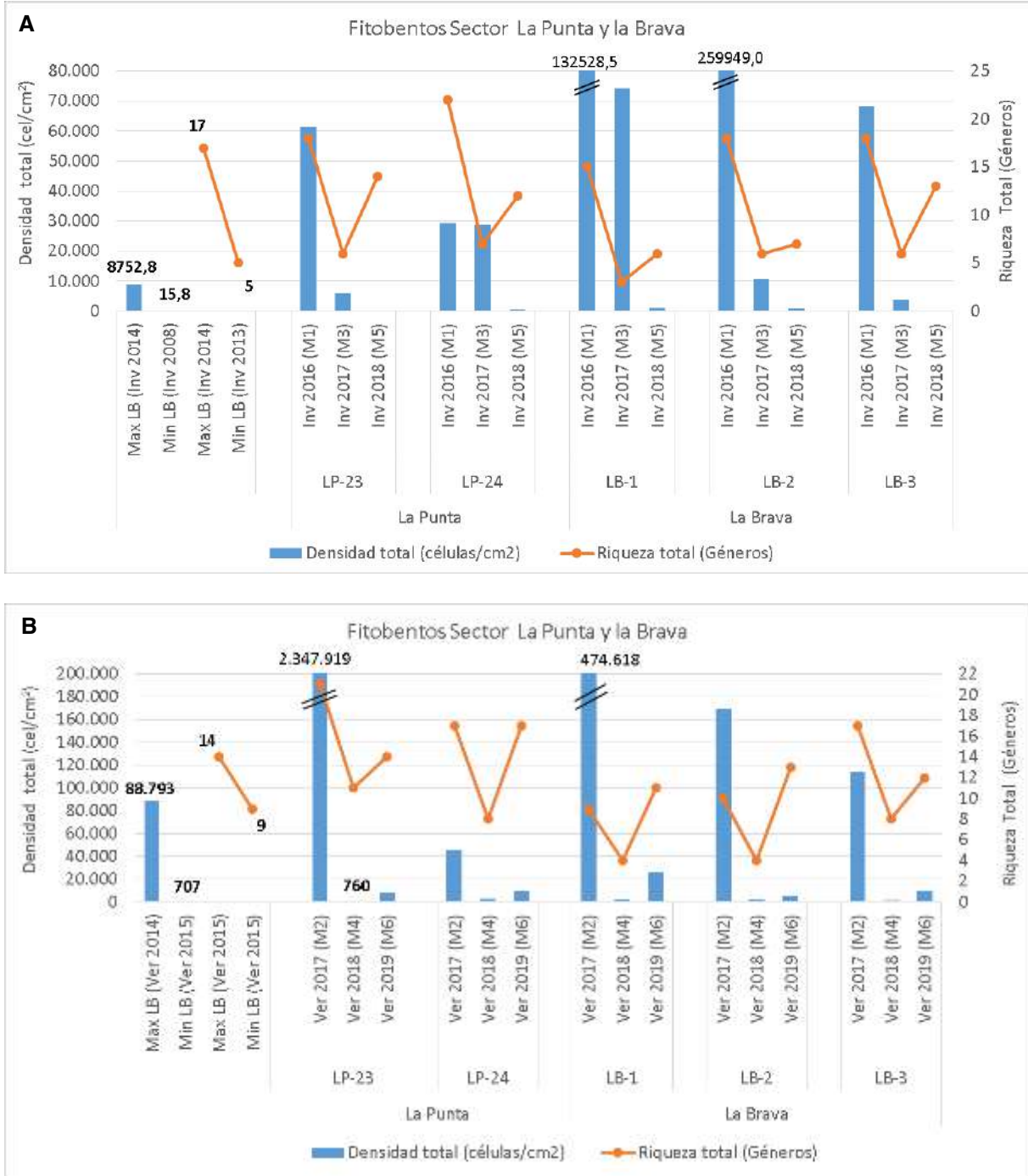
Respecto a los géneros que presentaron la mayor representatividad en la campaña de invierno 2018, se observó que *Navicymbula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias, similar a lo mostrado que en la línea de base para periodos de invierno. En la línea de base además se observó la alta dominancia de la diatomea *Achnanthes* y las mayores representatividades la presentaron las diatomeas; *Nitzschia* y *Navicula*. En tanto, los géneros que presentaron la mayor representatividad en la campaña de verano 2019, se observó que *Halamphora*, *Navicula* y *Oscillatoria* (las primeras diatomeas y la última cianófito) presentaron las mayores dominancias, diferente a lo mostrado que en la línea de base para periodos de verano. En la línea de base se observó la alta dominancia de las diatomeas *Achnanthes*, *Nitzschia*, *Diatoma*, *Navicula* y *Amphora* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

En el sector **La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros y la abundancia total, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2018 y línea de base (periodos de invierno) y verano 2019 y línea de base (periodos de verano), se observó que los registros fueron similares para un mismo periodo estacional. Al comparar los registros de riqueza de géneros de invierno con los de verano se observó que estos también fueron similares. En cambio, los registros para la abundancia fueron variables.

En invierno 2018, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en estuvo contenido dentro de lo observado en la línea de base. Rango (Min 6; Max 14) en invierno 2018 versus (Min 5; Max 17) en periodos de invierno LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2018 fue mayor a lo observado en la línea de base. Rango (Min 117; Max 1.126) en invierno 2018 versus (Min 16; Max 8752,8) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-82 A**).

En relación a la campaña de verano 2019, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo en general dentro de lo observado en la línea de base. Rango (Min 11; Max 17) en verano 2019 versus (Min 9; Max 14) en periodos de verano LB. Cabe destacar que la estación LP-24, en verano de 2017 presentó una riqueza superior a lo observado en la LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2019, estuvo dentro de lo observado en la línea de base. Rango (Min 5038; Max 26561) en verano 2019 versus (Min 707; Max 88793) en periodos de verano LB (**Figura N° 12-82 B**). Cabe destacar que, la abundancia, se observó un aumento en el periodo de verano 2017 en las estaciones LP-23 y LB-1 presentando valores superiores a lo observado en la LB y en verano 2019.

**Figura N° 12-82. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

Respecto de las mayores dominancias a los géneros, se observó que *Amphora* y *Nitzschia* además de la cianofícea *Oscillatoria* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2018, mientras que *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la línea de base para periodos de invierno. En tanto en la campaña de verano 2019, las mayores dominancias de géneros la presentaron las diatomeas *Denticula* y *Nitzschia* además de la cianofícea *Chroococcus* fueron las más dominantes, mientras que *Denticula*, *Amphora* y *Navicula* (todas diatomeas) y *Chroococcus* (cianofícea) presentaron las mayores dominancias en la línea de base para periodos de verano (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

El Sector **vegas de Tilopozo** no presenta antecedentes de línea de base para fitobentos, por lo tanto su seguimiento y variación fue evaluada en relación a las campañas de monitoreo anteriores considerando el mismo periodo estacional. En relación a la riqueza de géneros los registros de invierno como de verano fueron similares. En tanto, para la abundancia fueron mayores para el periodo de invierno.

En periodos de invierno, los registros de riqueza de géneros y abundancias entre invierno 2016, 2017 e invierno 2018 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 y los menores en invierno 2018. 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 y (Min 3; Max 9) en invierno 2018 (**Figura N° 12-83 A**).

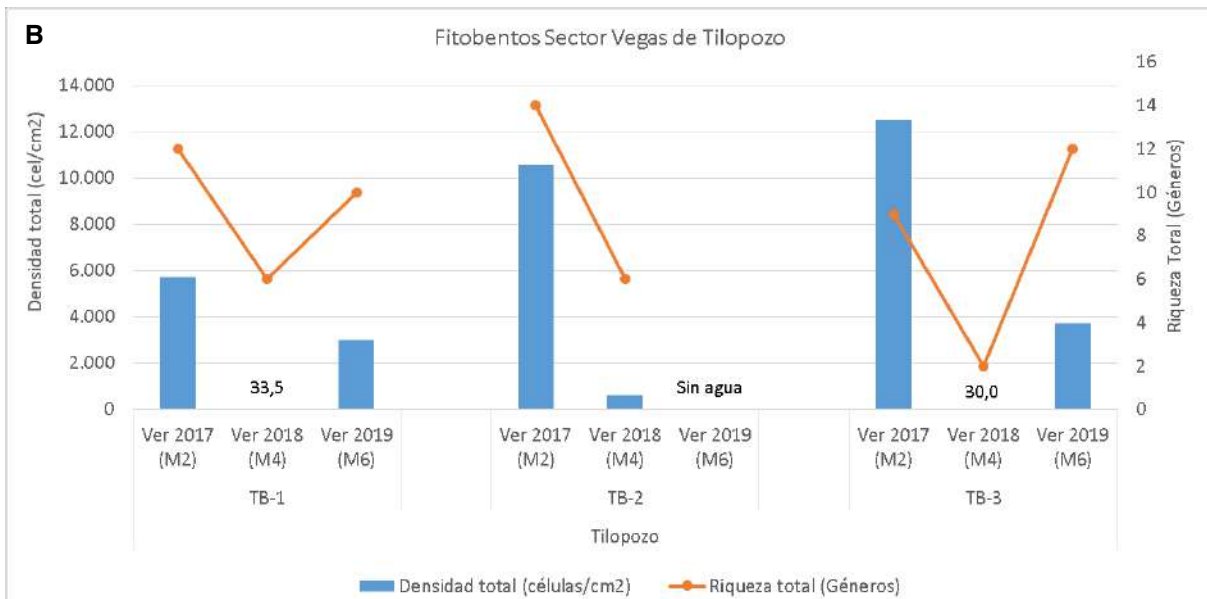
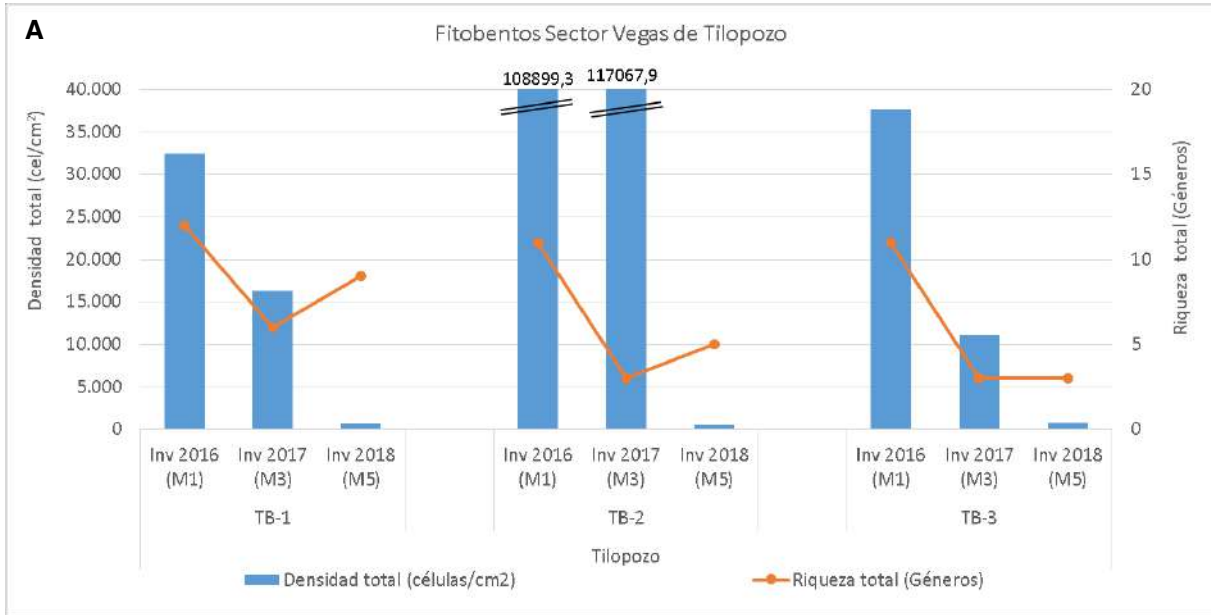
Por otro lado en periodos de verano, los registros de riqueza de géneros entre verano 2017, 2018 y 2019 fueron similares, observándose valores ligeramente mayores en verano 2017. Cabe resaltar que la estación TB-3 presentó un alto valor de riqueza en verano 2019 con 12 géneros. Rango (Min 9; Max 14) en verano 2017, (Min 2; Max 6) en verano 2018 y (Min 10; Max 12) en verano 2019 (**Figura N° 12-83 B**).

En periodos de invierno, el rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017 y 2018, fueron diferentes, con valores menores en invierno 2018. Rango (Min 32.466; Max 108.899) en invierno 2016, (Min 11.064; Max 117.068) en invierno 2017 y (Min 543; Max 753) en invierno 2018 (**Figura N° 12-83 A**).

Por otro lado en periodos de verano, la abundancia presentó diferencias entre campañas de monitoreo, siendo menores en verano 2018. Respecto del rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectada entre verano 2017, 2018 y 2019, fueron distintas. Rango (Min 5709; Max 12480) en verano 2017, (Min 30; Max 626) en verano 2018 y (Min 3008; Max 3724) en verano 2019 (**Figura N° 12-83 B**). Para la estación TB-2 en verano 2019 no fue detectada agua por lo que no presenta registro.



**Figura N° 12-83. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que, para ambos monitoreos así como para la línea de base del fitobentos, la dominancia en el sector fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson et al. 1996).

En el sector **vegas de Tilopozo**, las dominancias en el fitobentos cambiaron entre mismos periodos estacionales, como también fueron diferentes al comparar invierno y verano. Para el periodo de invierno, entre estaciones de muestreo también fueron observadas diferencias entre microalgas dominantes. En invierno 2016 y 2017 se observó una alta predominancia de cianófitas (*Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*) y zygnematoficea (*Mougeotia*) en las estaciones de las vegas. En invierno 2018 las dominancias estuvieron representadas por las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula*.

Por otra parte en el periodo de verano, entre estaciones de muestreo también fueron observadas diferencias entre microalgas dominantes. En verano 2017 se observó una alta predominancia de la diatomea *Denticula*, la cianófito *Oscillatoria* y la clorófito *Mougeotia*, en tanto en verano 2018 dominaron las diatomeas *Craticula*, *Nitzschia* y *Cocconeis*. En tanto, en verano 2019 las dominancias estuvieron representadas por las diatomeas *Nitzschia*, *Achnantheidium* y *Cocconeis* (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Para todos los monitoreos de invierno como de verano, la dominancia en el sector vegas de Tilopozo fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson *et al.* 1996).

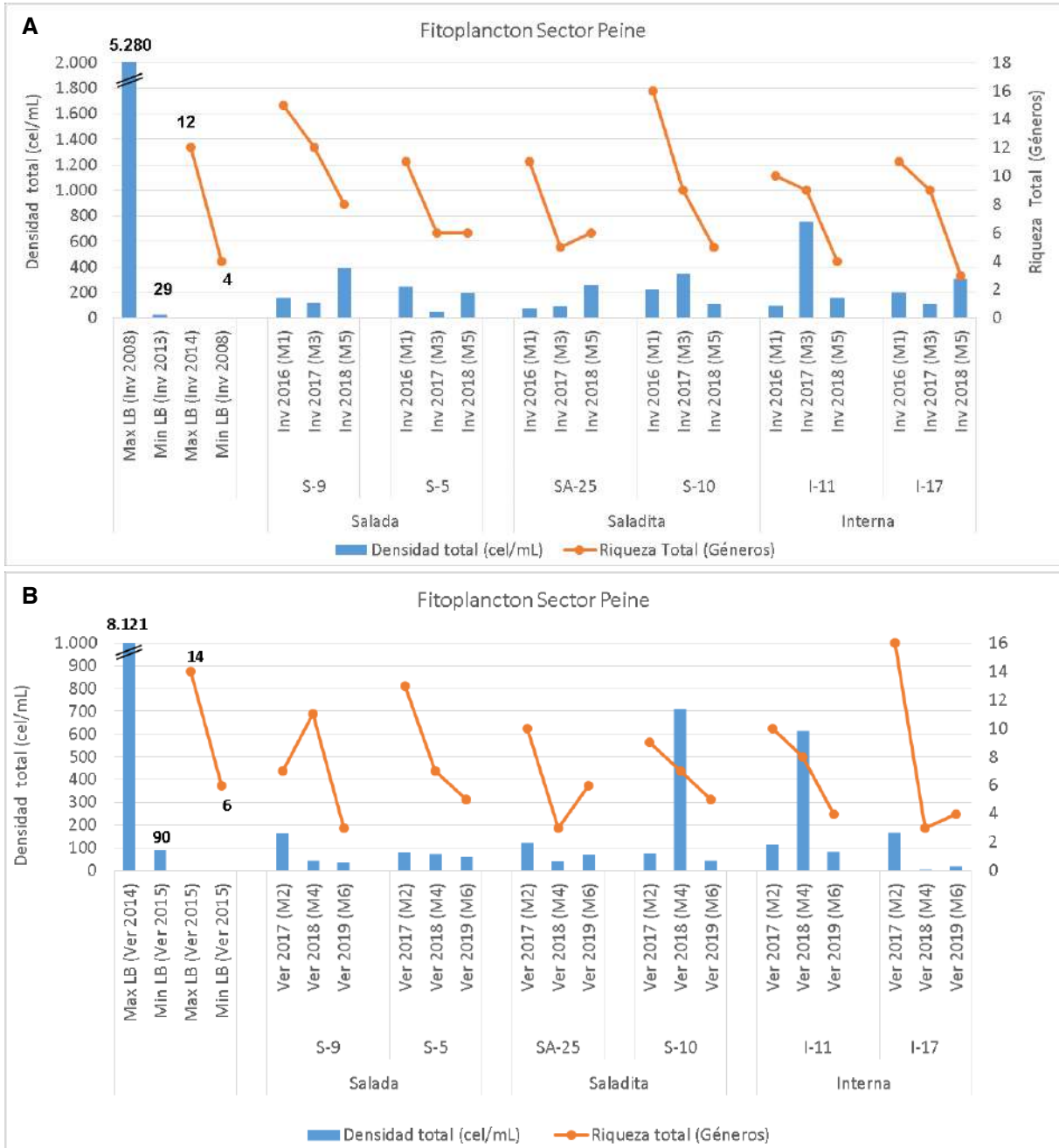
- Fitoplancton

Respecto del fitoplancton y su evolución histórica en el **sector Peine**, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2018 y línea de base (periodos de invierno), se observaron registros similares de riqueza y abundancia total. En tanto, entre campaña de monitoreo verano 2019 y línea de base (periodos de verano), se observaron registros menores de riqueza y abundancia total para este verano 2019.

Al comparar los registros de riqueza de géneros de invierno con los de verano se observó que estos también fueron similares. En cambio, los registros para la abundancia comparando invierno y verano, fueron menores en verano.

En el periodo de invierno, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2018 estuvo contenido dentro del observado en la línea de base. Rango (Min 3; Max 8) en invierno 2018 versus (Min 4; Max 12) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-84 A**). En el periodo de verano, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en verano 2019 estuvo contenido dentro del observado en la línea de base. Rango (Min 3; Max 6) en verano 2019 versus (Min 6; Max 14) en periodos de verano LB, siendo los valores mínimos los que escapan del rango de línea base (**Figura N° 12-84 B**).

**Figura N° 12-84. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

En el periodo de invierno, el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en invierno 2018, estuvo contenida dentro del rango observado en la línea de base. Rango (Min 111; Max 388) en invierno 2018 versus (Min 29; Max 5.280) en periodos

de invierno LB (**Figura N° 12-84 A**). En el periodo de verano, el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en verano 2019, estuvo en un rango menor al observado en la línea de base. Rango (Min 18; Max 83) en verano 2019 versus (Min 90; Max 8.121) en periodos de verano LB. En cuanto a las campañas de verano, se puede observar en general que todos los valores son menores a la línea de base del año 2014 (**Figura N° 12-84 B**).

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 campaña de invierno 2018, de la misma manera en la línea de base. En periodos de verano, se observó que *Nitzschia*, *Halamphora* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2019, mientras que, las diatomeas *Cocconeis*, *Navicula*, *Amphora* y *Achnanthes*, fueron dominantes en la línea de base del periodo de verano. Los registros de mayores representatividades de los géneros para invierno y verano son mostrados en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**.

Cabe destacar que, para ambos monitoreos así como para la línea de base del fitoplancton en el sector Peine, la dominancia en el sector fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson et al.1996).

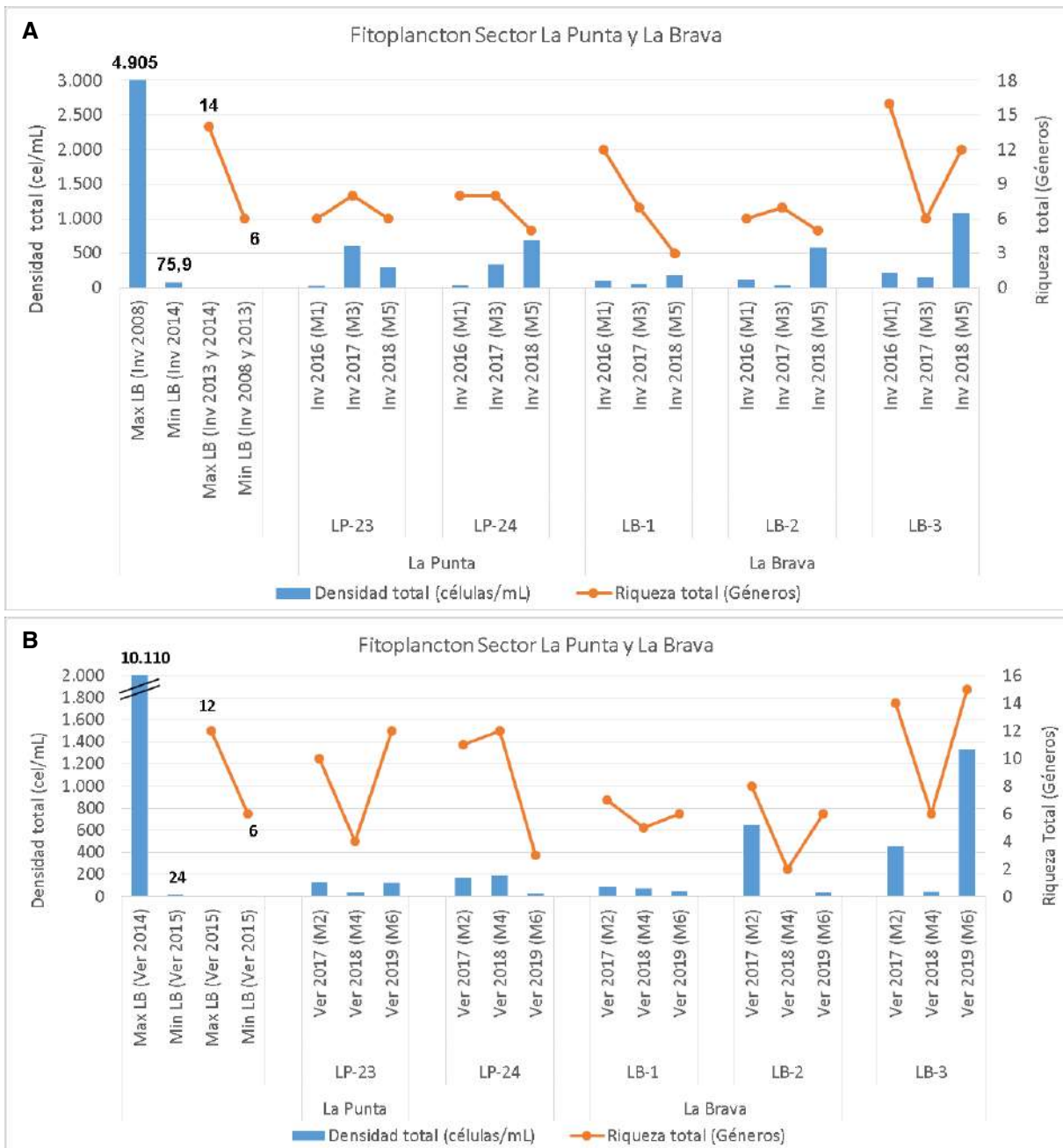
En el **sector La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2018 y línea de base (periodos de invierno), se observó registros similares de riqueza en invierno 2018 respecto de la línea de base. En el periodo de verano, en el contexto comparativo de la riqueza de géneros, entre campaña de monitoreo verano 2019 y línea de base (periodos de verano), se observó registros ligeramente mayor de riqueza en verano 2019 respecto de la línea de base. En cambio la abundancia total presentó valores menores en verano 2019, no obstante dentro del rango de variación de la línea de base.

Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano se observó que ambos parámetros fueron similares.

Para el periodo de invierno, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2018 estuvo contenido dentro del observado en la línea de base, (Min 3; Max 12) en invierno 2018 versus (Min 6; Max 14) en periodos de invierno LB (**Figura N° 12-85 A**). El rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en verano 2019 fue ligeramente mayor a lo observado en la línea de base. Rango (Min 3; Max 15) en verano 2019 versus (Min 6; Max 12) en periodos de verano LB; en verano 2019 se

observó una riqueza mayor en la estación LB-3 con 15 géneros y una menor riqueza en la estación LP-24 con 3 géneros (**Figura N° 12-85 B**).

**Figura N° 12-85. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2018 estuvo contenida dentro de lo observado en la línea de base. Rango (Min 185; Max

1.073) en invierno 2018 versus (Min 76; Max 4.905) en periodos de invierno LB. Mientras que, el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2019 estuvo contenida dentro de lo observado en la línea de base. Rango (Min 28; Max 1333) en verano 2019 versus (Min 24; Max 10110) en periodos de verano LB (**Figura N° 12-85**).

Respecto a los géneros en periodo de invierno, se observó que las diatomeas *Nitzschia* y *Cymbellonitzschia* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2018, mientras que, *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la línea de base para periodos de invierno. En periodo de verano, se observó que la diatomea *Nitzschia*, *Navicula* y la cianófito *Chroococcus* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2019, mientras que las clorofíceas *Chlamydomonas* y *Botryococcus* y las diatomeas *Proschkinia* y *Cymbella*, presentaron las mayores dominancias en la línea de base para periodos de verano. Los registros de mayores representatividades de los géneros para invierno y verano son mostrados en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**.

Cabe destacar que, para ambos monitoreos así como para la línea de base del fitoplancton en el sector La Punta y La Brava, la dominancia fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson et al.1996).

El Sector **vegas de Tilopozo** no presenta antecedentes de línea de base para fitoplancton, por lo tanto su seguimiento y variación fue evaluada en relación a la campañas de monitoreo anterior considerando el mismo periodo estacional.

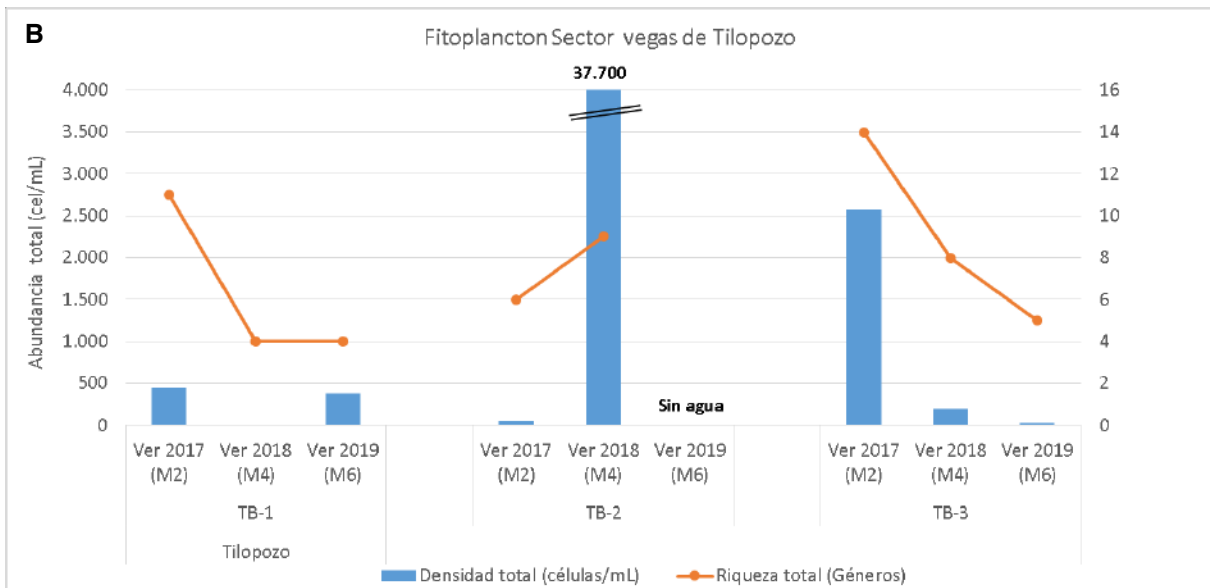
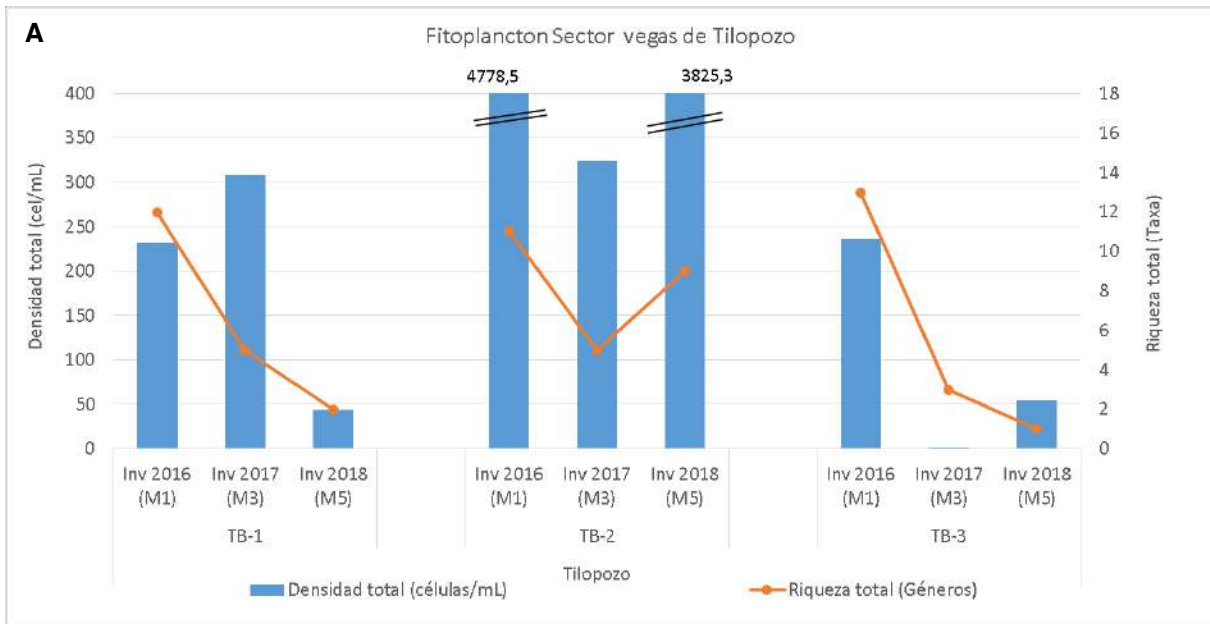
Los registros de riqueza de géneros y la abundancia total entre invierno 2016, 2017 y 2018 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 (TB-2). En cambio, los registros de riqueza de géneros y la abundancia total entre verano 2017, 2018 y 2019 presentaron diferencias, observándose mayores valores en verano 2017 (TB1 y TB3).

Al respecto, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado entre invierno 2016, 2017 y 2018, se encontraron mayores registros en invierno 2016. Rango (Min 11; Max 13) en invierno 2016, (Min 3; Max 5) en invierno 2017 y (Min 1; Max 9) en invierno 2018. En periodo de verano, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado entre verano 2017, 2018 y 2019, se encontraron mayores registros en verano 2017. Rango (Min 6; Max 14) en verano 2017, (Min 4; Max 9) en verano 2018 y (Min 4; Max 5) en verano 2019.

Respecto del rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017 y 2018, se encontraron mayores registros en invierno 2016. Rango (Min 232; Max 4.778) en invierno 2016, (Min 1; Max 325) en invierno 2017 y (Min 44; Max 3.825)

en invierno 2018 (**Figura N° 12-86 A**). Mientras que, el rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectada entre verano 2017, 2018 y 2019, se encontraron mayores registros en verano 2018 (con el mayor aporte de la estación TB-2). Rango (Min 49; Max 2575) en verano 2017, (Min 5; Max 37700) en verano 2018 y (Min 31; Max 386) en verano 2019 (**Figura N° 12-86 B**).

**Figura N° 12-86. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

Para el fitoplancton las dominancias (géneros con mayor abundancia y representatividad) cambiaron en los géneros representativos entre los periodos estacionales de invierno y verano; observándose un recambio de géneros entre los periodos (invierno 2016, 2017 y 2018) y (verano 2017, 2018 y 2019) en el sector vegas de Tilopozo. Por otra parte, entre estaciones de muestreo también fueron observadas diferencias entre microalgas dominantes (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

De acuerdo con lo anterior, en invierno 2016, dominaron los géneros *Anabaena* (cianofícea) y *Amphora* (diatomea). Estas representatividades fueron distintas a las detectadas en la campaña de invierno 2017 donde se observó una alta predominancia de la zygnetofícea *Mougeotia*, y las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula*, cianofitas (*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.

En verano 2017 se observó una alta predominancia de la diatomea *Amphora* y las cianofitas *Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*. Estas representatividades fueron distintas a las detectadas en la campaña de verano 2018 donde se observó una alta predominancia de las diatomeas *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula*. Mientras que, para la campaña de verano 2019, *Halumphora* (diatomea), presentó la mayor abundancia relativa entre las estaciones de vegas de Tilopozo.

Cabe destacar que, para ambos monitoreos así como para la línea de base del fitoplancton en vegas de Tilopozo, la dominancia fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson et al.1996).

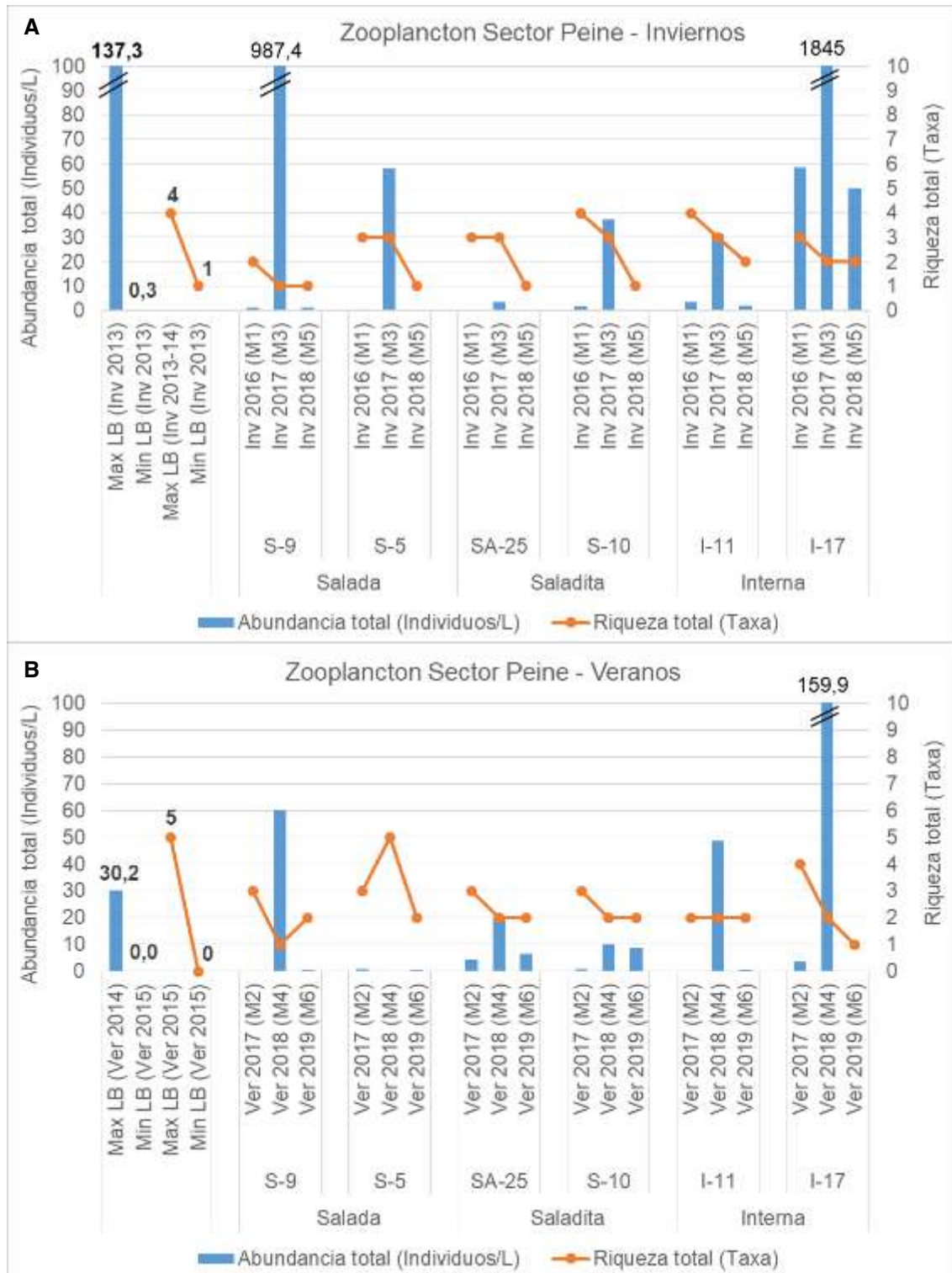
- Zooplancton

La comunidad de zooplancton en el **Sector Peine**, registró en general valores de abundancia total y riqueza dentro del rango establecido por la línea base del PMB, excepto por casos puntales de alta abundancia como en S-9 (laguna Salada) e I-17 (laguna Interna) tanto en invierno 2017 como verano 2018, mostrando en general bajas riquezas entre 1 y 5 taxa en los periodos monitoreados (**Figura N° 12-87**).

Cabe mencionar que en este sistema los zooplancteres más abundantes fueron copépodos Harpacticoidea y el branquiópodo *Artemia franciscana*. Esta última fue más abundante en verano 2018, donde se constató un incremento de su abundancia desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual tiene relación con la misma variación en conductividad y salinidad dada en este sistema. Cabe considerar que esta especie se considera como halofílica, encontrándose en ambientes incluso hipersalinos con salinidades por sobre los 90 g/L (De los Ríos-Escalante, 2010).



**Figura N° 12-87. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**

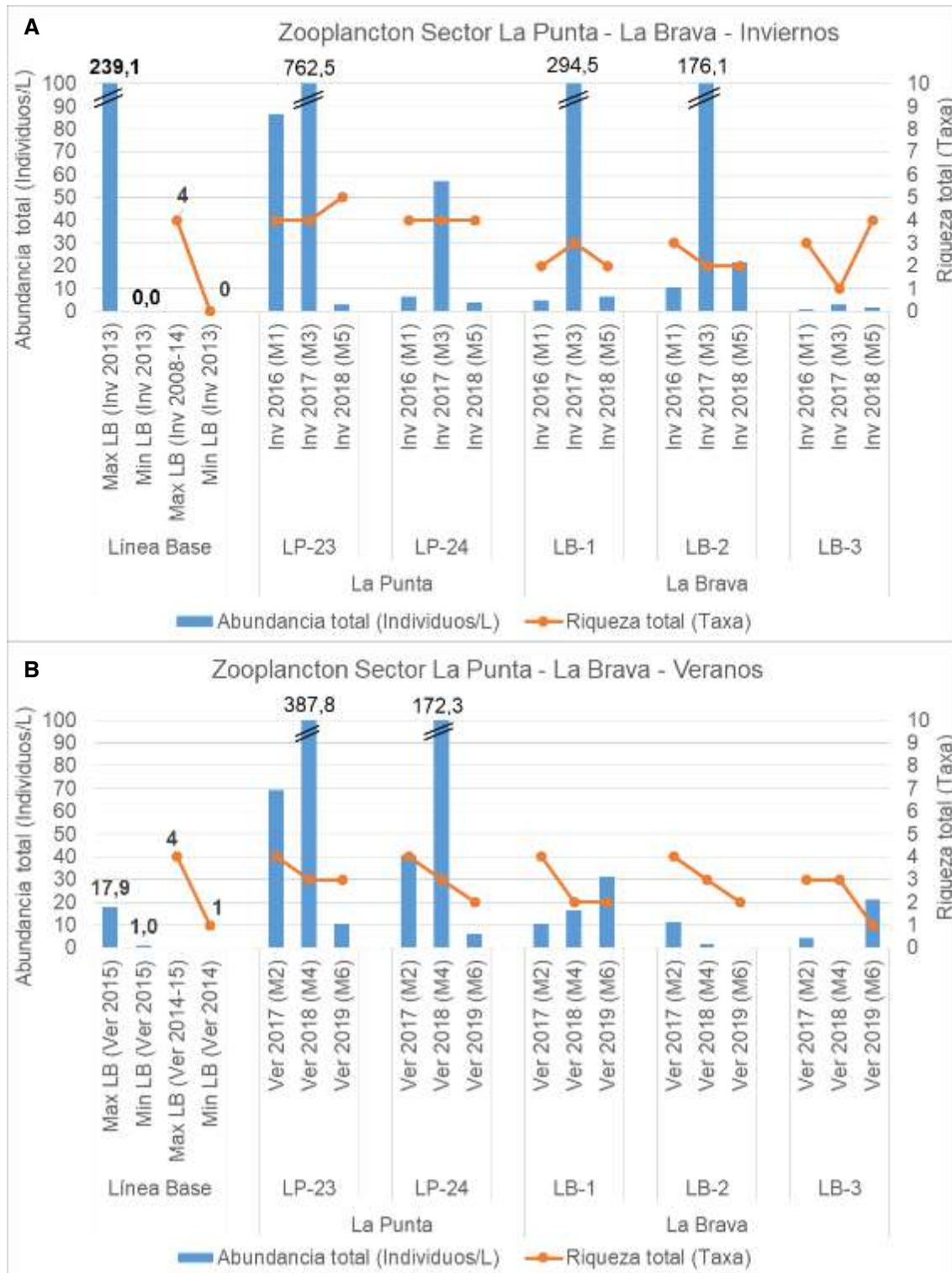


Fuente: Elaboración propia.

La comunidad de zooplancton en La **Punta y La Brava**, también se registraron valores de abundancia total y riqueza dentro del rango establecido por la línea base del PMB, excepto en invierno 2017 en las estaciones LP-23, LB-1 y LB-1 y en verano 2018 en las estaciones LP-23 y LP-24, donde se sobrepasó en abundancia total. Las riquezas fueron bajas, entre 1 y 4 *taxa* en los periodos de verano e invierno monitoreados (**Figura N° 12-88**). En este sistema se observó que en invierno 2017 dominaron los copépodos Harpacticoidea (principalmente en La Brava), mientras que en verano 2018, invierno 2018 y verano 2019 dominaron copépodos del género *Boeckella* y *Artemia franciscana*. Cabe mencionar que *Boeckella* se encontró mayoritariamente en laguna La Punta y *Artemia franciscana* en La Brava, lo que se puede relacionar con su nivel de tolerancia a la salinidad o bien, a las interacciones con otros organismos zooplanctónicos. Según la literatura especializada, algunos copépodos son animales omnívoros que filtran fitoplancton y también predan sobre protozoos y estadíos tempranos de desarrollo de otros zooplancteres, como es el caso de *Boeckella poopensis* que preda sobre las larvas nauplio de *Artemia franciscana*, lo cual podría ser la causa que ambas especies no coexistan a pesar de que sus rangos de tolerancia a la salinidad lo permiten. Ahora bien, una característica importante de los cuerpos de agua en Chile, es que se ha observado una mayor riqueza de zooplancteres en salinidades entre 5 g/L y 90 g/L, siendo posible encontrar conviviendo dos especies de copépodos. Sin embargo, sobre 90 g/L en salinidad, solo es posible encontrar presente a *Artemia franciscana* (De los Ríos-Escalante, 2010).

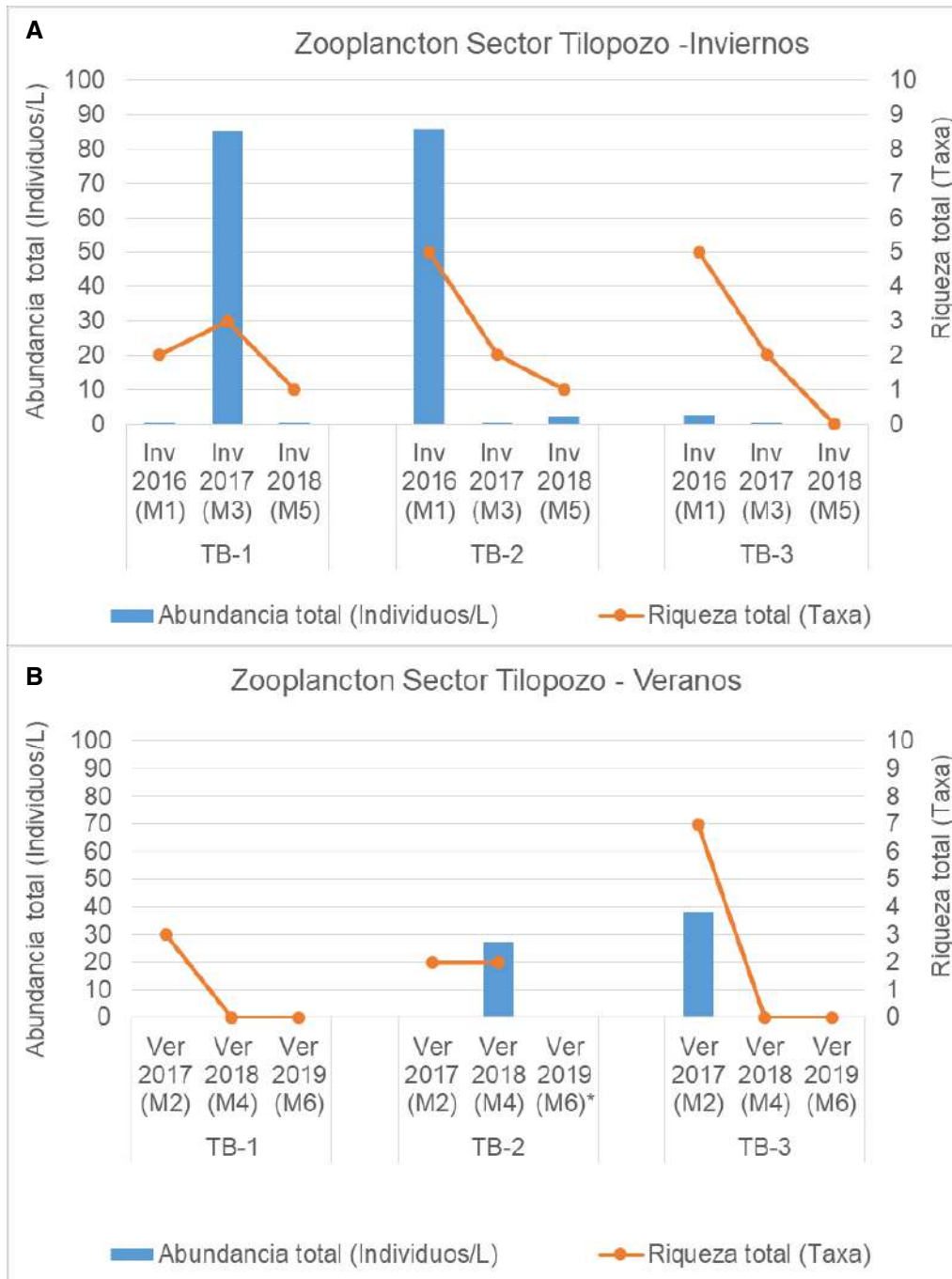
Para el sector **Tilopozo**, las riquezas totales estuvieron en el rango de 0 a 5 *taxa* en las campañas de invierno y entre 0 y 7 en las campañas de verano, mostrando en general bajas abundancias totales (menores a 90 ind/L). En las campañas de invierno se registraron las mayores abundancias totales (en TB-2 en invierno 2016 y en TB-1 en invierno 2017), mientras que en verano las abundancias totales fueron muy bajas o cercanas a 0 (**Figura N° 12-89**). En invierno dominaron copépodos ciclopoídeos en TB-1, en verano dominaron dípteros quironómidos en TB-2 (única estación con organismos zooplanctónicos). La ocurrencia de estos insectos en esa estación puede estar relacionada con el bajo nivel de agua encontrado en el sistema en ese periodo, catalogándose como pajonal hídrico. Cabe mencionar que el sector de Tilopozo no posee registros de Línea Base dentro del Plan de Monitoreo Biótico, por lo que los resultados no se compararon con registros de este tipo.

**Figura N° 12-88. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 12-89. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. \*TB-2 en Verano 2019 se encontró sin agua.

- Zoobentos

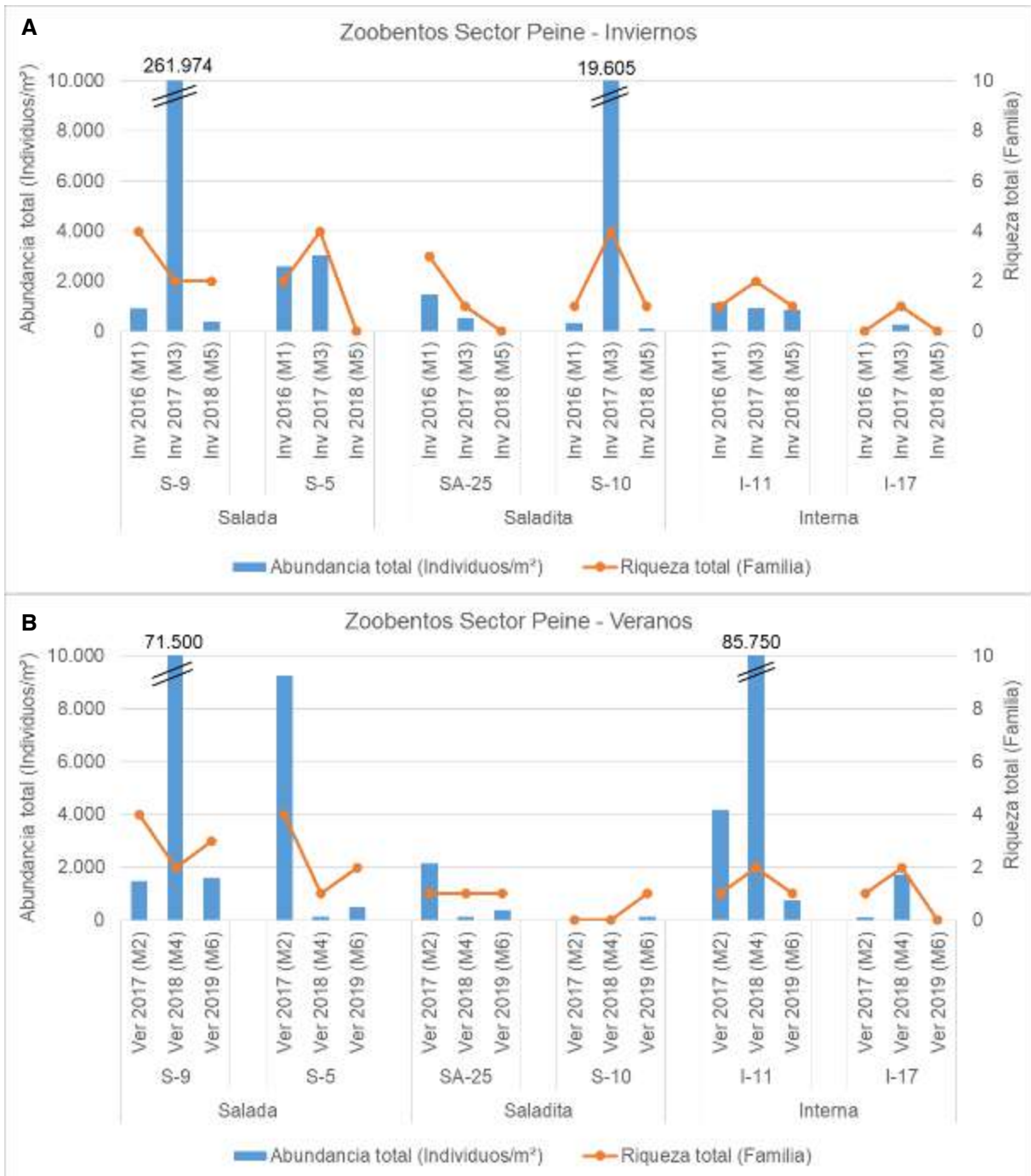
El zoobentos del **Sector Peine** tanto en invierno como en verano, mostró en general bajas riquezas de *taxa* (entre 0 y 4 *taxa* por estación), con mayores valores de riqueza en las estaciones de laguna Salada. Las abundancias totales en Peine durante los inviernos y veranos monitoreados, mostraron valores en general bajo los 3000 ind/m<sup>2</sup>, excepto en invierno 2017 para las estaciones S-9 y S-10 y en verano 2018 en las estaciones S-9 e I-11, registrándose un máximo de 261.974 ind/m<sup>2</sup> en S-9 en 2017 (**Figura N° 12-90**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Peine durante estas campañas, se observó que dominaron los insectos dípteros en todas las estaciones donde hubo registros, exceptuando por S-9 en verano 2019, donde dominaron los gasterópodos del género *Heleobia* sp. De los dípteros, cabe mencionar a las familias Stratiomyidae, Empididae y Ceratopogonidae para laguna Salada, las familias Empididae, Ceratopogonidae y Dolichopodidae para laguna Saladita y Ceratopogonidae y Ephydriidae para laguna Interna.

La comunidad zoobentónica en el sector **La Punta** y **La Brava**, mostró que las riquezas totales por estación también fueron bajas en este sector en todos los periodos, con un máximo de 6 *taxa* tanto en LB-3 en invierno 2016 como en LP-23 en verano 2017. Las abundancias totales en La Punta y La Brava fueron mayores en verano 2017, invierno 2017, verano 2018 e invierno 2018, principalmente en LP-23, LP-24 y LB-1, alcanzando un máximo de 31.592 ind/m<sup>2</sup> en LP-23 durante el verano 2017 (**Figura N° 12-91**).

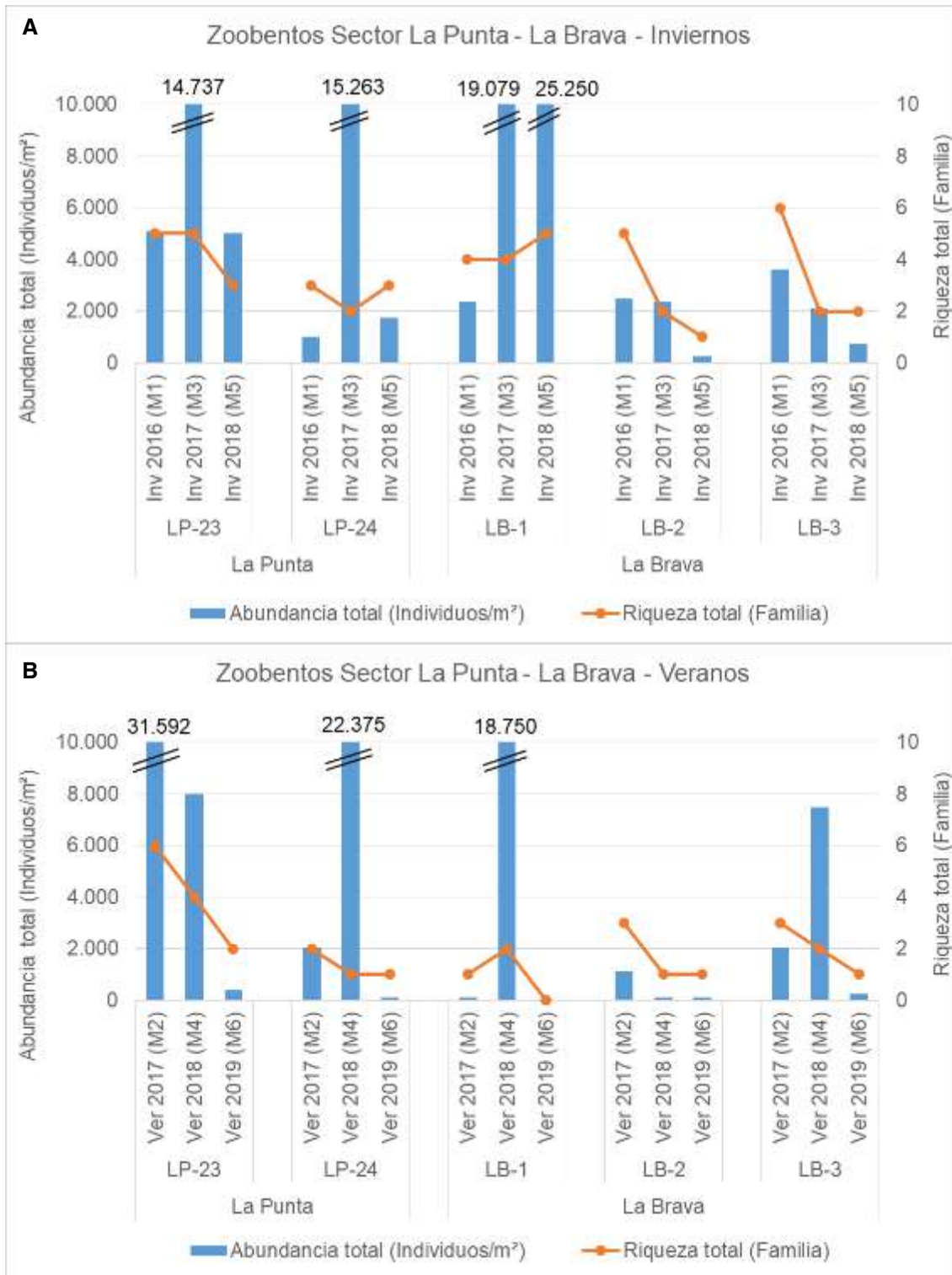
En relación a los *taxa* dominantes registrados en La Punta y La Brava, se observó que las mayores representatividades fueron diferentes dependiendo de la laguna y campaña. En La Punta, durante invierno 2018, dominaron en LP-23 y LP-24 los gasterópodos *Heleobia* sp. seguidos por los dípteros Ceratopogonidae. En verano 2019, en LP-23 dominó el díptero Stratiomyidae seguido por Ephydriidae, mientras que en LP-24 dominó solo el díptero Ephydriidae en esa campaña. Por su parte, en la estación LB-1 de La Brava, dominaron ampliamente en verano 2019 los copépodos bentónicos Canthocamptidae y en las estaciones LB-2 y LB-3 de La Brava, en invierno 2018, dominaron los dípteros Ceratopogonidae, mientras que en verano 2019 fueron dominantes los dípteros Stratiomyidae (**Tabla N° 9-28** y **Tabla N° 9-47**).

**Figura N° 12-90. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 12-91. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

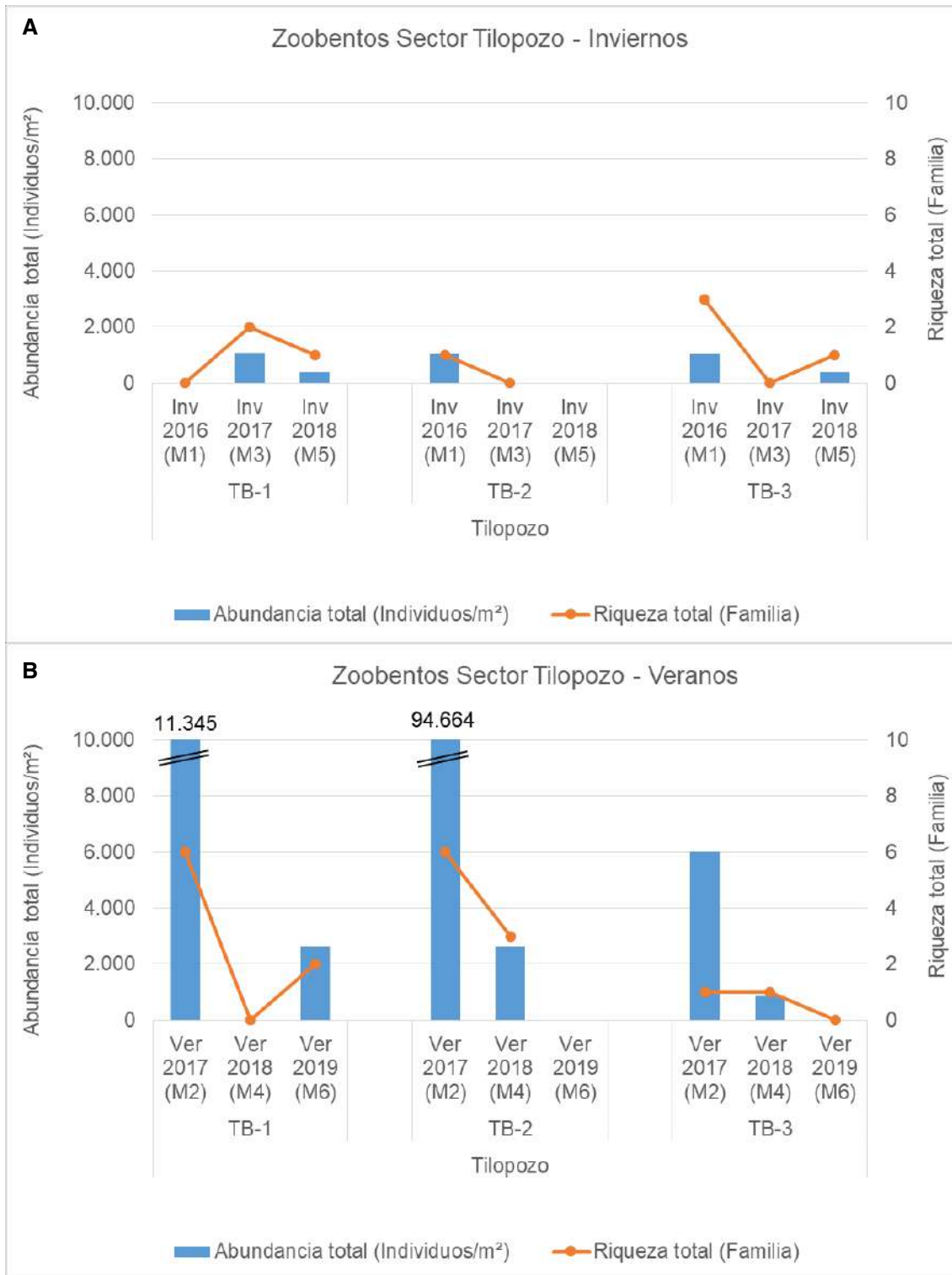
El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, en las campañas de invierno mostró muy bajas riquezas de *taxa* (0 a 1) a diferencia de las campañas de verano (entre 0 y 10 *taxa* por estación), con el mayor valor de riqueza en las estaciones TB-1 y TB-2 en verano 2017. La mayor abundancia total ocurrió en TB-2 en verano 2017 (96.664 ind/m<sup>2</sup>) mientras que esa misma estación en verano 2019 se encontró sin agua al momento del monitoreo (**Figura N° 12-92**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Tilopozo durante estas campañas, se observó que en TB-1 y TB-3 dominaron ampliamente los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, tanto en invierno como en verano (ambas estaciones corresponden a pozas con afloramiento de agua subsuperficial). En la estación TB-2 (que corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad) dominaron los dípteros.

La presencia de Cochliopidae, representado por *Heleobia atacamensis* es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA) y ha sido descrita en literatura para el sector de Tilopozo. Su ciclo de vida es completamente acuático al respirar por branquias (Philippi, 1860), y es la única especie del género descrita en Chile y por ende endémica (Collado & Méndez, 2011). No se conocen datos sobre tendencias poblacionales salvo que no se registran antecedentes en otros sistemas hidrológicos del norte de Chile, sin embargo, su presencia ha sido descrita en el sector de Tilopozo (Biese, 1947), el cual es alimentado superficialmente por quebradas de orientación sur a norte mientras que el sector La Punta y La Brava es alimentada por la quebrada del Tucúcaro. Ambos sistemas no presentan comunicación superficial aparente, aunque no se descarta que exista una pendiente de escorrentía desde el sector Tilopozo a La Punta y La Brava la cual permita el desplazamiento de *Heleobia atacamensis* de un sector a otro, ampliando de esta forma el área de distribución actualmente conocido para esta especie.



**Figura N° 12-92. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilopozo.  
 A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia. \*TB-2 en Verano 2019 se encontró sin agua.

- 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 línea de base invierno (2008, 2013, 2014) y los monitoreos invierno (2016, 2017 y 2018), se ha detectado un total de 11 especies. Mientras que, las campañas realizadas en la línea de base verano (2014 y 2015) y los monitoreos verano (2017, 2018 y 2019), se ha detectado un total de 9 especies (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Las especies reportadas para ambos periodos estacionales son similares y corresponden a las especies reportadas corresponden a las hidrófitas *Ruppia filifolia*, *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus (Scirpus) californicus*, *Juncus balticus*, *Distichlis spicata*, *Puccinellia frigida*, *Triglochin concinna*, *Baccharis* sp., y *Sarcocornia fruticosa*. Salvo excepciones como *Potamogeton pectinatus* (hidrófita) y la helófita *Patosia clandestina* ambas reportadas en campañas de línea de base. 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° 12-41**).

**Tabla N° 12-41. Resumen de especies detectadas en los sectores Peine, La Punta, La Brava y vegas de Tilopozo en campañas de línea de base y monitoreo.**

Clase	Familia	Especie	Nombre Común	Hábito	Origen
Liliopsida	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton pectinatus</i> *	Espiga de agua	Hidrófita	Introducida
	Juncaceae	<i>Patosia clandestina</i> *	Cojín de vega	Helófita	Nativa
	Ruppiaceae	<i>Ruppia filifolia</i>	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus (Scirpus) californicus</i>	Totorá	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>	Gramá salada	Helófita	Nativa
Rosopsida	Chenopodiaceae	<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Hierba sosa	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Baccharis</i> sp.	Romerillo	Helófita	Nativa

\*Especies detectadas solo en Línea de Base en periodo de invierno.

Fuente: Elaboración propia.

En relación a la riqueza histórica detectada en el sector **Peine** se observó un bajo registro de plantas vasculares acuáticas en ambos periodos de invierno y verano, con 2 especies *Ruppia filifolia* y *Potamogeton pectinatus* ambas detectadas de modo intermitente en periodo de invierno. En periodo de verano fueron detectadas 3 especies *Ruppia filifolia*, *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa*.

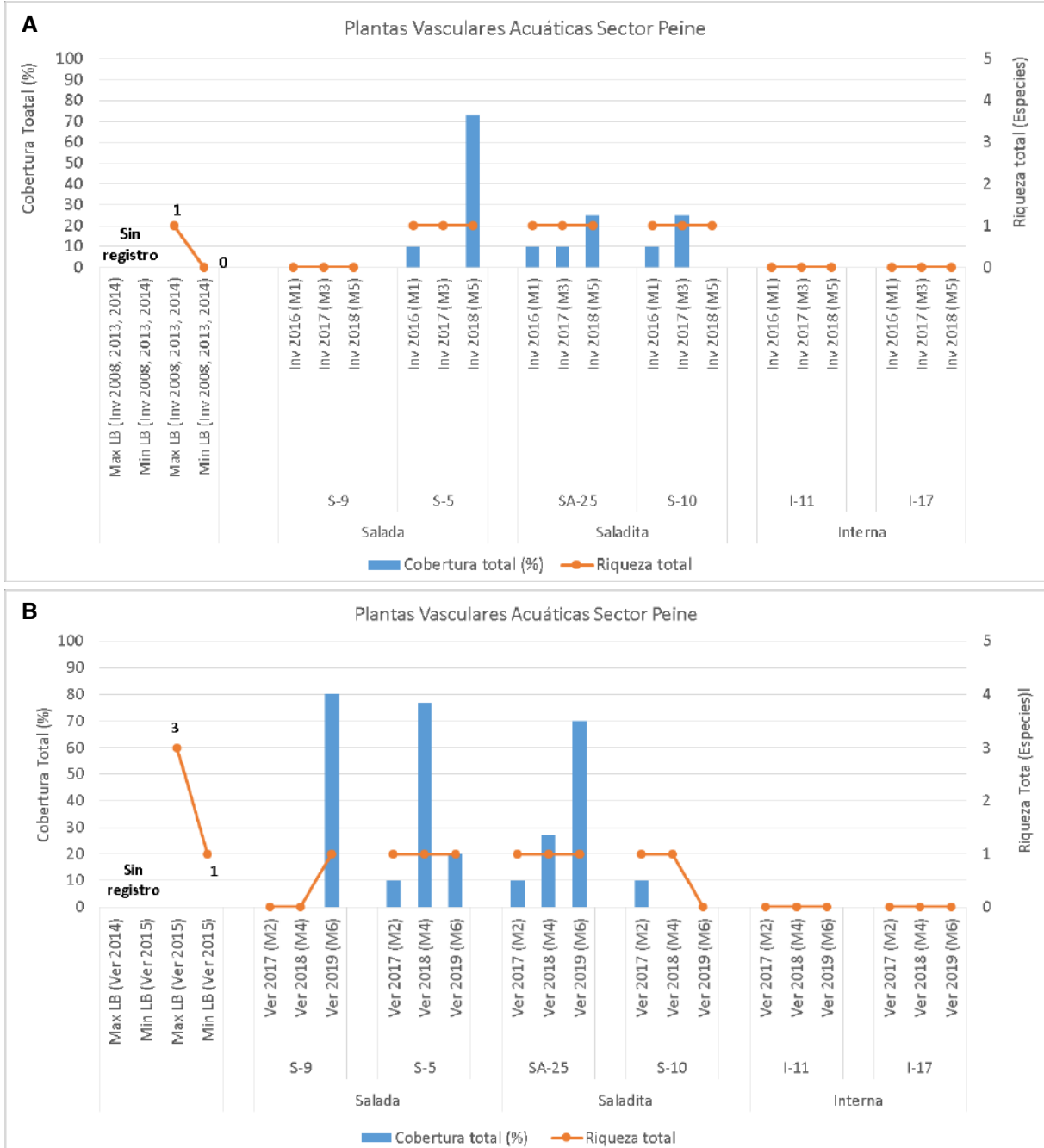
Respecto de las coberturas totales en periodo de invierno fueron registradas desde invierno 2016 en adelante. En tanto, las coberturas totales fueron registradas desde verano 2014 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

En las campañas de línea de base en relación a la composición y riqueza, en invierno 2008 solo se observó *R. filifolia* únicamente en la estación S-5 (Laguna Salada), en invierno 2013 la misma especie fue registrada en las estaciones I-11 e I-17 de la laguna Interna y en la estación SA-25 (laguna Saladita). Posteriormente en invierno 2014 se detectó la presencia de *P. pectinatus* en las estaciones S-5 y S-9 ambas de la laguna Salada, en las estaciones S-10 y SA-25 ambas de la laguna Saladita y en las estaciones I-11 e I-17 de la laguna Interna. En las campañas de línea de base verano 2014 y 2015 en la mayoría de las estaciones de las lagunas Salada, Saladita e Interna, fue reportada la presencia de *R. filifolia*, *D. spicata* y *S. fruticosa* (verano 2014) y de *R. filifolia* (verano 2015). Cabe destacar, que en las campañas de invierno 2008 y 2014 y verano 2014 y 2015 no se registraron coberturas totales asociadas a estas especies.

En periodo de invierno, las coberturas totales de la campaña invierno 2016 se observó 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. Posteriormente 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, en estas últimas se observaron coberturas de 30 y 25% respectivamente. Por último en invierno 2018, se detectó *R. filifolia* en las estaciones S-5, SA-25 y S-10, cuyas coberturas correspondieron a 73 y 25% observadas solo en S-5 y SA-25, en S-10 fue reportada solo la presencia (**Figura N° 12-93 A**).

En tanto, en verano 2018 se registró la presencia de *R. filifolia* en la estación S-5 y en las estaciones de la laguna Saladita SA-25 y S-10, en estas últimas se observaron coberturas de 77 y 37% en las primeras, en tanto en S-10 solo fue registrada la presencia. Por último, en verano 2019, se detectó *R. filifolia* en las estaciones S-5, SA-25 y S-9, cuyas coberturas correspondieron a 20%, 70% y 80% respectivamente, mientras que en S-10 no se observó la presencia de plantas vasculares acuáticas (**Figura N° 12-93 B**).

**Figura N° 12-93. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

Respecto de la riqueza de especies por estación de muestreo esta ha oscilado en términos temporales (línea de base y monitoreos) en periodo de invierno entre 0 y 2 especies y en

periodo de verano entre 0 y 3 especies, presentando un comportamiento intermitente respecto de la presencia de las especies entre periodos estacionales. Este comportamiento, estaría asociado a las condiciones del hábitat, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura en las lagunas.

Respecto de las coberturas se observa que en los monitoreos de invierno (dado que no existen registros de línea de base) que la estación S-5 (laguna Salada) ha presentado un aumento de la cobertura, en tanto, para las restantes estaciones de muestreo se observaron valores similares entre campañas de invierno con registros entre 10 y 20%. En tanto en monitoreos de verano (tampoco existen registros de línea de base), la estación SA-25 (laguna Saladita) ha presentado un aumento de esta desde verano 2017 a verano 2019, en tanto, en S-9 se reportó *R. filifolia* en un 80% de cobertura en verano 2019 y en S-10 un 10% en verano 2017. La estación S-5 ha presentado valores variables entre 10% y 77%.

Cabe destacar que, en la laguna Interna en los monitoreos de invierno no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas. En cambio durante la línea de base en cuanto a la riqueza, se observó la presencia de 3 especies, mientras que, en los monitoreos de verano no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas.

En relación a la riqueza histórica detectada en el sector **La Punta - La Brava** se observó en periodo de invierno un registro de plantas vasculares acuáticas de 6 especies las que correspondieron a *Ruppia filifolia*, *Patosia clandestina*, *Potamogeton pectinatus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*. Mientras que para verano se registraron 4 especies *R. filifolia*, *S. fruticosa*, *T. concinna*, *P. frigida*. Respecto de las coberturas totales estas fueron registradas desde invierno 2016 y verano 2017 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Cabe destacar que en campañas de los monitoreos invierno y verano 2016, 2017 y 2018 se observó que *Ruppia filifolia* hidrófita, siempre estuvo sumergida y distribuida en el centro o en las orillas de las lagunas. Por otra parte, solo en las orillas de la laguna La Punta se reportó la presencia de la helófito emergente *S. fruticosa*, además de *P. frigida*, mientras que, *T. concinna* fue reportada en invierno 2018 y verano 2018 y 2019 en las lagunas La Punta y La Brava.

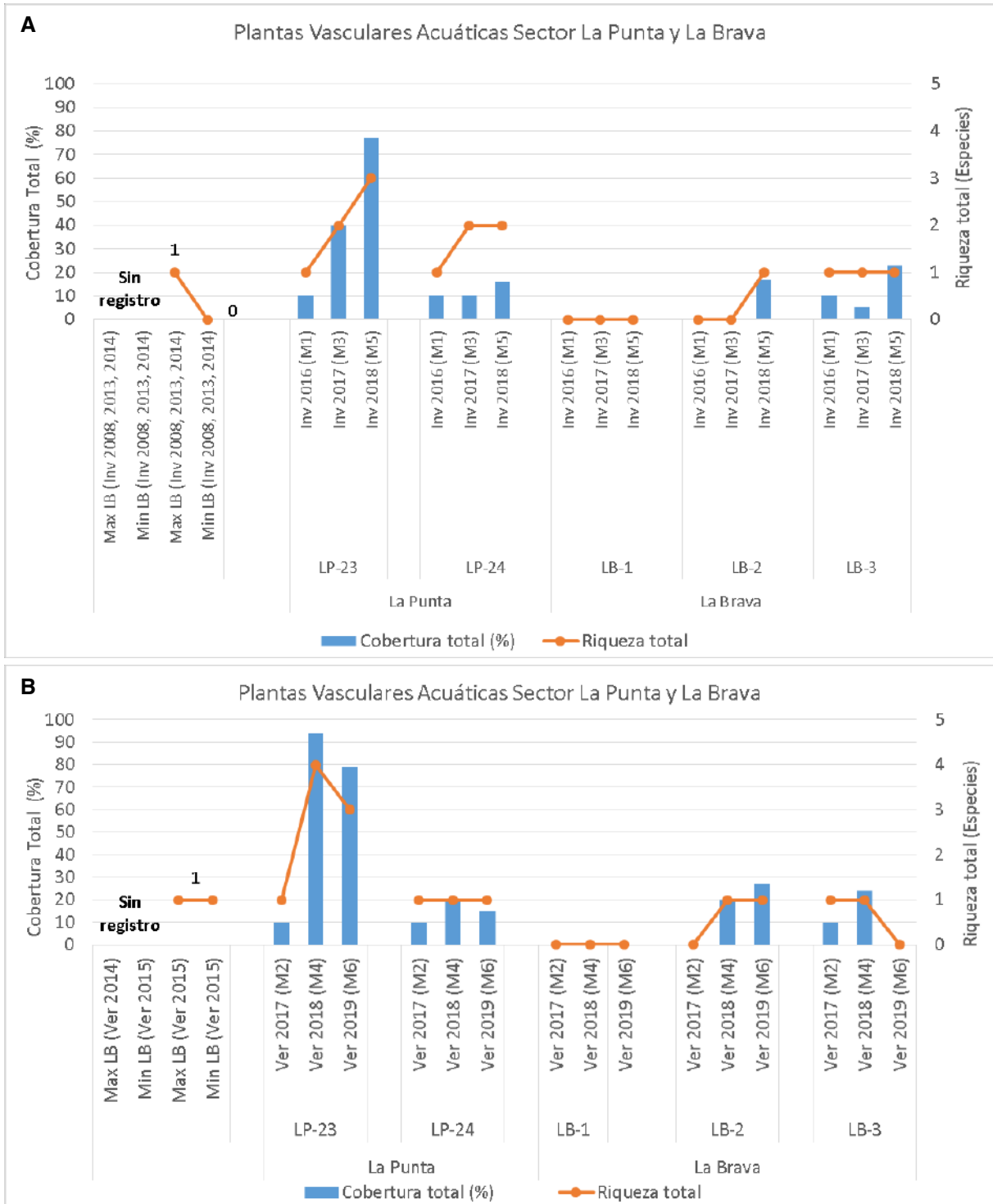
En las campañas de línea de base, invierno 2008 no se registraron plantas vasculares acuáticas. En invierno 2013 se registró la presencia de *R. filifolia* en la estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava). En tanto en la laguna La Punta no se observó la presencia de plantas. Posteriormente en invierno 2014 se detectó la presencia de *P. pectinatus* y *P. clandestina* en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava) y en las estaciones LP-23 y LP-24 (ubicadas en la Laguna La Punta). Cabe destacar que en estas campañas no se registraron coberturas totales asociadas a estas especies

(Figura N° 12-94 A). En las campañas de línea de base, verano 2014 y 2015 se registró la presencia una especie de planta vascular acuática, *R. filifolia* en la estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava) y en LP-23 y LP-24 (ubicadas en la laguna La Punta) (Figura N° 12-94 B).

En relación 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 helófitas *Sarcocornia fruticosa*. Por último en invierno 2018, en el sector La Punta-La Brava 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 la estación LP-23 y *T. concinna* con 17% en la estación LB-2 (Figura N° 12-94 A).

En relación a las campañas de monitoreo en verano 2017 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 verano 2018 se registró *R. filifolia* en las estaciones LP-24 y LP-23 (Laguna La Punta) y LB-3 (Laguna La Brava) con coberturas entre 20%, 27% y 24% respectivamente. Además se reportaron las helófitas *Sarcocornia fruticosa* (53%), *Puccinellia frigida* (7%), *Triglochin concinna* (7%) en LP-23 y en la estación LB-2 (Laguna La Brava) *T. concinna* con 20%. Por último en verano 2019, en el sector La Punta se reportó parches de *R. filifolia* con coberturas entre 13% y 15% en LP-23 y LP-24, además de *Sarcocornia fruticosa* con un 63% en LP-23, y *Triglochin concinna* con un 3% en la estación LP-23. En tanto, en LB-2 (Laguna La Brava) se detectó *T. concinna* con un 27%, en LB-1 y LB-3 no se detectaron plantas vasculares acuáticas (Figura N° 12-94 B).

**Figura N° 12-94. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector La Punta-La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (línea de base y monitoreos) entre 0 y 3 especies en periodo invierno y 0 y 4 especies en periodo verano, presentando los máximos en invierno 2018 y verano 2019 en la estación LP-23. Se aprecia un comportamiento intermitente respecto de la presencia de las especies en periodo de invierno y verano, lo que podría estar asociado a las condiciones del hábitat en el periodo, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura en las lagunas.

Respecto de las coberturas se observa que en los monitoreos (dado que no existen registros de línea de base) la estación LP-23 ha presentado un aumento de esta en invierno 2018 y en las últimas dos campañas de verano (2018 y 2019). Mientras que, para las restantes estaciones de muestreo se observaron valores similares entre campañas de invierno y las de verano con registros entre 10 y 20%.

En relación a la riqueza histórica detectada en el sector **vegas de Tilopozo** se observó un registro de plantas vasculares acuáticas de 5 especies en ambos periodos estacionales de invierno y verano. Las que correspondieron a la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* y las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus*, *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa*. El sector de vegas de Tilopozo no presenta registro de línea de base, por lo que se analizan los registros de invierno 2016 y de verano 2017 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

En relación a las campañas de monitoreo periodo invierno, se observó en invierno 2016 y en verano 2017 la especie *Z. palustris* en las estaciones TB-1 y TB-3, con coberturas de 40 y 75% respectivamente en invierno y coberturas de 10% respectivamente en verano.

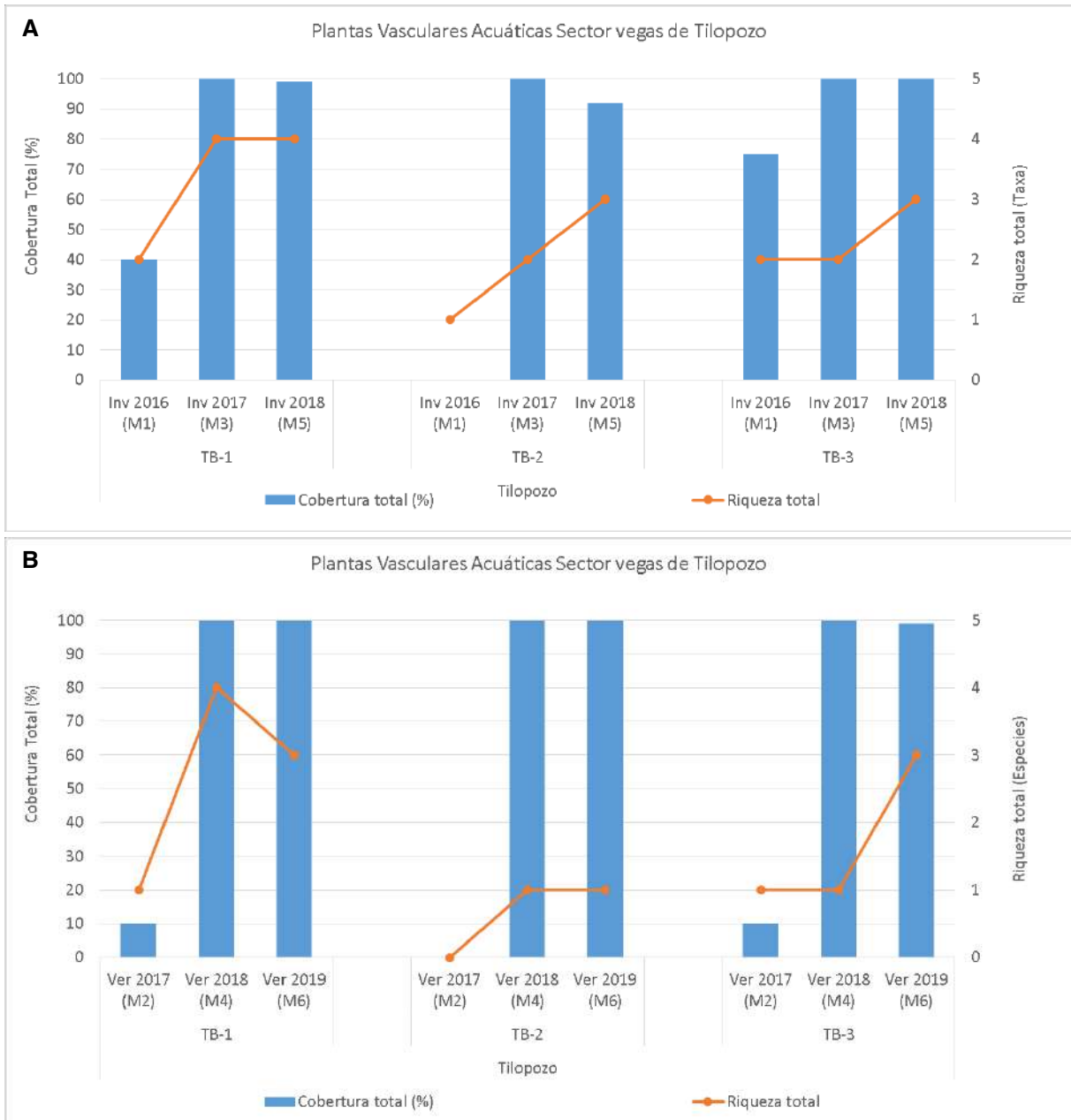
En invierno 2017 se registró *Z. palustris* en las estaciones TB-1 y TB-3 con coberturas del 100% respectivamente. Además se reportó la presencia de las helófitas *Schoenoplectus californicus* y *Juncus balticus* en las estaciones TB-1 y TB-3 respectivamente. Por último en invierno 2018, se reportaron 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 (**Figura N° 12-95 A**).

En verano 2018 se registró *Z. palustris* en la estación TB-1 con una cobertura del 33%. Además se reportó la presencia de las helófitas *Schoenoplectus californicus* con 33% y 100% en las estaciones TB-1 y TB-3 y *Juncus balticus* con 27% y 100% en las estaciones TB-1 y TB-2 respectivamente. Por último *D. spicata* con un 7% en TB-1. En verano 2019, se reportaron las especies *Z. palustris* en TB-1 y TB-3 con coberturas de 33% respectivamente, *Schoenoplectus californicus* en TB-1, TB-2 y TB-3 con coberturas de 42%, 100% y 33%



respectivamente, *Distichlis spicata* con 25% de cobertura en TB-1 y *Baccharis sp.* con 33% en TB-3 (Figura N° 12-95 B).

**Figura N° 12-95. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.**



Fuente: Elaboración propia.

La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (monitoreos) entre 1 y 4 especies en invierno y verano, encontrándose diferencias entre estaciones de muestreo. Cabe consignar que, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos tipo pozas y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico.

Respecto de las coberturas se observa que en los monitoreos (dado que no existen registros de línea de base) la estaciones de muestreo presentan altas coberturas de la hidrófita *Z. lacustris* como de las helófitas reportadas. *Z. palustris* durante el periodo de invierno y verano cubrió buena parte de la superficie del espejo de agua de las pozas, además que sus hojas constituyen una buena base para el asentamiento de algunas lamas de microalgas, aumentando la cobertura vegetal en TB-1 y TB-3. Además de servir de ambientes refugiales y de desove para invertebrados y peces.

En términos comparativos vegas de Tilopozo, registró un número mayor de especies respecto del sector Peine y menor a La Punta y La Brava, siendo este último sector el que presentó mayor riqueza de especies. Respecto de las plantas vasculares acuáticas reportadas en los tres sectores estudiados correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria (Ramírez y San Martín 2006).

## 12.6 En relación con Área de Lagunas

### 12.6.1 Comparación de monitoreos con registros históricos de línea de base

El análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua determinadas para el tercer año de monitoreo 2018 con respecto a los registros históricos se presenta en la **Tabla N°12-42**.

**Tabla N°12-42. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2018 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).**

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies de registros históricos (Adenda5 RWL, 2015)			Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2018					
		Promedio (ha)	Máximo (ha)	Mínimo (ha)	Invierno 2018		Verano 2018		Promedio anual (2018)	
					ha	m2	ha	m2	ha	m2
Superficies Pleiades 1A de alta resolución	PB	33,8	35,0	31,6	61,9	619.320,9	35,9	358.729,1	48,9	489.025,0
	PE	64,8	73,6	48,9	51,5	514.825,6	49,4	493.948,7	50,4	504.387,2
Superficies Landsat 8 de media resolución	PB	33,8*	35,0*	31,6*	63,7	637.302,2	44,4	443.992,8	54,1	540.647,5
	PE	64,8*	73,6*	48,9*	78,4	783.551,8	81,7	817.110,1	80,0	800.331,0

Dónde: PB: La Punta y La Brava, PE: Peine.

\*Los resultados desde media resolución (de licencia libre) se comparan con los registros históricos de alta resolución para determinar la relación entre ambas resoluciones espaciales.

Fuente: Elaboración Propia

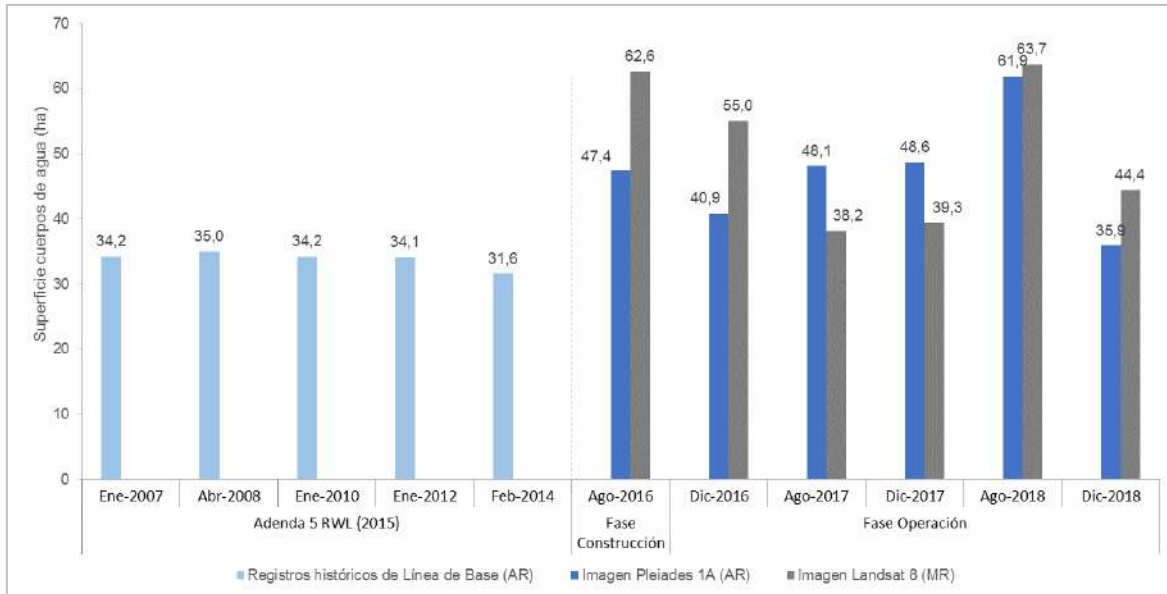
A partir de los valores de las superficies estimadas para invierno 2018 y verano 2018 se observa que éstas están por sobre los mínimos históricos en ambos sistemas lagunares, donde la mayor cobertura lagunar se verifica en el sector La Punta y La Brava con 61,9 ha en invierno de 2018 desde la imagen Pleiades 1A y en el sector de Peine con 81,7 ha en verano de 2018 desde Landsat 8; en contraparte, La Punta y La Brava presentó la menor superficie en verano de 2018, con 35,9 ha desde Pleiades 1-A y con 44,4 ha desde Landsat 8 en el mismo periodo. Respecto de las diferencias, la mayor se tiene en el sector La Punta y La Brava en invierno de 2018 (+30,3 ha, +96%). Por otra parte, en verano de 2018 el sector de Peine presenta la menor diferencia respecto del valor histórico de línea de base (+0,5 ha, +1%), y en ambos casos se mantiene por sobre el mínimo histórico. Cabe indicar que los registros mínimos históricos corresponden a temporada post-lluvia, y no a diciembre, que se considera un mes afecto a la “temporada seca”.

Las diferencias señaladas respecto a la situación de línea base, se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan: i) variabilidad estacional intranual, ii) variabilidad estacional interanual, dado que ambas condiciones tienen directa relación con la recarga del acuífero en cada periodo; iii) robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes, que favorece la mayor definición de las respuestas espectrales de las diferentes coberturas, y iv) validación en terreno con precisión centimétrica, cuya contribución corresponde a la depuración de los límites de los cuerpos de agua y la calibración del modelo de clasificación en función de lo observado en terreno.

### **12.6.1.1 La Punta y La Brava**

#### **a. Comparación con registros históricos de línea de base**

En el sistema lagunar La Punta y La Brava, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en diciembre de 2018 es de 35,9 ha y en agosto 2018, abarca una superficie de 61,9 ha (**Tabla N°12-42**). La comparación con el registro mínimo histórico de línea de base (31,6 ha), estimado desde este mismo tipo de imágenes satelitales (Adenda 5 RWL, 2015), indica que la cobertura del área de lagunas de diciembre 2018 es mayor en +4,3 ha (13,6%), y la cobertura de agosto de 2018 es mayor en +30,3 ha (96%). La Figura N°12-96 muestra la comparación de las superficies calculadas con los registros históricos en este sistema hasta la fecha, en que todas las áreas estimadas entre 2016 y 2018 se encuentran por sobre el mínimo de línea base.

**Figura N°12-96. 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 oeste y norte del sistema LP-LB, 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. 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 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 denudadas o vegetación, no obstante la validación en terreno, respaldó y validó la existencia e inexistencia de lagunas.

#### **b. 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 44,4 ha en diciembre de 2018 y de 63,7 ha en agosto de 2018. Estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +23,7% (8,5 ha) para verano de 2018 y de un +2,9% (1,8 ha) para agosto de 2018. Este sector evidencia la menor variación entre imágenes en comparación al otro sector del área de estudio.

---

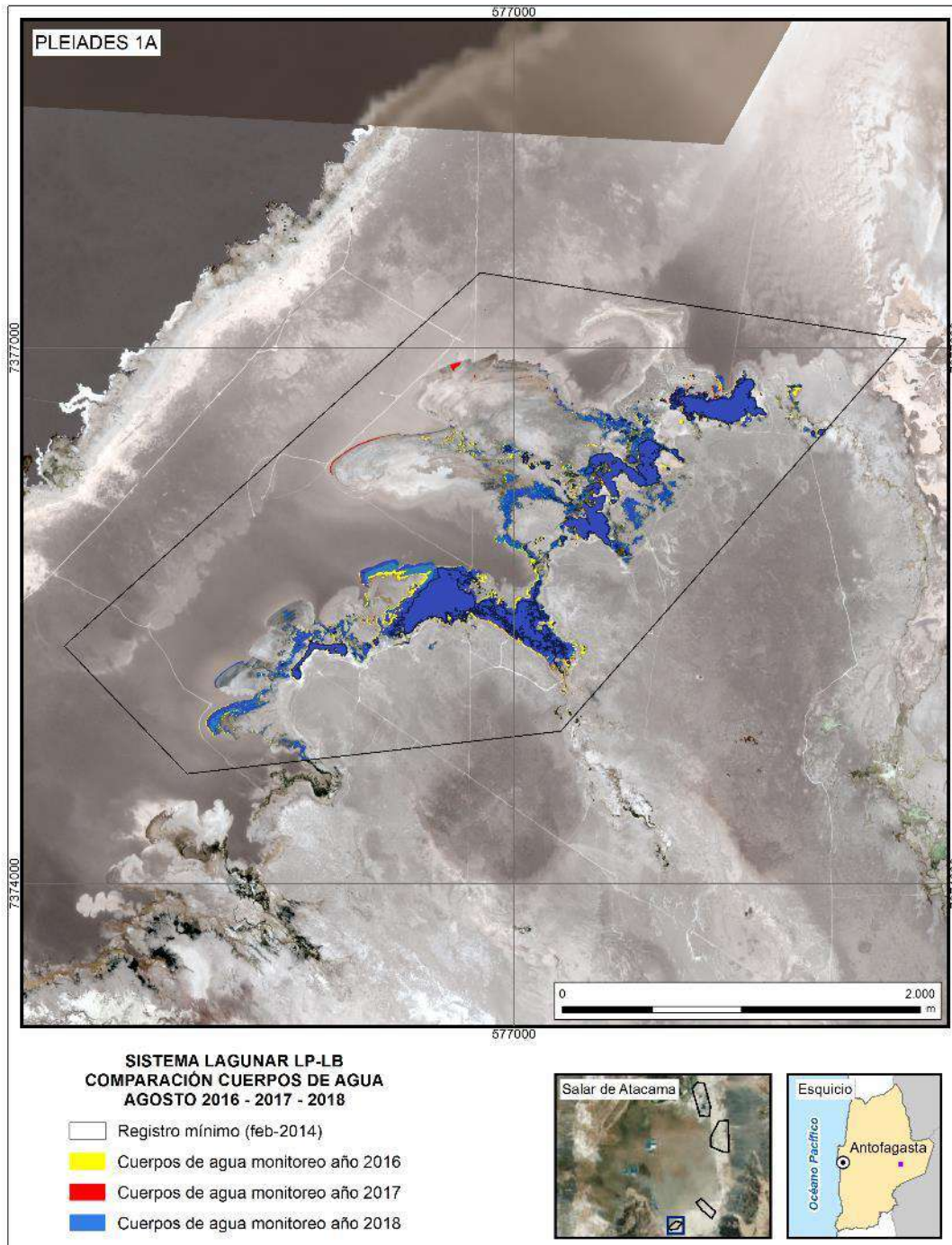
La **Figura N° 12-97** a la **Figura N°12-100**, muestran las diferencias temporales de los cuerpos de agua por temporada durante el tercer año de monitoreo. En el caso de los inviernos, las variaciones desde alta resolución se presentan en los sectores Este, Norte y bordes de La Brava, en tanto desde media resolución, las variaciones se presentan en los bordes lagunares en general. En los veranos, desde alta resolución las variaciones se presentan al Oeste de este sistema, y desde media resolución también se presenta al Oeste del sistema y en bordes lagunares en general.

**c. Comparación entre monitoreos 2016 al 2018**

La **Figura N°12-96** muestra el comportamiento del área de lagunas a través del monitoreo donde se observa principalmente un aumento de la superficie de cuerpos de agua en invierno y una disminución de éstas en verano, destacando además que las superficies calculadas se han mantenido sobre el mínimo histórico (31,6 ha). Se destaca que la mayor diferencia entre valores de superficies entre invierno y verano se dio este año en este sector (26,1 ha).

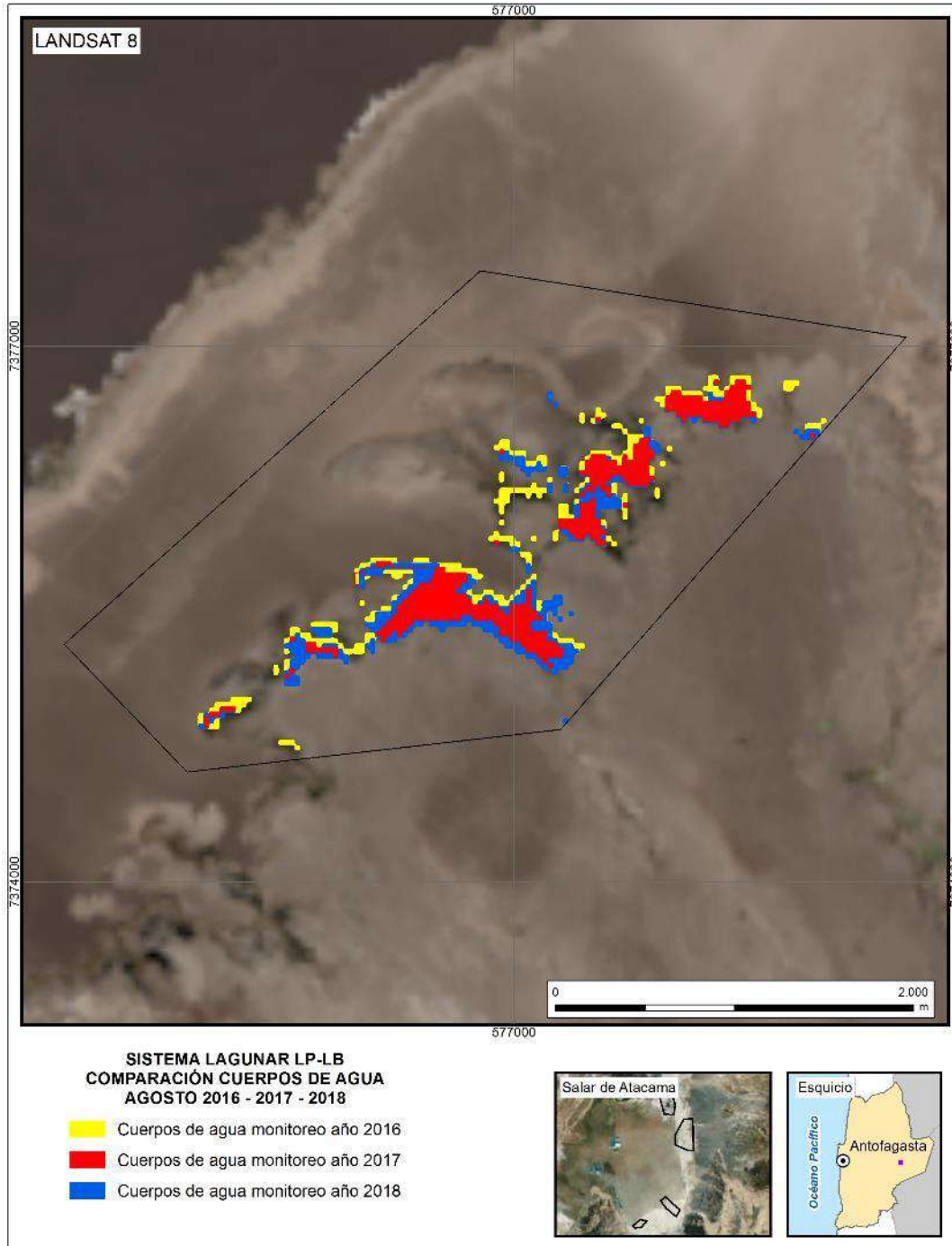
La **Figura N° 12-97** a la **Figura N°12-100** muestran que en los inviernos las principales diferencias de superficie durante el monitoreo ocurren en bordes lagunares, al Norte y Este del sistema lagunar, en tanto en los veranos se observan también en bordes lagunares, Norte y Oeste del sistema lagunar.

**Figura N° 12-97. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 - 2018, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



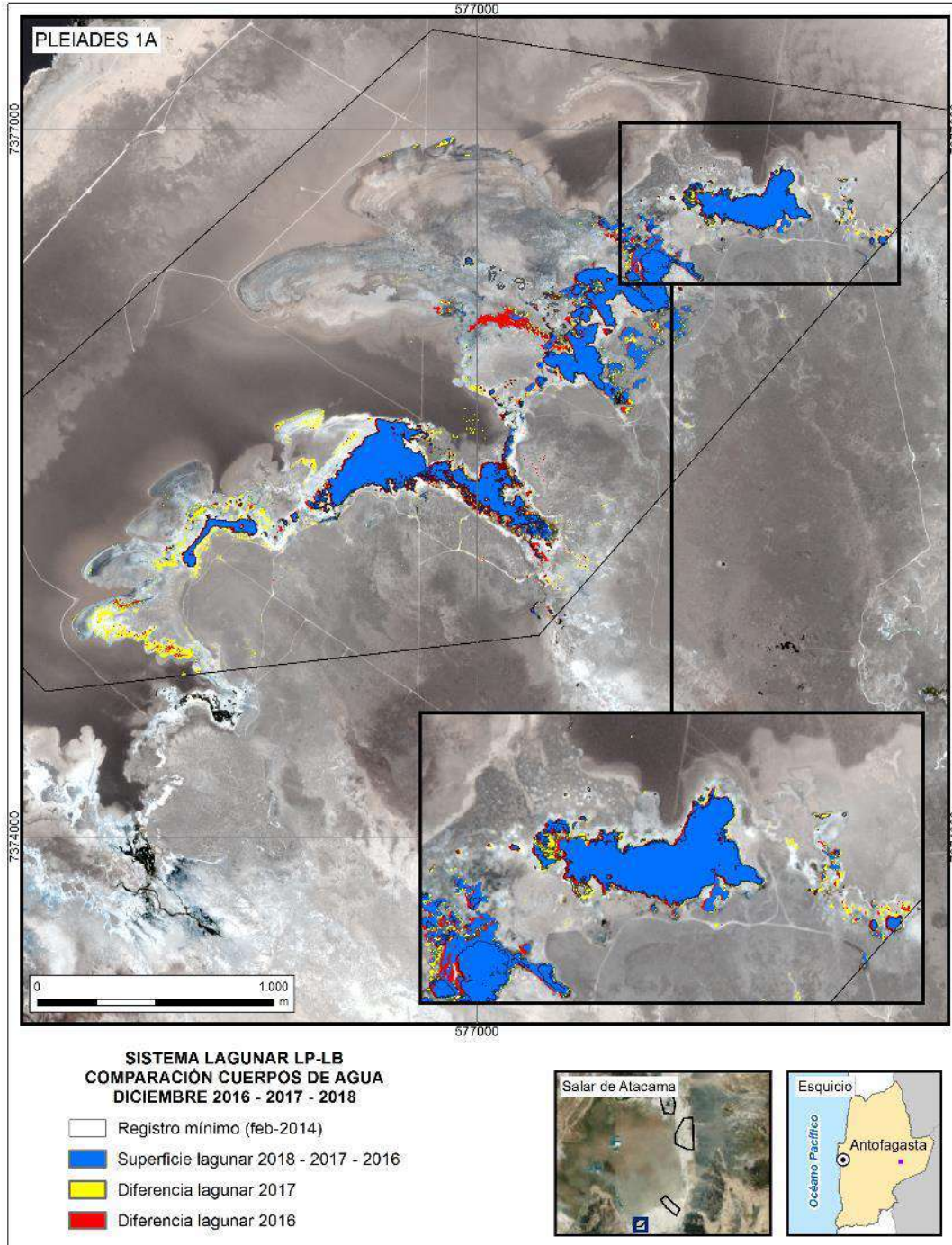
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2018

**Figura N°12-98. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 - 2018, 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 2018

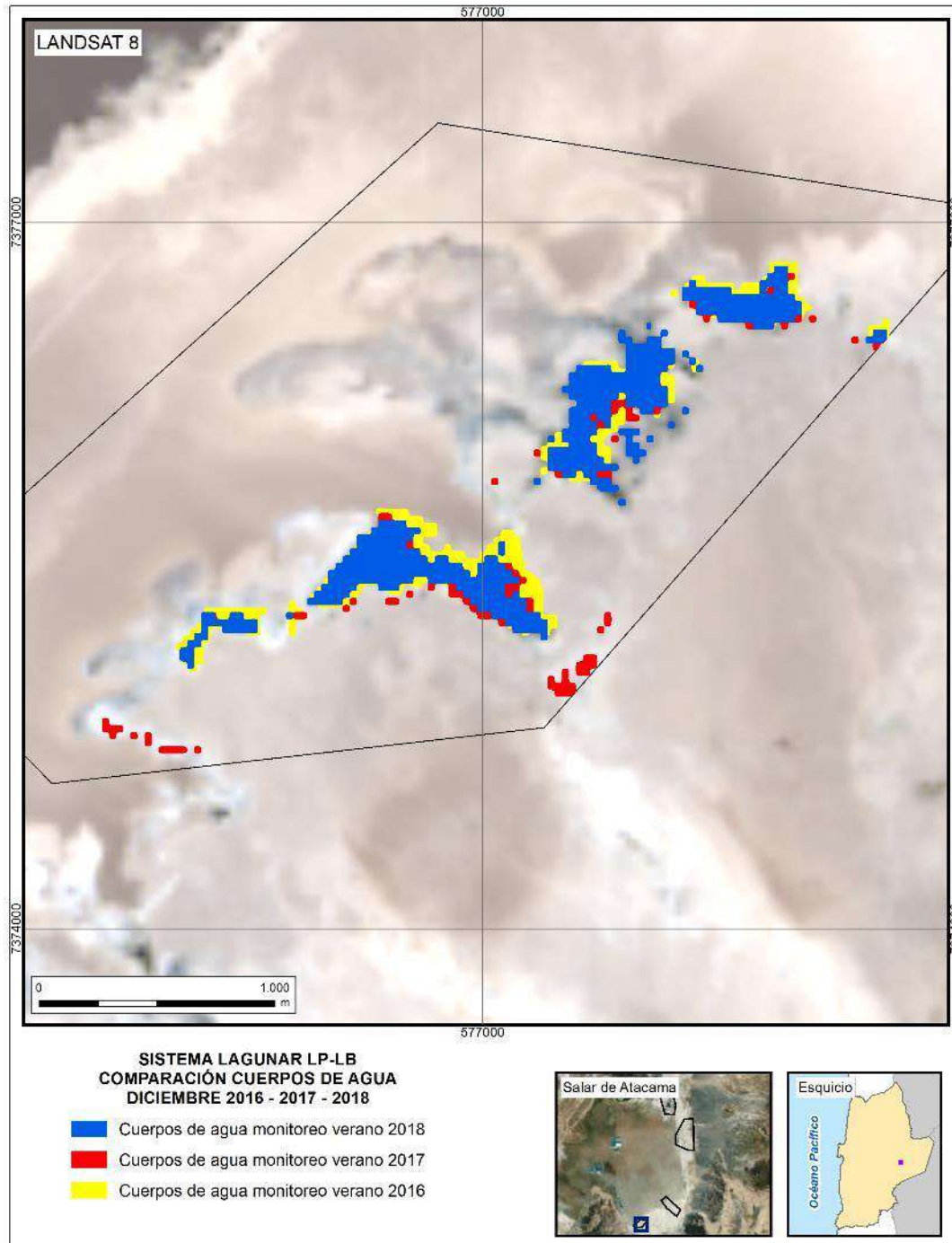
**Figura N°12-99. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 - 2018, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2018



**Figura N°12-100. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 - 2018, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.**



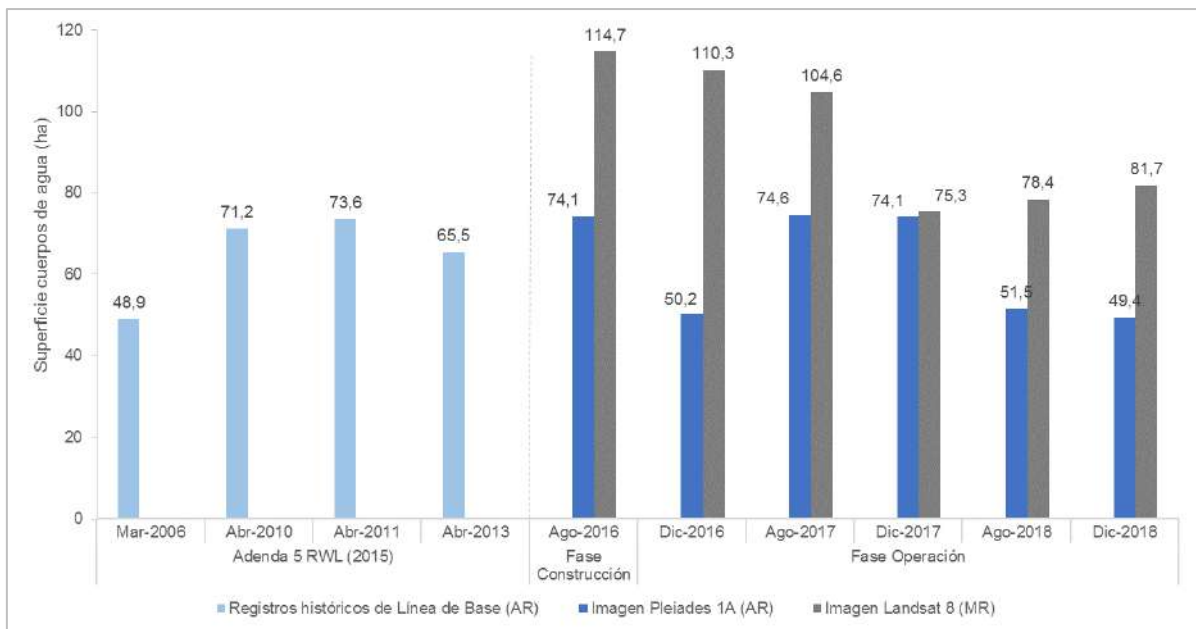
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2018

**12.6.1.2 Peine**

**a. Comparación con registros históricos de línea de base**

En el sistema lagunar Peine, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en diciembre 2018 abarca una superficie de 49,4 ha y en agosto de 2018 es de 51,5 ha y (**Tabla N°12-42**). La comparación con el registro mínimo histórico de línea de base (48,9 ha), estimado desde este mismo tipo de imágenes satelitales (Adenda 5 RWL, 2015), indica que la cobertura de diciembre 2018 es mayor en +0,5 ha (1%) y la de agosto de 2018 es mayor en +2,6 ha (5,3%). La **Figura N°12-101** muestra la comparación de las superficies calculadas con los registros históricos en este sistema hasta la fecha, en que todas las áreas estimadas entre 2016 a 2018 se encuentran por sobre el mínimo de línea base.

**Figura N°12-101. 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.

**b. 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 78,4 ha en diciembre de 2018 y en agosto de 2018 de 81,7 ha. Estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +65,4% (32,3 ha) para verano de

2018 y de un +52,2% (26,9 ha) para agosto de 2018. Este sector evidencia la mayor variación entre imágenes en invierno de 2018 desde Pleiades 1A.

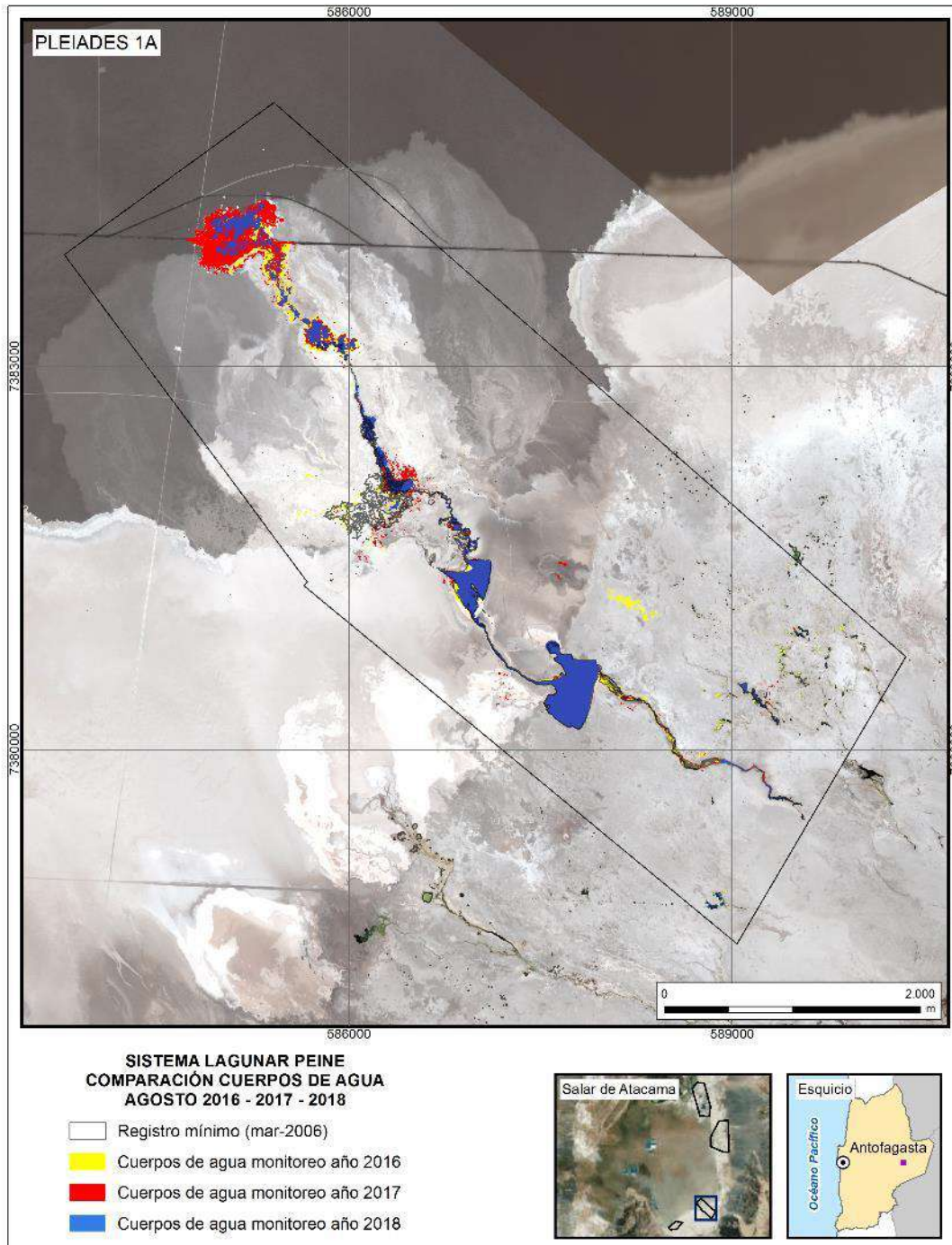
La **Figura N° 12-102** y la **Figura N°12-105** muestran las diferencias temporales principalmente de las áreas de lagunas no permanentes. En el caso de los inviernos, las variaciones desde alta resolución se presentan en laguna Interna y áreas no permanentes de los canales de conexión entre laguna Saladita e Interna. en tanto desde media resolución, las variaciones se presentan en los bordes lagunares en general, donde las mayores diferencias se observan en el tramo entre Laguna Saladita e Interna. En los veranos, desde alta resolución las variaciones se presentan en los canales y áreas no permanentes entre las lagunas Saladita e Interna, y desde media resolución se presenta principalmente en laguna Interna y una sección al Sur de esta misma laguna.

### c. Comparación entre monitoreos 2016 al 2018

La **Figura N°12-101** muestra el comportamiento del área de lagunas a través del monitoreo donde se observa principalmente un aumento de la superficie de cuerpos de agua en invierno y una disminución de éstas en verano, destacando además que las superficies calculadas se han mantenido sobre el mínimo histórico (48,9 ha). Se destaca que la mayor diferencia entre valores de superficies entre invierno y verano se dio el primer año de monitoreo (23,9 ha), cuando se registró la mayor cobertura de agua de laguna Interna del monitoreo, y la menor diferencia intranual se observa el segundo año (0,6 ha), seguido por el tercer año (2,1 ha), lo que se relaciona directamente con la menor cobertura de Laguna Interna en esas temporadas.

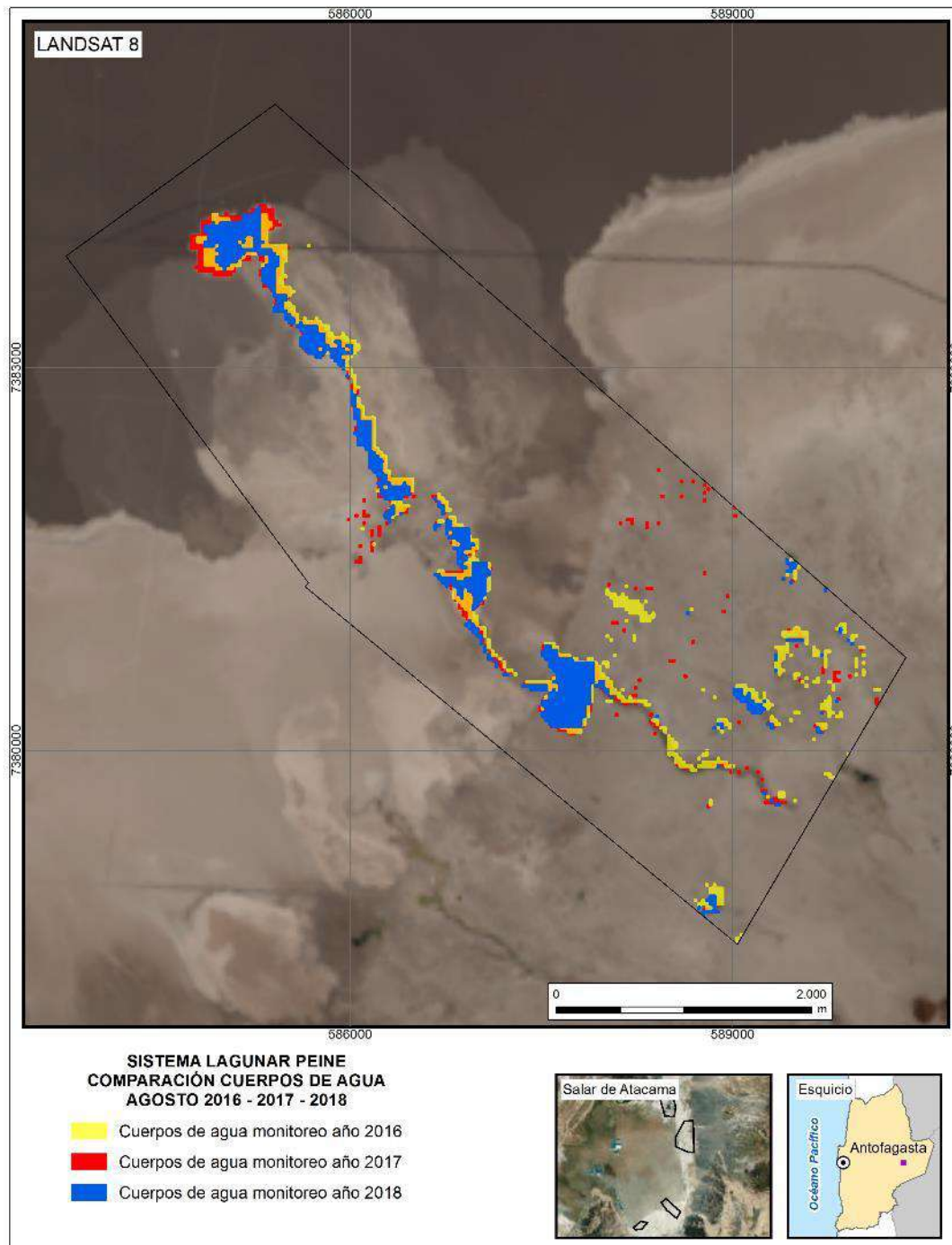
La **Figura N° 12-102** y **Figura N°12-105** muestran que en los inviernos las principales diferencias de superficie durante el monitoreo se presentan en bordes lagunares y desde el Norte de Laguna Saladita hacia Laguna Interna, en tanto en los veranos se observan también en bordes lagunares, y desde el Norte de Laguna Saladita hacia Laguna Interna, aunque las mayores diferencias interanuales de Laguna Interna se presentan en los veranos.

**Figura N° 12-102. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 - 2018, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



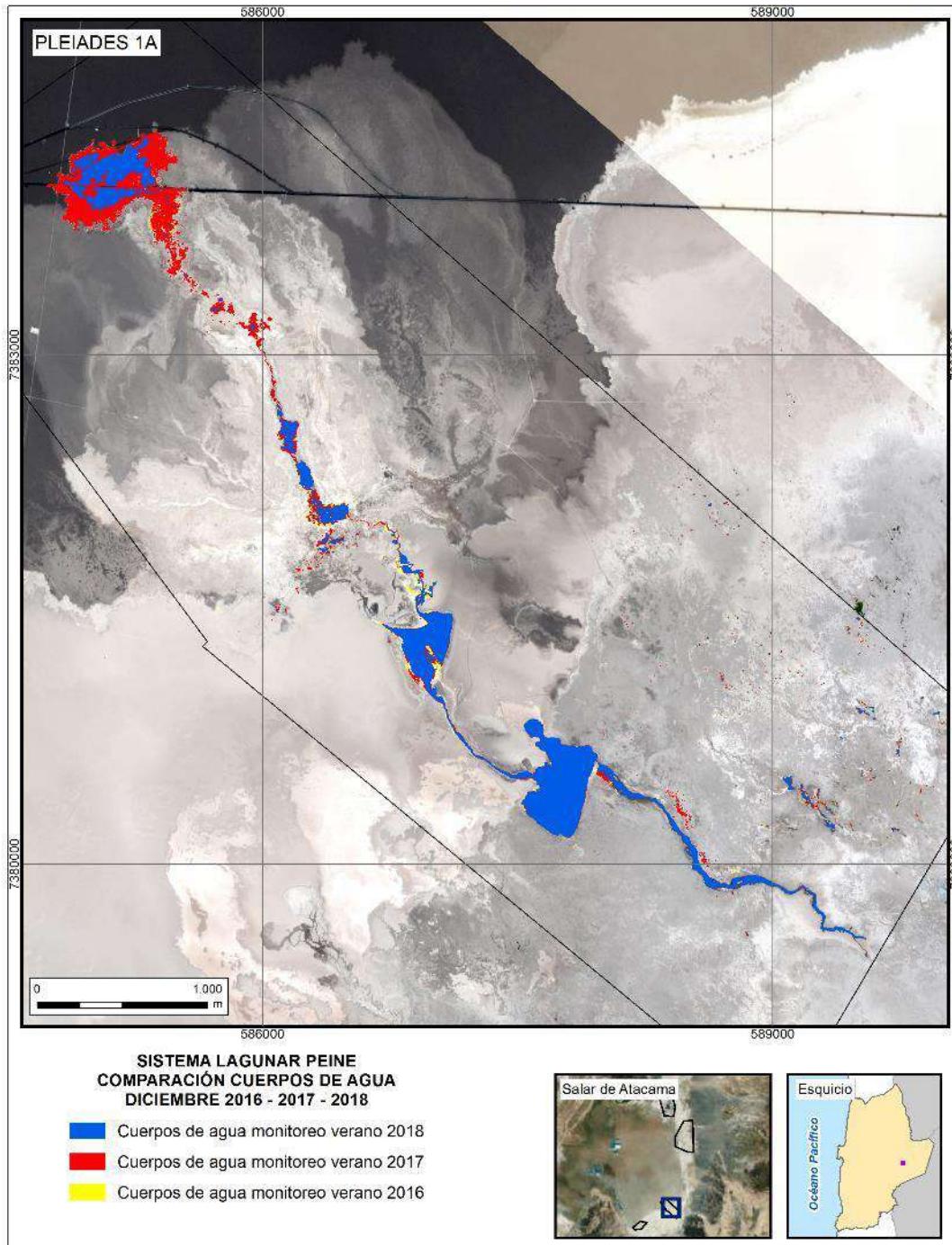
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2018.

**Figura N°12-103. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 - 2018, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.**



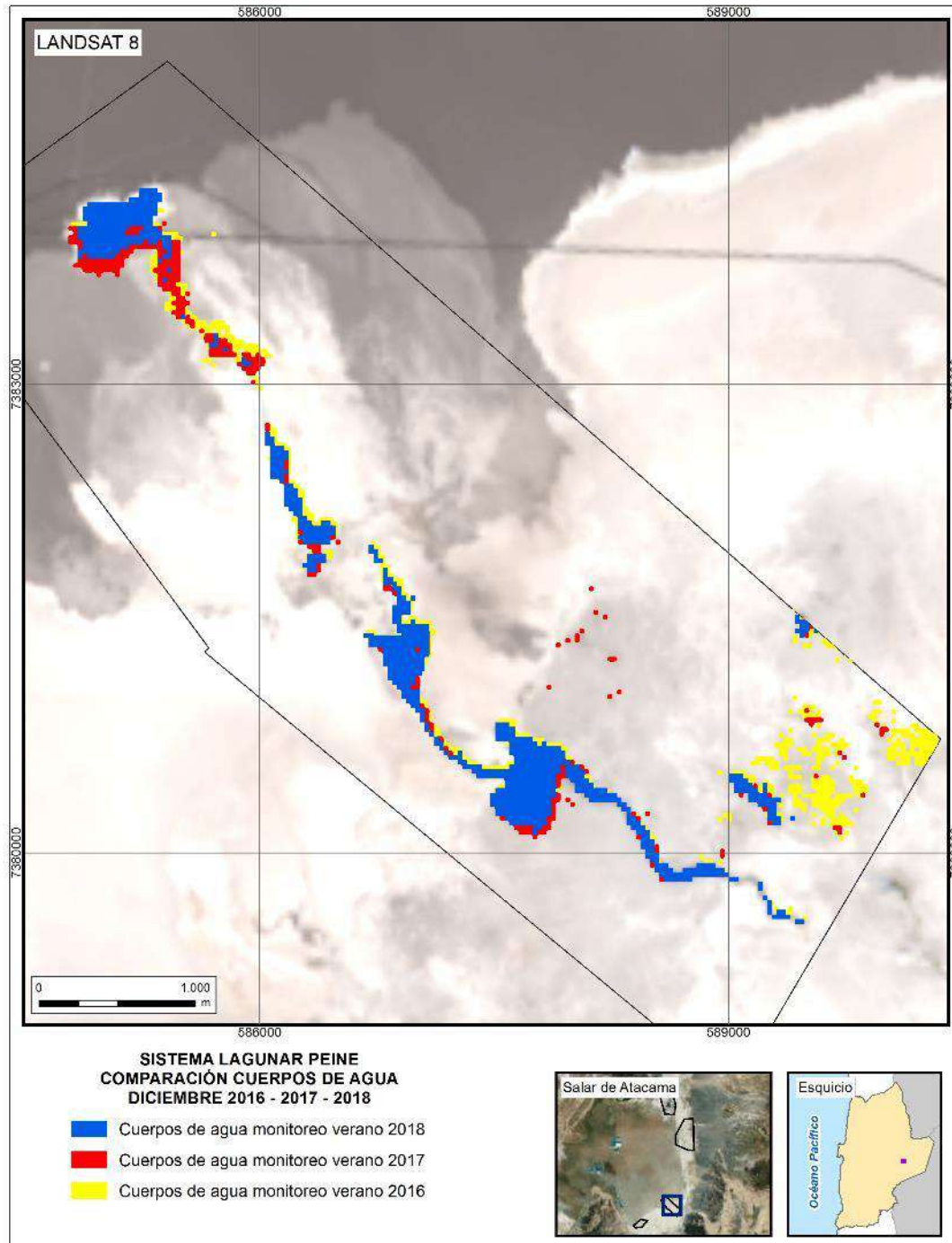
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2018.

**Figura N°12-104. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 - 2018, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2018.

**Figura N°12-105. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 - 2018, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.**



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2018.

## 12.6.2 Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

El mayor ajuste para diciembre de 2018 se presenta en La Punta y La Brava desde imágenes Pleiades 1A y Landsat 8, lo que se explica porque la persistencia de los cuerpos de agua se remitió en gran parte al estrato permanente, lo que es congruente con el registro de la menor superficie durante el monitoreo y con el alto valor del ajuste de la clasificación para este sistema lagunar en este periodo. En tanto para agosto de 2018 el sector que muestra el mayor ajuste es Peine, atribuido a que este sistema presenta cuerpos de agua permanentes con bordes bien definidos.

De acuerdo al índice de precisión global (OA), para diciembre de 2018 los valores fluctúan entre 0,93 en La Punta y La Brava y 0,91 de Peine, para imágenes Pleiades 1A y para imágenes Landsat 8, el rango de valores es de 0,94 en La Punta y La Brava y 0,92 en Peine. Por otra parte, para agosto de 2018, se verifican valores entre 0,95 en Peine y 0,90 en La Punta y La Brava, para imágenes Pleiades 1-A, mientras que para las imágenes Landsat 8, el rango de valores es de 0,88 de Peine y 0,77 de 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* (**Tabla N°10-8** a la **Tabla N°10-11**).

En general, el modelo de clasificación presenta un ajuste considerable para todos los sistemas lagunares (**Tabla N° 12-43**), con valores promedio del índice *Kappa* para el periodo 2016 – 2018 entre 0,86 (Peine) y 0,69 (La Punta y La Brava) desde imágenes de alta resolución; con un valor mínimo de 0,45 en la Punta y La Brava para agosto del 2016 y un valor máximo de 0,80 para Peine en diciembre de 2018. Cabe destacar que para alta resolución los mayores ajustes se presentan en los valores *Kappa* de verano para el sector de La Punta y La Brava, y en invierno en el sector de Peine.

Respecto de Landsat 8, los valores promedio del índice *Kappa* observados en el periodo 2016 – 2018 corresponden a un 0,76 (Peine) y 0,59 (La Punta y La Brava), presentando un valor mínimo de 0,47 en la Punta y La Brava para agosto del 2016 y un valor máximo de 0,83 para Peine en diciembre de 2018. Se observa además que los mayores ajustes se presentan en los valores *Kappa* de invierno en el sector de Peine y en los valores de verano para La Punta y La Brava (**Tabla N° 12-43**).

De lo anterior, se puede concluir que los mayores ajustes corresponden a los sectores que muestran una mayor definición de los cuerpos de agua en el periodo de verano, por sus características de topografía, es decir que los cuerpos de agua se encuentren total o parcialmente delimitados por una diferencia de nivel de costra salina, tipo de sustrato y persistencia del cuerpo de agua dentro del estrato permanente del sistema; por lo tanto, en este periodo las respuestas espectrales son más claras, facilitando la determinación de umbrales de los parámetros del modelo y la clasificación final. Así mismo, los valores más



bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes lagunares, conformando un ecotono de vegetación, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua proveniente principalmente de los parámetros NDVI y NIR, lo que ocurre especialmente en invierno, periodo en que la humedad del suelo alcanza mayores superficies mediante surgencia, mayoritariamente evidentes en sectores de cuerpos de agua no permanentes, influyendo en los parámetros descritos.

**Tabla N° 12-43. Consolidado de índices *Kappa* de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8.**

Tipo de imagen	Fecha monitoreo	Indicadores de monitoreo	Sistema Lagunar		
			La Punta y La Brava	Peine	
PLEIADES 1A -AR	Agosto 2016	Superficie (ha)	47,4	74,1	
		Índice Kappa	0,45	0,89	
	Diciembre 2016	Superficie (ha)	40,9	50,2	
		Índice Kappa	0,82	0,91	
	Agosto 2017	Superficie (ha)	48,1	74,6	
		Índice Kappa	0,50	0,86	
	Diciembre 2017	Superficie (ha)	48,6	74,1	
		Índice Kappa	0,73	0,83	
	Agosto 2018	Superficie (ha)	61,9	51,5	
		Índice Kappa	0,78	0,88	
	Diciembre 2018	Superficie (ha)	35,9	49,4	
		Índice Kappa	0,83	0,80	
	<b>Promedio Kappa</b>			<b>0,69</b>	<b>0,86</b>
	LANDSAT 8 - MR	Agosto 2016	Superficie (ha)	62,6	114,7
Índice Kappa			0,47	0,83	
Diciembre 2016		Superficie (ha)	55,0	110,3	
		Índice Kappa	0,62	0,83	
Agosto 2017		Superficie (ha)	38,2	104,6	
		Índice Kappa	0,50	0,74	
Diciembre 2017		Superficie (ha)	39,3	75,3	
		Índice Kappa	0,54	0,59	
Agosto 2018		Superficie (ha)	63,7	78,4	
		Índice Kappa	0,55	0,73	
Diciembre 2018		Superficie (ha)	44,4	81,7	
		Índice Kappa	0,84	0,83	
<b>Promedio Kappa</b>			<b>0,59</b>	<b>0,76</b>	

Fuente: Elaboración Propia.

## 12.7 En relación con Nivel Freático de Lagunas

En las Figuras presentadas en el capítulo de resultados de esta variable, se observa gráficamente la variación temporal de niveles desde el año 2013 a la fecha (marzo 2019). De dichos resultados y respecto de la evolución de niveles freáticos, se debe considerar que para ambos sistemas, a la fecha se tienen 2 años y 4 meses de línea de base, 3 años en total de mediciones históricas y 3 años de monitoreo o seguimiento (abril 2016 – marzo 2019).

### 12.7.1 Análisis comparativo invierno 2018 y verano 2019

Considerando las fluctuaciones que presentan los niveles freáticos en los pozos de ambos Sistemas, se puede observar para el presente año de monitoreo (abril 2018 a marzo 2019) que 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 mas marcada para los pozos de La Punta – La Brava, con ciclos anuales bien definidos, en cambio para Peine, si bien se observa esta ciclicidad, en BA-22 mas que en BA-21, BA-21 presenta una fuerte influencia de las precipitaciones, las cuales se dieron en febrero 2019, alzando sus niveles y desmarcando los ciclos anuales. Sin embargo, este año en verano (febrero 2019), para el punto BA-07 (La Punta – La Brava) y BA-22 (Peine), se ve una condición poco usual; ya que se presentó un peak de nivel mayor al peak de invierno (julio 2018), lo anterior totalmente atribuible a las precipitaciones que ocurrieron en la zona.

Respecto de las amplitudes de la variación de niveles freáticos para este tercer año, en la Punta –La Brava se presentan rangos de variabilidad o amplitudes de variabilidad desde 8,8 cm. para BA-05, hasta los 14,3 cm. para BA-07. Para los pozos de Lagunas Sector Peine las amplitudes son de 5,2 cm. para BA-22 hasta los 15,6 cm. para BA-21.

### 12.7.2 Análisis comparativo con valores históricos

En esta a sección se realizará un análisis de niveles freáticos por piezómetro y por sector, incorporando los valores promedios del último año de monitoreo.

#### 12.7.2.1 Nivel freático en Sector La Punta-La Brava.

Para el **Sistema La Punta-La Brava**, los niveles registrados en el tiempo reflejan una variación estacional, con una amplitud observada para el sector entre 8,8 hasta 14,3 cm, donde el pozo BA-07 es el que presenta las mayores amplitudes de variación. La **Tabla N° 12-44** presenta los valores mínimos, para línea de base e históricos y el promedio en el período del último año de monitoreo.

**Tabla N° 12-44.** Valores<sup>29</sup> Mínimos y Promedio de la Serie Sector LP-LB

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abril 2013 – Agosto 2015)		Abril 2018-Mar 2019 (m s.n.m)
		Período Histórico (Abril 2013-Marzo 2016)		
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio anual
BA-05	LP-LB	2.300,148	2.300,131	2.300,172
BA-07	LP-LB	2.299,990	2.299,990	2.300,022
BA-16	LP-LB	2.300,845	2.300,836	2.300,865

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 agosto 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).

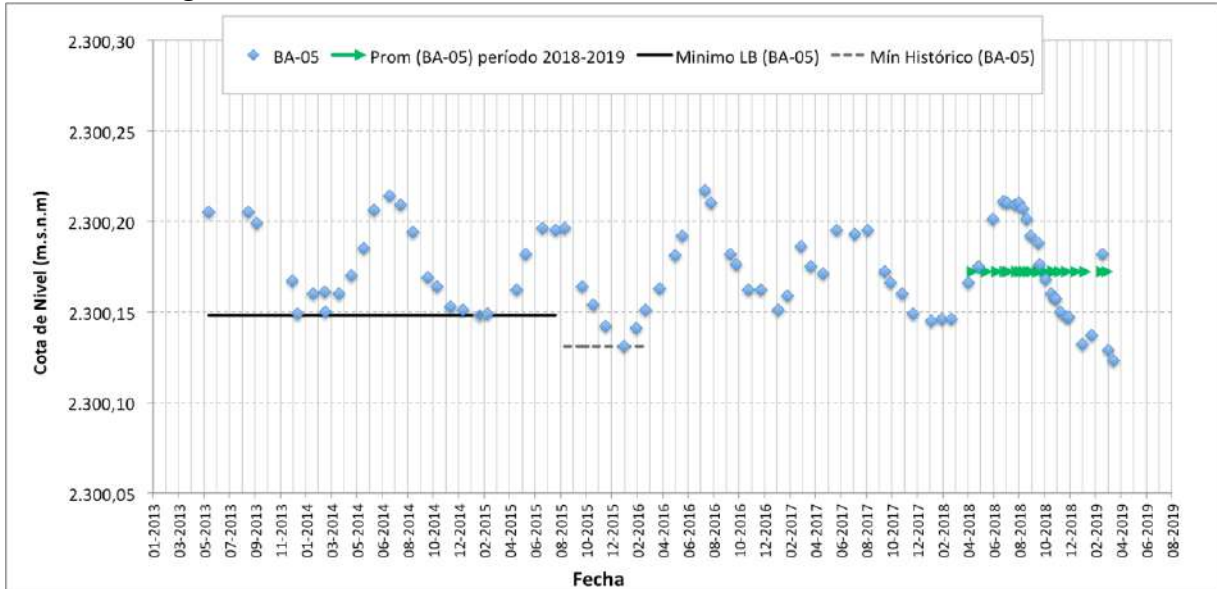
Es importante señalar que, el período “histórico”, es el período de línea de base junto con la continuación de la medición hasta que el proyecto comienza el período de monitoreo oficial de seguimiento. La mantención del monitoreo posterior al período de evaluación, fue para entregar continuidad a los 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° 12-44** en el período previo a la entrada de construcción del proyecto, para los pozos BA-05 y BA-16 se registraron niveles menores a los de línea de base.

En las Figuras siguientes se presentan gráficamente los registros históricos a la fecha para los pozos del Sector La Punta-La Brava, junto con los estadígrafos antes indicados. Se muestran las gráficas por sector y además por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical.

Para el **pozo BA-05 (Figura N° 12-106)**, si bien se observa una variabilidad estable, los registros indican un mínimo histórico (previo al inicio del seguimiento) en enero del año 2016 (2.300,131 ms.n.m.), por debajo de la línea de base, indicado con línea discontinua (previa etapa de construcción y operación del proyecto). Asimismo, recientemente se registraron valores bajo este mínimo histórico, en marzo 2019 con valores de hasta 2.300,123 ms.n.m. Este valor se presenta inusual, dado que es posterior al alza de los niveles producto de las precipitaciones acontecidas en febrero del mismo año 2019, en donde si bien aumentaron los niveles hasta 2.300,182 ms.n.m, éste registra en su medición del mes de marzo siguiente un valor muy bajo, menor a marzo 2018, en donde no hubo precipitaciones, descendiendo 6 cm. Sin perjuicio de lo anterior, es esperable que los niveles asciendan y el valor promedio del último año, resulta superior al mínimo valor de línea de base e histórico.

<sup>29</sup> Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°3 PMB.

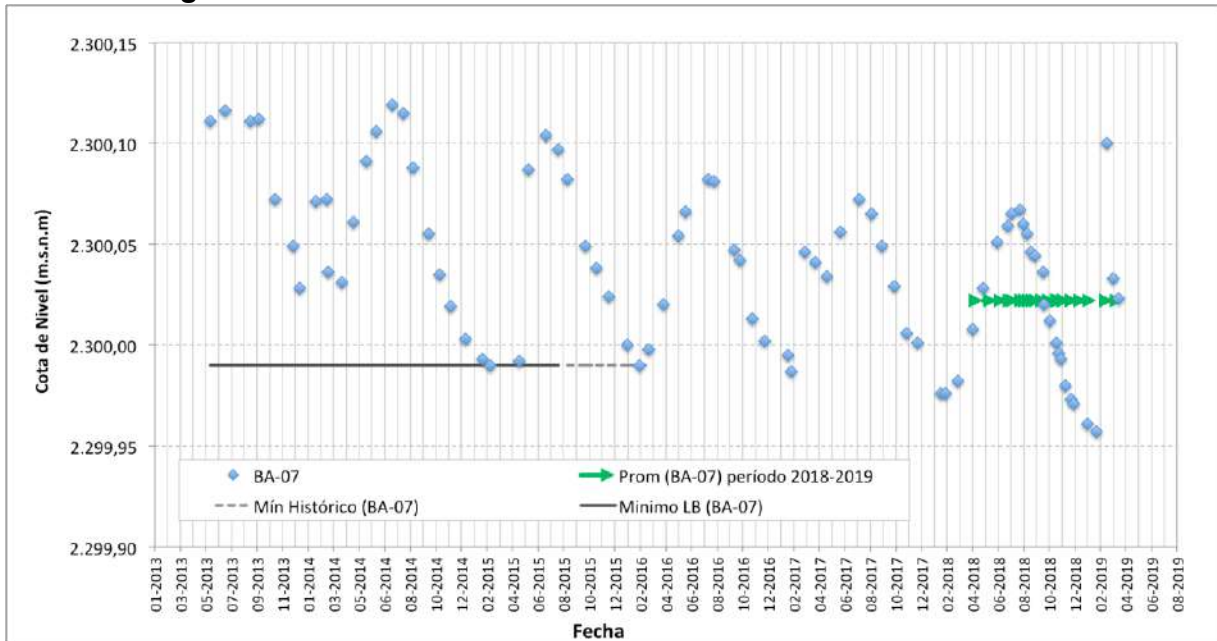
**Figura N° 12-106: Variación de niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB**



Fuente: Elaboración propia

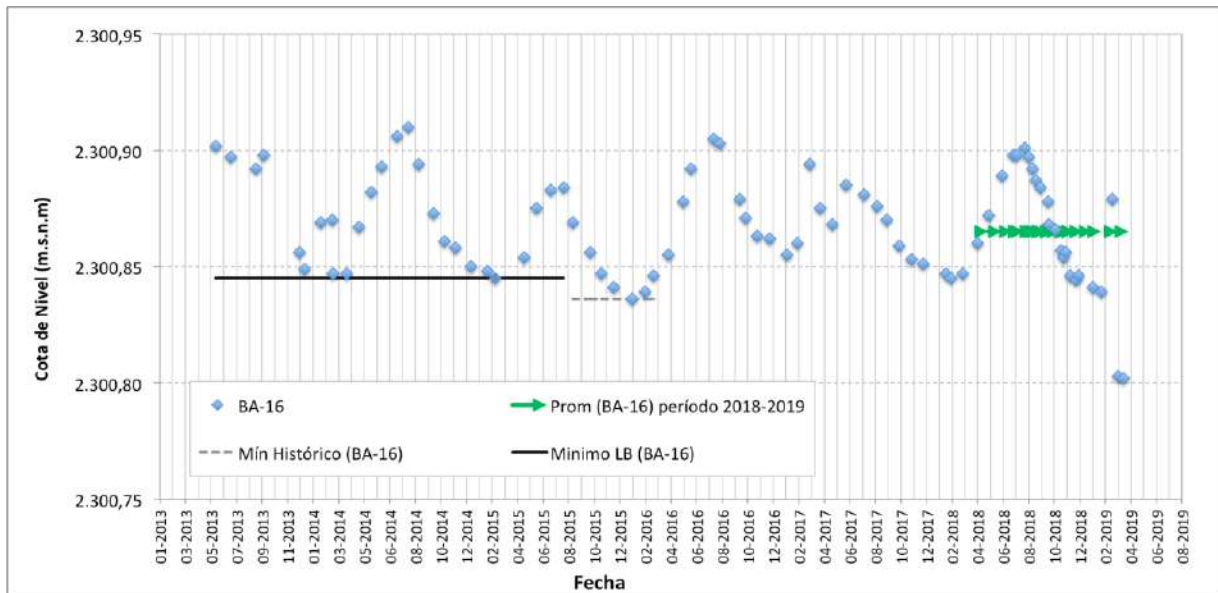
Para el **pozo BA-07 (Figura N° 12-107)**, los registros de la serie indican una tendencia al descenso de sus valores, desde mayo del 2013 hasta la actualidad, lo que también se ve representado en que existen algunos valores puntuales menores al mínimo histórico. Tanto los valores máximos (de invierno) como mínimos (de verano) se observan año tras año mas bajos que el anterior, con la excepción del registro de febrero 2019, donde llega a un pick máximo de 2.300,1 ms.n.m. que nunca antes se había dado en época de verano. Sin embargo, posterior a ello, los niveles descienden 7,7 cm. idem a pozo BA-05. A pesar de esta fuerte bajada, el valor de marzo 2019 es superior al valor de marzo 2018 en 4,1 cm. y el promedio de los niveles del último año se mantiene por sobre el mínimo histórico y de línea de base.

**Figura N° 12-107: Variación de niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB**



Fuente: Elaboración propia

El **pozo BA-16 (Figura N° 12-108)**, presenta una variabilidad y tendencia muy similar a BA-05, con un valor histórico en enero del 2016 por debajo del valor de línea de base, pero como tendencia de la serie completa, mas estable. En febrero del presente año se presentó un registro alto comparativamente con la temporada de verano (2300,879 ms.n.m.), en promedio 3 cm. por sobre los registros de años previos en la misma época (ejemplo feb 2018 de 2300,845 ms.n.m.). Sin embargo, posterior a las precipitaciones del invierno boliviano acontecidas este año, en marzo 2019, los niveles bajaron 7,6 cm. Sin perjuicio de lo anterior, el promedio de los niveles del último año se mantiene por sobre el mínimo histórico y de línea de base.

**Figura N° 12-108: Variación de niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB**

Fuente: Elaboración propia

Para el período de análisis, Abril 2018 a Marzo 2019, los niveles para los puntos BA-05 y BA-16 se presentan dentro de la variación histórica, con la excepción de los registros de marzo 2019, en donde se observa un descenso entre los 6 y 7 cm desde febrero, registrados después de las lluvias de febrero 2019.

Para este sector La Punta-La Brava, el alza de febrero post lluvias, se consideran datos inusuales, ya que los niveles se presentan muy altos para la temporada de verano comparado con los años históricos y la variabilidad natural existente (aumento en invierno y niveles bajos en verano). Asimismo, inusual es la fuerte caída de los niveles en la medición inmediatamente posterior, lo que se da en los 3 pozos representativos del Sector.

### 12.7.2.2 Nivel freático en Sector Peine.

Para el **Sistema Lagunar Peine**, la situación observada para los pozos BA-21 y BA-22, escogidos como los representativos a monitorear, 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. En la **Tabla N° 12-45**

se presenta los valores mínimos, para línea de base e históricos y el promedio en el período del último año de monitoreo.

**Tabla N° 12-45. Valores<sup>30</sup> Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine**

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abr 2013 – Agosto/Sept 2015)		Abril 2018-Mar 2019 (m s.n.m)
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio
BA-21	Peine	2.300,072	2.300,072	2.300,073
BA-22	Peine	2.300,274	2.300,268	2.300,279

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° 12-45** 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 las Figuras siguientes se presentan gráficamente los registros históricos a la fecha para los pozos del Sector Peine, junto con los estadígrafos antes indicados. Se muestran las gráficas por sector y además por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical.

Para el **pozo BA-21 (Figura N° 12-109)**, considerando los valores mínimos de la serie, los registros indican una tendencia al descenso, y por el contrario, un ascenso de los valores máximos. El pozo BA-21, a diferencia de los demás pozos, presenta un comportamiento directo de respuesta después de 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 en invierno.

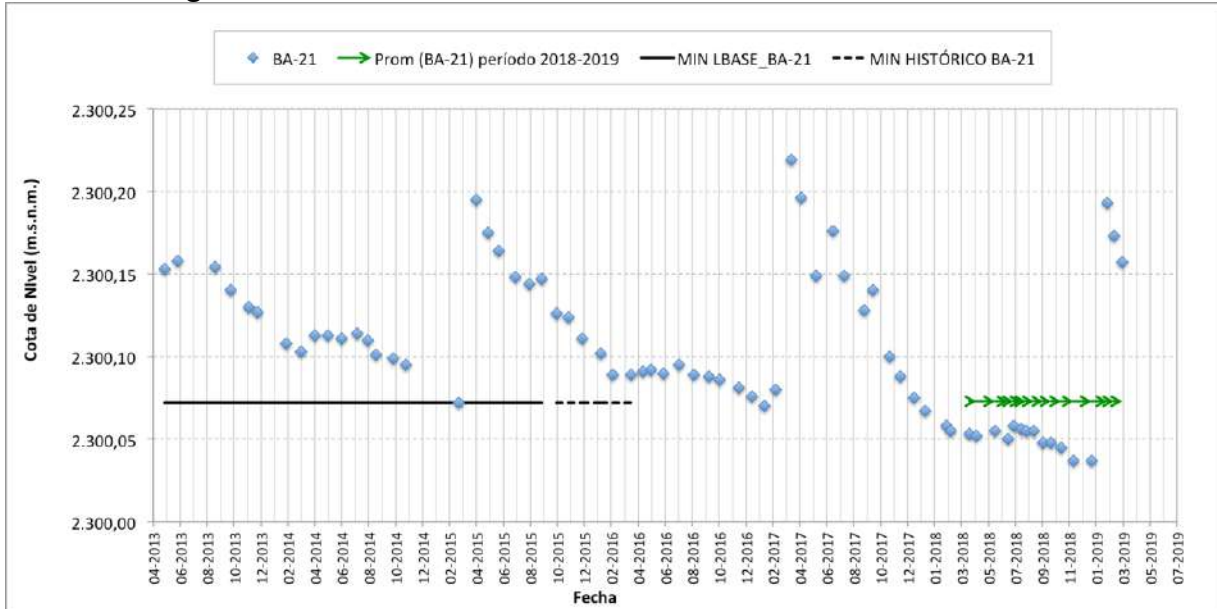
En febrero del 2019, el máximo llegó hasta 2.300,193 ms.n.m. siendo éste muy similar a la cota de abril 2015, pero inferior a marzo 2017. Sin perjuicio de lo anterior, el promedio de sus niveles el último año, se encuentra por sobre el mínimo histórico.

El punto BA-21, se ubica en la zona medias de lagunas, por eso su comportamiento se aprecia diferente al de los otros barrenos (propiedades de lagunas). De hecho su variación se ve más parecida a los puntos ubicados en el núcleo, los cuáles responden más

<sup>30</sup> Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°3 PMB,

rápido a las precipitaciones y elevan sus niveles para luego tener bajas progresivas en el tiempo.

**Figura N° 12-109. Variación de niveles Pozo BA-21 – Sector Peine**

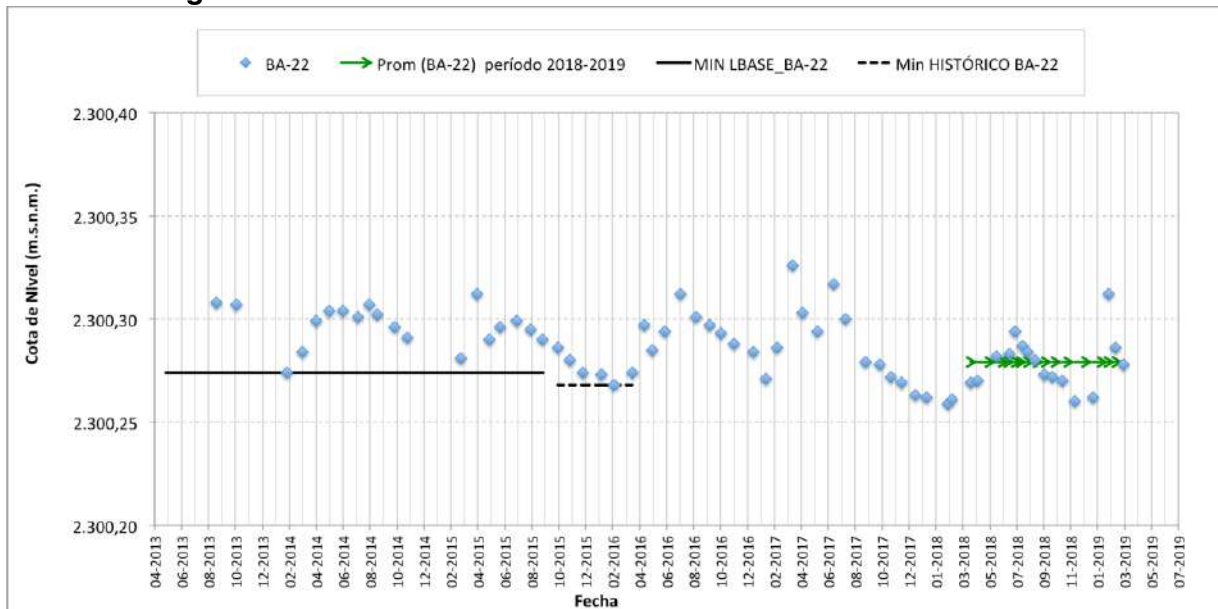


Fuente: Elaboración propia

Para el **pozo BA-22**, la serie presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus niveles, con comportamiento de aumento de los niveles en los meses de invierno (junio a agosto) y descensos en la temporada de verano (enero-febrero) (**Figura N° 12-110**).

En diciembre 2018 y enero 2019, los datos presentan niveles por debajo del valor de línea de base, y por debajo del mínimo histórico. En febrero del 2019 se presenta un pick (producto de las precipitaciones) que llega hasta los 2300,312 ms.n.m., menor al pick observado en marzo del 2017 (2300,326 ms.n.m.). Al igual que el resto de los pozos, posterior a esta fecha en marzo 2019 los niveles descienden en 3 cm. Aún así, la última medida de marzo 2019 (2300,278 ms.n.m) indica estar por sobre la cota de marzo 2018 (2300,261 ms.n.m). Sin perjuicio de lo anterior, el promedio de sus niveles el último año, se encuentra por sobre el mínimo histórico y de línea de base.



**Figura N° 12-110. Variación de niveles Pozo BA-22 – Sector Peine**

Fuente: Elaboración propia

## 12.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema

En el presente capítulo, y de acuerdo al numeral 4.2.7 “Criterios para detección de cambio de estado ecológico”, comprometido en el Anexo 2 de la Adenda 5, “Plan de Manejo Biótico” (PMB), se evaluarán las variables denominadas de “estado”, definidas a partir del Modelo Ecológico Funcional, con el fin de detectar cambios en el estado ecológico de los ecosistemas terrestres (azonales) y acuáticos.

Las variables seleccionadas presentan la propiedad de mantener funcionalmente la trama trófica presente en el área de estudio, y corresponden a:

- Vegetación azonal
- Superficies de las lagunas, y
- Niveles freáticos

En el capítulo indicado, se señala también que “*se establece como criterio de mantención del estado ecológico, que las variables de estado se mantengan dentro del registro de línea de base, esto es que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector*”, y al respecto, en este capítulo se realizará la evaluación de este punto incorporando además un análisis de tendencia este tercer año de monitoreo.

Por otra parte, en el mismo Anexo 2 se indica que la evaluación de la condición de cambio se realizará por Sector de manera independiente: Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo,

mediante análisis de tendencia. Los cambios de estado ecológico serán comparados tomando la evolución de las variables de estado en el tiempo versus su comportamiento previo (línea de base y registro histórico).

En relación a lo requerido, para el análisis de la **vegetación azonal**, se utilizan **dos indicadores** (1) Transectos de Vegetación y (2) Coberturas de Vegetación activa:

**(1) Transectos de Vegetación: Análisis de tendencias de las coberturas de transectas de flora y vegetación:**

Se entenderá como un cambio de tendencia lo siguiente: “*si después de 3 años consecutivos (periodos) se observa una disminución sostenida de la cobertura de especies, aumento de sustrato salino (medición obtenida en el monitoreo de suelo) o cambios en la estructura comunitaria (composición de especies)*”. Este seguimiento se analiza a través del método de intercepto de puntos, basado en el método “point quadrat” mediante transectas, el cual entrega una estimación de coberturas más precisas que el uso de grillas, con un error de medición del  $\pm 5\%$ , por lo cual deberá ser considerado para evaluar estadísticamente las tendencias, según criterios utilizados por el SAG para este tipo de análisis. El plan de seguimiento de la vegetación sigue los lineamientos definidos en la “Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT)” (Ahumada y Faúndez 2009).

Para el análisis de tendencia se realizaron diversas pruebas, con la finalidad de evaluar el comportamiento de la vegetación azonal (formaciones de herbazales y matorrales monitoreadas) posterior a la puesta en marcha del proyecto. Los análisis se enmarcan en determinar si hay cambios en la **estructura comunitaria, variación de la cobertura vegetal y composición de especies**, además de corroborar si hay un aumento de **salinidad del suelo**. Para esto se realizó un análisis de las coberturas, **obtenidas por transecta** en el período de monitoreo, correspondiente a muestreos semestrales entre invierno 2016 (julio, monitoreo base MB0, pre-operacional) y verano (post-lluvia, marzo-abril, M6) 2019, y para el análisis sobre la salinidad se realizó con los datos del componente suelo entre el periodo de monitoreo (M1 en agosto 2016 a M6).

**(2) Coberturas de Vegetación Activa: análisis multitemporal de las superficies de vegetación activa, en las formaciones azonales sujetas a seguimiento:**

Para el seguimiento de la distribución y cobertura de la vegetación azonal, se utilizan las *coberturas de vegetación activa* establecidas mediante **el uso de imágenes satelitales de alta resolución espacial**. Además, para el análisis del estado ecológico, se definió como el segundo indicador, dado que se entenderá un **cambio de tendencia** si después de 3 años consecutivos, se observa una disminución sostenida de la cobertura, fuera de rango de los valores registrados históricamente por sector.

La cobertura de vegetación activa, como variable de seguimiento, se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado** (NDVI por su sigla en inglés)<sup>31</sup>, el cual se obtiene de imágenes satelitales de alta resolución espacial, durante la temporada de crecimiento de la vegetación (periodo posterior a las precipitaciones estivales; marzo – abril). Esto según lo establecido en el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del Proyecto.

En relación a lo requerido para **Superficie de Lagunas**, se utilizará los registros de línea base y de monitoreo de las campañas de invierno y verano para evaluar el análisis de tendencia de los 3 años de monitoreo. Se entenderá un cambio de tendencia “*sí después de 3 años consecutivos, se observa una disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)*”.

En relación a los **niveles freáticos**, se utilizan como datos de referencia los valores de línea base presentados en Anexo 2 de Adenda 5 (Figura 4.2-13 y Figura 4.2-14). Con los valores registrados y monitoreados en estos 3 años de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado para la variable: “*que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.*”

## 12.8.1 Sistema La Punta – La Brava

### 12.8.1.1 Vegetación azonal

#### 12.8.1.1.1 Vegetación y Flora (Transectas)

A continuación, se presenta la evaluación de la condición del estado ecológico del componente de vegetación y flora, de acuerdo al seguimiento de transectas de vegetación en relación a las variaciones en su cobertura, en la estructura comunitaria o composición y del sustrato salino, en conjunto con los análisis de salinidad del componente suelo en los sectores de estudio, y el análisis sobre de la distribución y cobertura de la vegetación mediante el *proxy* NDVI.

#### a. Variación de la cobertura vegetal en sector y transectas

En la **Figura N° 12-111**, se puede observar la cobertura promedio de la vegetación en los sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava, junto a la evolución de las coberturas de rastrojos, la cobertura de otros recubrimientos y la riqueza en los monitoreos de los primeros tres años de seguimiento, en referencia al **Monitoreo “0” realizado en Julio de 2016 (MB0)**.

<sup>31</sup> **EI NDVI** entrega una descripción fisionómica de la vegetación con relación a la densidad y vigor de la vegetación a una resolución equivalente a la del tamaño del pixel de la imagen que se esté utilizando. Los valores del índice varían en un rango de entre -1 y 1, detectando la cobertura vegetal en los valores positivos. Mayor NDVI estima proporcionalmente mayor fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por los tejidos verdes y/o mayor biomasa, es decir mayor densidad y/o vigor de la vegetación.

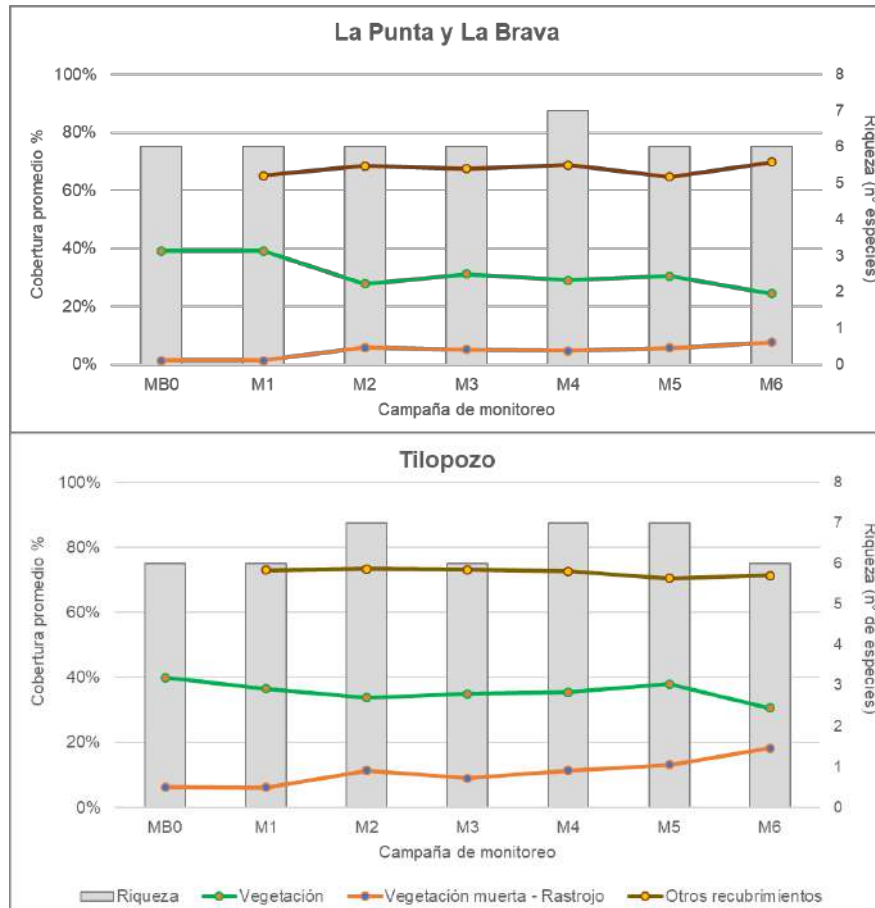
En términos generales, de acuerdo a los resultados de los tres años de seguimiento, el sector de Tilopozo presenta una leve variación de la cobertura vegetal entre monitoreos (**Figura N° 12-111**), principalmente desde MB0 a M5 con rango de promedios entre 33,8 y 39,9%. Luego, en M6 presenta una baja moderada a una cobertura promedio de 30,6%. En La Punta y La Brava, se observan variaciones en la cobertura vegetal en un rango desde 39,1% (en MB0) a 24,5% (en M6) con una baja leve respecto a MB0.

En relación a la cobertura de rastrojos, se detectan aumentos de la cobertura promedio desde MB0, con rango desde 6,2% (en MB0) hasta 18,3% (en M6) en Tilopozo, y en La Punta y La Brava se observa en todos los monitoreos coberturas mayores a lo registrado en MB0 y M1 (1,3%), con rango de valores desde 5,9% en M2 a 7,7% en M6.

En cuanto a la cobertura de otros recubrimientos, ambos sectores presentan variaciones mínimas entre monitoreos, por lo que su cobertura de otros recubrimientos se observa estable en los tres años de seguimiento. En Tilopozo se observa mayor variedad de tipos de recubrimientos, destacando la superficie terrosa no registrada en La Punta y La Brava, pero en este último destaca la cobertura de agua superficial que se observa constante en el tiempo.

Con respecto a la riqueza, se observa una estabilidad entre los monitoreos desde MB0 y durante los tres años de seguimiento. En el caso de Tilopozo, los mayores registros (siete especies) se observan principalmente en los monitoreos de post-lluvia en verano (M2 y M4) y en M5. En La Punta y La Brava, el máximo registro de siete especies se observó en M4, el resto de los monitoreos registra seis especies en ambos sectores.

**Figura N° 12-111. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo.**



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019.

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura N° 12-112 y Anexo Vegetación y Flora Vol. 1 (Tabla 1-6)**, se aprecian las coberturas absolutas de las transectas en los sectores Tilopozo y La Punta y La Brava, ordenadas por formación vegetal. Con respecto a la variación de la cobertura en las transectas en los tres años de monitoreo (2016-2019), se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, sin mostrar una tendencia clara desde MB0 a M6.

El herbazal de *S. californicus*, en Tilopozo, presenta la mayor cobertura vegetal del sector. Si bien registra variaciones entre monitoreos, éstos siempre registran una cobertura absoluta por sobre el 100%. Por otro lado, en T19 se observa que en M2 (verano 2017) la cobertura es mayor que el registro del monitoreo base (MB0) y en los otros monitoreos las coberturas se acercan a lo registrado en MB0 a pesar del descenso en M1. En la transecta T29, se observa que la cobertura en M2, M4 y M5 supera la cobertura absoluta de MB0.

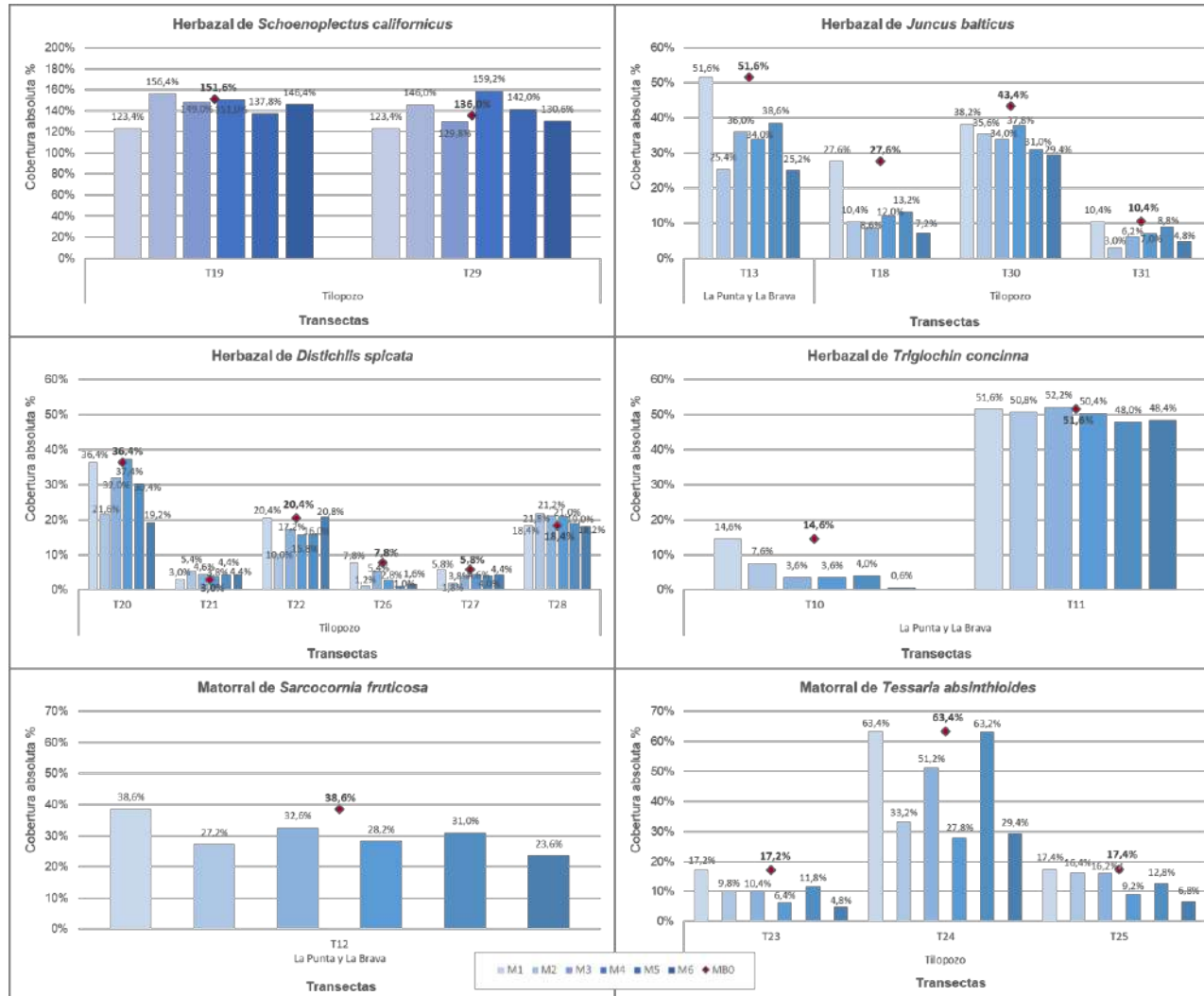
En el herbazal de *Juncus balticus* se observa una mayor variación entre monitoreos, con alzas y descensos de las coberturas durante los tres años de monitoreo, y descensos en casi todos los monitoreos (exceptuando M1) con respecto a MB0, destacando el descenso en M2 para las transectas T13 en La Punta y La Brava y en T30 y T31 en Tilopozo, aunque con alzas posteriores donde demuestra la variabilidad en los 3 años de monitoreo.

El herbazal de *D. spicata* en Tilopozo, muestra igualmente una mayor variación de las coberturas entre monitoreos, con descenso en M2 para las transectas T20, T22, T26 y T27, aunque con una recuperación de la cobertura en monitoreos posteriores, igualando la cobertura de MB0 para T20 en M4 y superando la cobertura de MB0 en T22 en M6. La transecta T27, no alcanza la cobertura de MB0 en otros monitoreos, pero se mantiene estable entre M3 y M6, y en T26 se ve un descenso más marcado en el último año (M5-M6). Por otro lado, las transectas T28 y T21 se observan más estables y con coberturas entre M1 y M6 mayores o muy cercanas a lo registrado en MB0.

En el herbazal de *T. concinna* en La Punta y La Brava, la transecta T11 se observa estable entre monitoreos y con coberturas cercanas o mayores a la registrada en MB0. A diferencia de la transecta T10 que presenta un descenso de su cobertura con respecto a MB0, que a pesar de que se mantiene más estable entre M3 y M5 en el último monitoreo de verano (M6) marca un descenso mayor (cobertura absoluta de 0,6%).

Entre los matorrales, la formación de *S. fruticosa* con la transecta T12 en La Punta y La Brava presenta una menor variación entre monitoreos, con coberturas menores que MB0 entre M1 y M6. Los matorrales de *T. absinthioides* en Tilopozo se observan con una mayor variación, con alzas o disminuciones intermitentes de la cobertura, donde T23 y T24 muestra mayor descenso en monitoreos de verano M2, M4 y M6 y en T25 se observa una cobertura más estable entre M1 y M3 presentando un descenso posterior en M4 y M6.

**Figura N° 12-112. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1, M2, M3, M4, M5 y M6 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo.**



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019. Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 16, Anexo I de Vegetación y Flora.

b. Análisis de la estructura comunitaria (composición de especies)

A continuación, se presenta el análisis de tendencia, a partir de la variación de la cobertura vegetal de las especies y la variación en la composición de las especies en referencia al número de intercepciones en la transecta (frecuencia), para determinar cambios en la estructura comunitaria de la vegetación azonal.

En relación a **la variación de la cobertura vegetal de las especies**, por una parte, se analiza la cobertura promedio anual de las especies en relación al periodo inicial (MB0; invierno 2016) en **Figura N° 12-113**, y seguidamente, se analiza la variación de estas coberturas entre periodos, MB0-Año 1, Año 1-Año 2 y entre Año 2-Año 3<sup>32</sup>, detallando el análisis por formación vegetal para una mejor comprensión.

En el sector Tilopozo, se registran siete especies entre las formaciones vegetales en seguimiento, de las cuales cuatro especies son dominantes en cada una de las formaciones, las herbáceas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus* y *Distichlis spicata*, y el arbusto *Tessaria absinthioides*. En la **Figura N° 12-113** se presenta el promedio de la cobertura anual para estas siete especies en las cuatro formaciones, ordenadas de mayor a menor cobertura en relación al sector, observando que *S. californicus* presenta la mayor cobertura promedio en los tres años y se mantiene estable en relación a la cobertura inicial (MB0; invierno 2016).

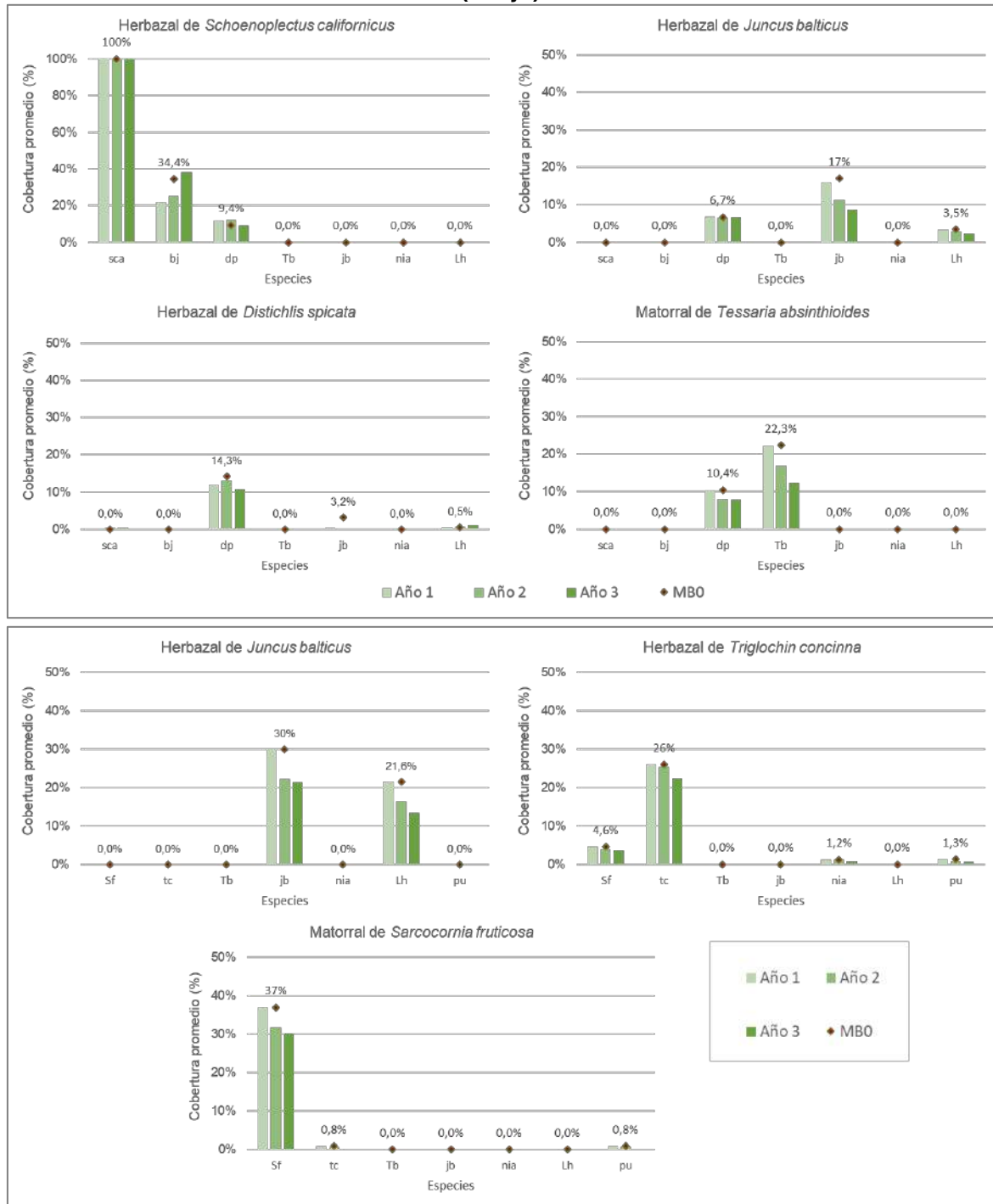
Para las otras especies, en general se observa una variación entre los años de monitoreo (**Figura N° 12-113**), destacando *J. balticus* que desciende a menos de un 10% de cobertura promedio en el tercer año, representando una variación de un -8,3% con respecto a MB0 en la formación donde domina y *T. absinthioides* con una tendencia similar (variación de -10,1%) en el matorral. La especie *D. spicata* es la que se observa más constante en las distintas formaciones y con promedio de cobertura cercanos o sobre el promedio inicial. Por otra parte, en el herbazal de *S. californicus* se observa que la cobertura promedio de *Baccharis juncea* descendió en el primer año de monitoreo (Año 1-MB0; -12,6% de variación), pero repuntó en los siguientes, superando la condición inicial de MB0, sobre todo por el aumento desde el año 2 al 3 en un +13,3%.

En el sector La Punta y La Brava (**Figura N° 12-113**), se observa para todas las especies un leve descenso de la cobertura desde el segundo (M3-M4) y tercer año de monitoreo (M5-M6), no obstante, la variación de las coberturas promedio anuales no superan más de un 10% con respecto a la cobertura inicial de invierno de 2016 (MB0). Las mayores variaciones estuvieron en el año 2 con una disminución de -7,8% para *Juncus balticus* y de -5,3% para *Lycium humile* respecto al primer año en la formación de herbazal de *J. balticus* (T13) y en el matorral de *S. fruticosa* una mayor variación en el mismo periodo (Año 2; M3-M4) de un -5,2% para la especie *S. fruticosa* con respecto a al primer año (T12).

<sup>32</sup> Esta comparación se realiza con la cobertura promedio entre los monitoreos de cada año: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6 y MB0: condición basal, invierno 2016. Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I, sección 2.2**.



**Figura N° 12-113. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales de los sectores Tilopozo (arriba) y en La Punta y La Brava (abajo).**



Donde: Especies: **sca**: *Schoenoplectus californicus*, **bj**: *Baccharis juncea*, **dp**: *Distichlis spicata*, **Tb**: *Tessaria absinthioides*, **jb**: *Juncus balticus*, **nia**: *Nitrophila atacamensis*, **Lh**: *Lycium humile*, **Sf**: *Sarcocornia fruticosa*, **tc**: *Triglochin concinna*, **pu**: *Puccinellia frigida*.

Promedio anual de coberturas: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6 y MBO: condición basal, invierno 2016.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a **la variación de la composición de especies a través de la frecuencia en la transecta**, en los tres años de seguimiento M1 a M6 en relación al registro inicial en MB0, se observa una estabilidad en la composición de especies en las formaciones vegetales, manteniendo una similar riqueza florística entre monitoreos, donde las variaciones se observan en el número de registros (frecuencia a través del n° de intercepciones en las transectas<sup>33</sup>), denotando algunas variaciones en tramos específicos de las transectas entre monitoreos. Ver a continuación las Figuras **Figura N° 12-114, Figura N° 12-115, Figura N° 12-116, Figura N° 12-117 y Figura N° 12-118**).

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus* de Tilopozo se observa una estabilidad de los registros en el tiempo para la especie dominante en la formación, con una variación menor en M5 en relación al número registrado en MB0 (**Figura N° 12-114**). No obstante, para las especies acompañantes se observa una mayor variación entre monitoreos, donde *B. juncea* presenta una disminución en el número de registros, principalmente en el tramo 2, aunque con una variabilidad entre monitoreos denotando una mayor presencia en monitoreos de verano (M2 y M4), y para el caso de *D. spicata* se observa una disminución más notoria de sus registros en Tramos 1 y 2 desde M4, aunque en Tramo 3 vuelve a tener mayor presencia desde M4 a M6.

En el herbazal de *Juncus balticus*, para la especie dominante (*J. balticus*) se observa en general, una mayor variabilidad de sus registros entre monitoreos (**Figura N° 12-115**). En el principal tramo (tramo 2), se observa la caída de registros en la formación de Tilopozo a diferencia de la formación en La Punta y La Brava que se observa más estable entre monitoreos, aunque con una variación marcada en el tramo 3 con una disminución en M2, repuntando en M3, pero bajando en M6 en los tres tramos. Las especies acompañantes presentan algunas variaciones menores, pero dentro de los rangos registrados por tramo en MB0.

En el herbazal de *Distichlis spicata* en Tilopozo, la especie dominante (*D. spicata*) presenta una disminución de sus registros en relación a MB0 y M1 (**Figura N° 12-116**), no obstante, se observa la variabilidad entre monitoreos con alzas y bajas entre ellos. Las especies acompañantes presentan bajo número de registros en general, con mayor presencia de *Lycium humile*, que si bien muestra una menor frecuencia con respecto a MB0 se observa una recuperación paulatina desde M1 a M6.

En el herbazal de *Triglochin concinna* en La Punta y La Brava (**Figura N° 12-117**), se observa un descenso paulatino del registro de la especie dominante (*T. concinna*) en el tramo 2, a diferencia de los tramos del extremo de la transecta (1 y 3). La especie *Nitrophila atacamensis* presenta un descenso en M6, la cual se presentaba estable entre MB0 y M5.

---

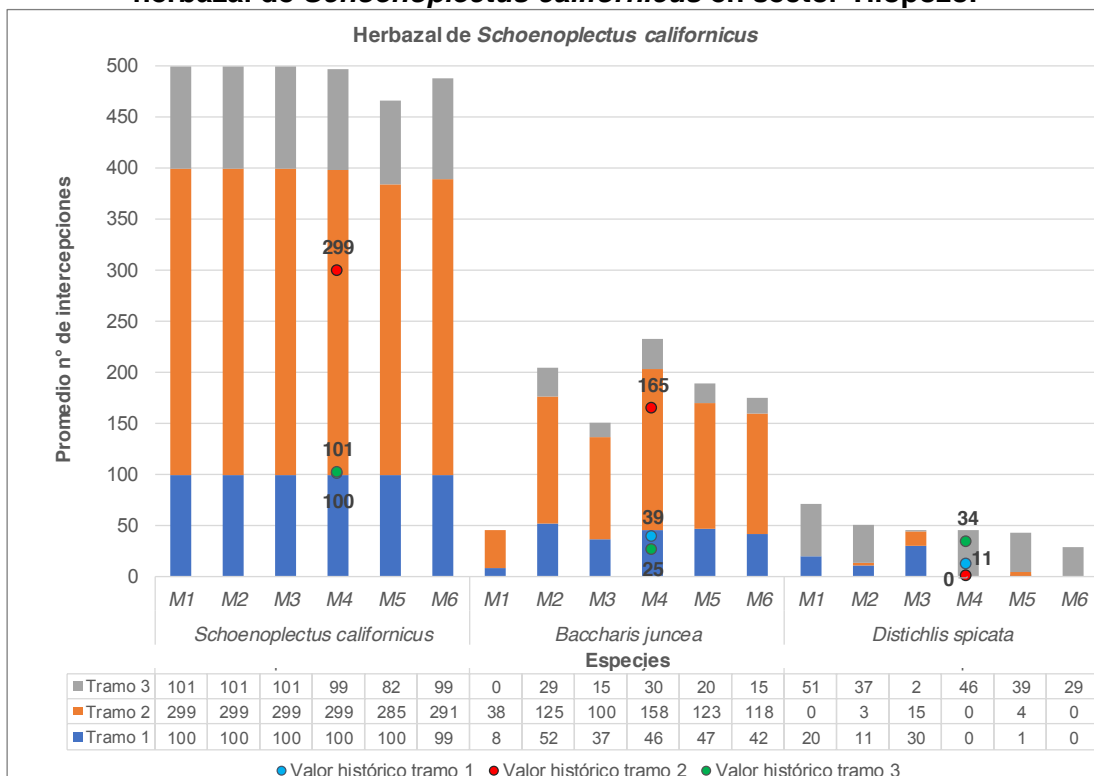
<sup>33</sup> Esta frecuencia en la transecta se realiza a través del número de intercepciones en cada una, entendiendo que una transecta de 50 metros tiene 500 intercepciones posibles, en las cuales puede haber más de una especie en cada intercepción. A su vez, la transecta se dividió en tres tramos: Tramo 1= 0-10 m (100 intercepciones posibles); Tramo 2= 10,1 – 40 m (300 intercepciones posibles); Tramo 3= 40,1 – 50 m (100 intercepciones posibles). Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I sección 2.2**.

Para las otras especies acompañantes se observan leves variaciones y más bien una presencia estable entre tramos y monitoreos para el arbusto *Sarcocornia fruticosa*.

En relación a los matorrales, si bien se observa un descenso hasta M6 en relación al monitoreo inicial MB0 y M1, la presencia de las especies por tramos se observa variable, con alzas y bajas que no determinan una tendencia al descenso (**Figura N° 12-118**). No obstante, en el tramo 2 se observa que la mayor variación se observa en M6, tanto para la especie *T. absinthioides*, *D. spicata* en Tilopozo y para *S. fruticosa* en La Punta y La Brava.

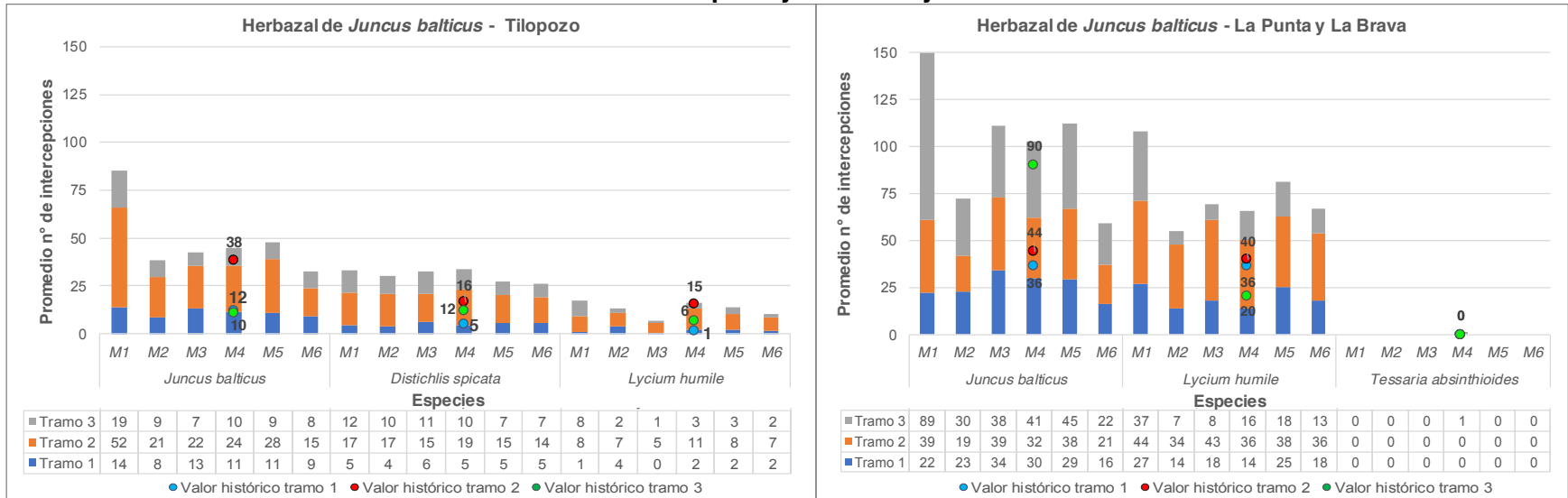
En términos generales, tanto las variaciones determinadas en la cobertura vegetal como en la estructura comunitaria de algunas transectas, no constituirían cambios significativos y los descensos estimados se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar. Esto se deduce del análisis complementario que se realizó con el NDVI de imágenes Landsat para el periodo de estudio 2009-2019 (ver resultados para el sector en **sección 12.8.1.1.2**) y la validación de dicho análisis según correlaciones significativas obtenidas entre las coberturas determinadas en transectas y el NDVI (ver análisis de correlaciones en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5.1**).

**Figura N° 12-114. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Schoenoplectus californicus* en sector Tilopozo.**



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 12-115. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Juncus balticus*, en sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava.**



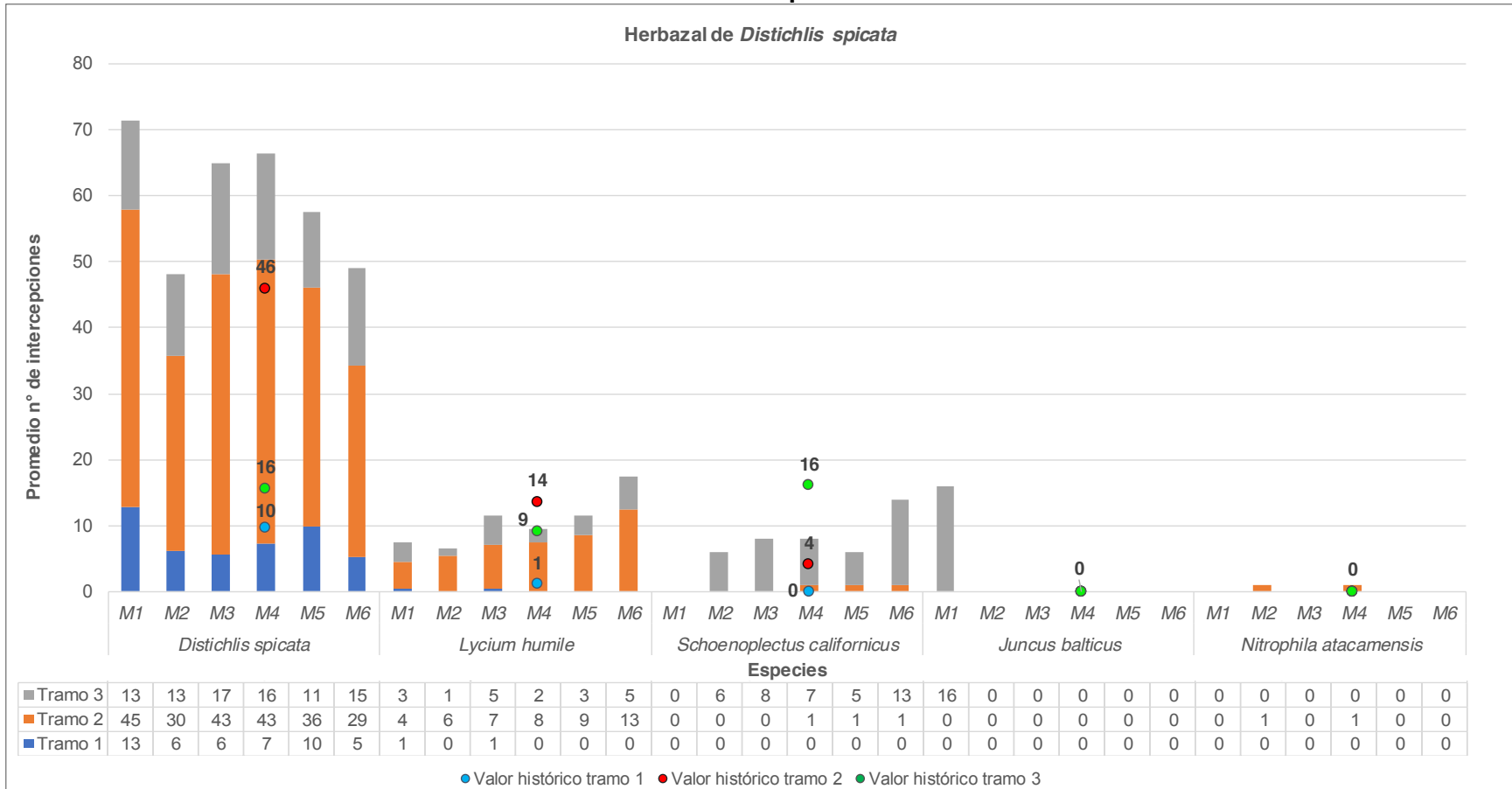
Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;

Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019;

Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 12-116. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Distichlis spicata* en sector Tilopozo.**



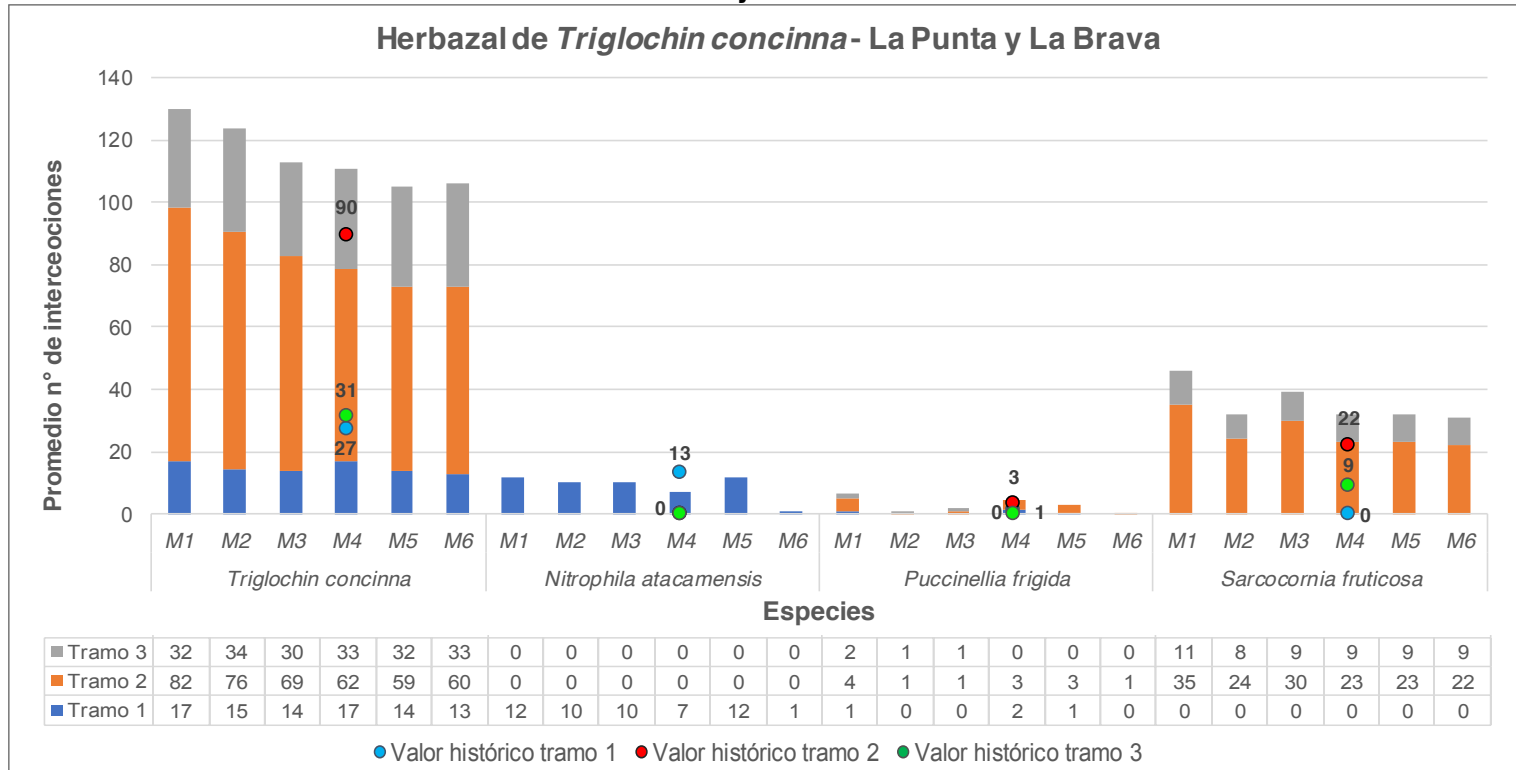
Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;

Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019;

Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 12-117. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Triglochin concinna* en La Punta y La Brava.**



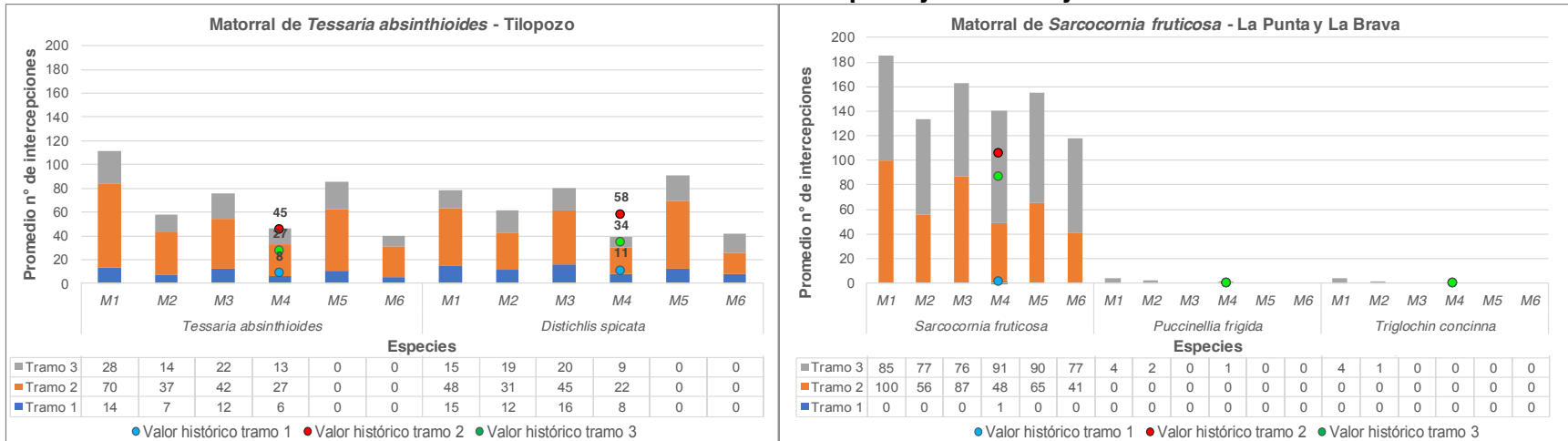
Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;

Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019;

Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 12-118. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorrales de *Tessaria absinthioides* y *Sarcocornia fruticosa* en sectores Tilopozo y La Punta y La Brava.**



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;

Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019;

Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016.

Fuente: Elaboración propia.

c. Variación de la salinidad en transectas

La **Figura N° 12-119** presenta la variación del promedio anual de las coberturas absolutas de afloramientos salinos registradas durante monitoreos semestrales para el periodo 2016 a 2019 (M1 a M6), en las 18 transectas distribuidas en seis formaciones azonales de seguimiento del sector.

En el sector, el herbazal de *S. californicus*, registra 0% de cobertura salina; mientras que el herbazal *D. spicata* registran rango promedio más alto entre 47% a 93% (exceptuando la T27 que registra bajo recubrimiento salino; **Figura N° 12-119**).

En el sector, el herbazal de *S. californicus*, registra 0% de cobertura salina; mientras que el herbazal *D. spicata* registran rango promedio más alto entre 47% a 93% (exceptuando la T27 que registra bajo recubrimiento salino; **Figura N° 12-119**).

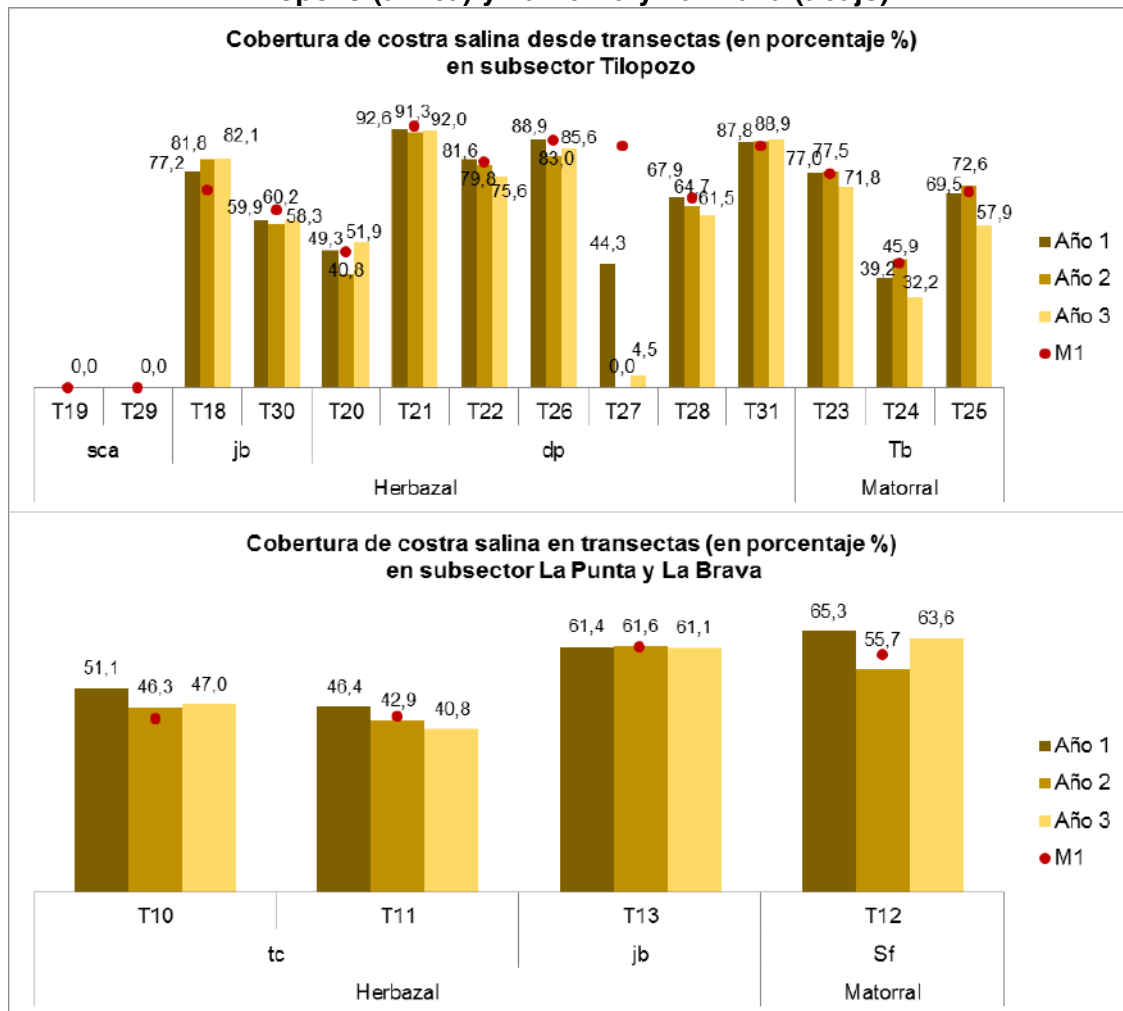
La mayor parte de las transectas de monitoreo del sector, registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento, con variaciones en promedio inferiores a un 10% en esta cobertura. Mientras que la T27 y T18 registran un descenso e incremento con promedio de -81% y +14% respectivamente, durante monitoreos y respecto a M1.

El marcado descenso de la cobertura salina en la T27 de herbazal *D. spicata* del subsector Tilopozo, se relaciona principalmente con una baja en la salinidad del suelo durante los monitoreos de verano 2017 a invierno 2018 (M2, M3, M4 y M5), seguido por una recuperación en el periodo pos-estival en verano de 2019. No obstante, se registra estabilidad de su cobertura vegetal, dado que la cobertura salina se modifica principalmente con la cobertura del recubrimiento terroso (no salino).

Respecto al aumento de la cobertura de afloramiento salino con promedio de 13,8% en la T18 (herbazal de *J. balticus* en subsector Tilopozo), se relaciona directamente con el menor valor registrado en M1 (70,6%), ya que desde M2 a M6 la cobertura de afloramientos salinos es estable entre 80,6 y 83,8%, por lo que no estaría asociado a un cambio a nivel de sustrato, ya que se siempre se ha registrado un sustrato no saturado.



**Figura N° 12-119. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en los subsectores Tilopozo (arriba) y La Punta y La Brava (abajo).**



Especies dominantes en formaciones monitoreadas: **sca**: *Schoenoplectus californicus*; **dp**: *Distichlis spicata*; **jb**: *Juncus balticus*; **tc**: *Triglochin concinna*; **Tb**: *Tessaria absinthioides*. **Sf**: *Sarcocornia fruticosa*.

Promedio anual de coberturas **Año 1**: M1 y M2; **Año 2**: M3 y M4; **Año 3**: M5 y M6.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, según la evaluación de relaciones entre las coberturas de vegetación y de afloramientos salinos (medidas en transectas) con la concentración salina del suelo (conductividad eléctrica y salinidad, medidas en la componente suelos), durante los monitoreos 2016-2019, se registra una relación inversa entre la cobertura vegetal y la salinidad del suelo en las formaciones del subsector La Punta (detalles en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.3**). Este resultado sugiere una menor resiliencia de la actividad y cobertura vegetal a la concentración salina del suelo en este subsector, el cual además posee una baja salinidad, según parámetros de conductividad eléctrica registrados usualmente en el rango ligeramente salino (2.000 - 4.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y salinidad inferior a 10.000 mg/kg.

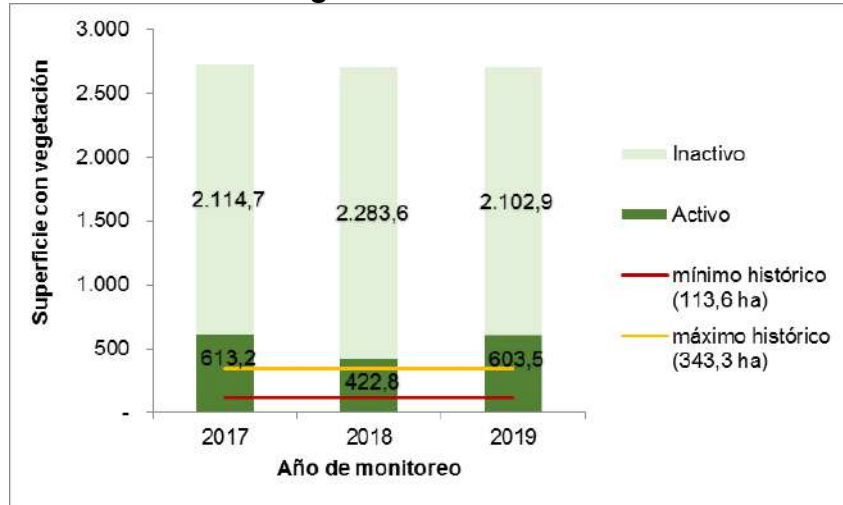
Respecto a las correlaciones con la cobertura de afloramientos salinos, la T10 (herbazal de *T. concinna* en subsector La Brava) registra correlación significativa proporcional (signo positivo) con la concentración salina en el suelo. A la vez, esta formación presenta variaciones significativas de descenso en la cobertura vegetal, por lo que en parte esta baja, se puede asociar con la amplia variación en la salinidad del suelo, según registros de la conductividad eléctrica que tiene un rango desde Ligeramente a Extremadamente salino (3.490 a 18.890  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo cual puede afectar el sustento de la actividad y cobertura en esta formación (detalles en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.3**).

#### 12.8.1.1.2 Cobertura de vegetación activa (NDVI)

La evaluación comparativa de la **cobertura vegetal activa obtenida con el NDVI de imágenes alta resolución** de verano 2017-2019, entre los valores de línea de base y de monitoreos, reflejan la mantención del estado ecológico, con mayores coberturas en relación al rango histórico, tanto para el sector general como en la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector (**Figura N° 12-120 y Figura N° 12-121**, ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1**).

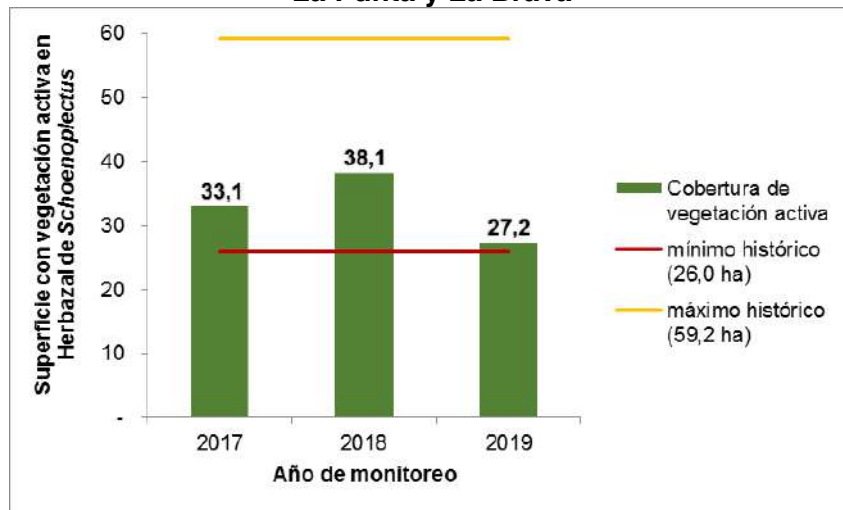
Durante los monitoreos anuales 2017-2019, en el sector prevalece la cobertura vegetal inactiva o bien, son bajas las coberturas vegetales, siendo imperceptibles para el sensor de donde se obtienen los valores del NDVI. La superficie vegetal inactiva en el sector registra valores entre 2.102,9 y 2.283,6 hectáreas, esto equivale entre un 78% a 84% de la superficie COT con vegetación (**Figura N° 12-120**; detalle de evaluación interanual entre monitoreos mediante el análisis de recurrencia en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2**).

**Figura N° 12-120. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2019, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava en superficie con vegetación del sector.**



Fuente: Tabla N° 2 38. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos de Landsat y alta resolución por sector, Informe Anual N° 3. Monitoreo invierno 2018 – Verano 2019 Plan de Manejo Biótico.

**Figura N° 12-121. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2019, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava**

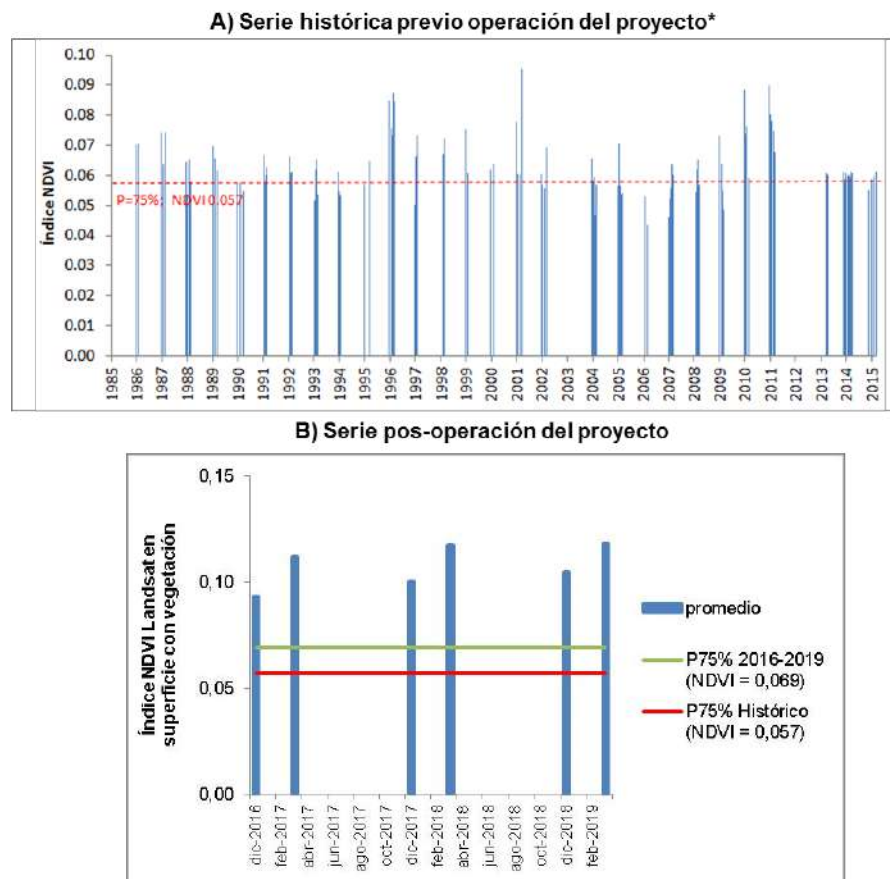


Fuente: Informes anuales de seguimiento PMB Albemarle (2017 y 2018) y valores históricos de línea de base según Tabla 5.3 "Resumen de registros máximos y mínimos propuestos para monitoreo de vegetación y cuerpos acuáticos, mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana", del Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015.

De manera totalmente adicional, pero que permite el análisis comparativo con registros históricos, se compararon los **valores del NDVI de imágenes Landsat con probabilidad de excedencia de 75%** según lo señalado en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5. Este corresponde al valor que es superado un 75% de las veces, como el límite para detectar si el sistema presenta una vigorosidad relativamente baja respecto a su comportamiento histórico (ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.3**).

La **comparación del NDVI Landsat**, para el periodo operación y durante las temporadas estivales (diciembre-marzo) 2016-2019, reflejan la mantención del estado ecológico, según el valor del NDVI con probabilidad de excedencia de 75% superior al histórico tanto en la superficie con vegetación del sector como en la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector (**Figura N° 12-122 y Figura N° 12-123**). Esta tendencia indica una mayor actividad vegetal en el sector para el periodo operacional.

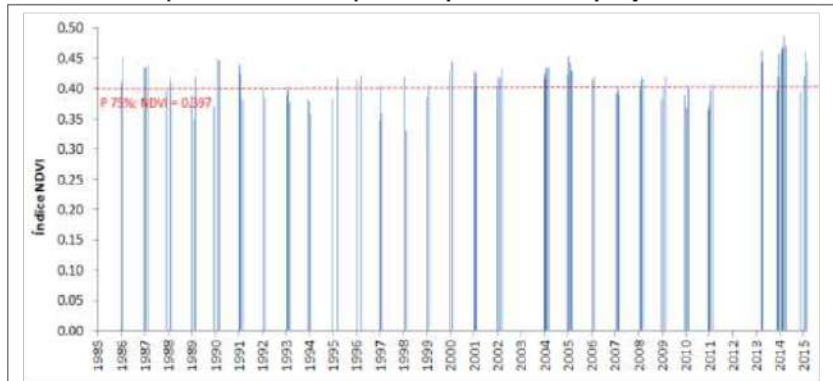
**Figura N° 12-122. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas invernales (diciembre 2016 – marzo 2019) en la superficie con vegetación del sector Tilopozo- La Punta y La Brava.**



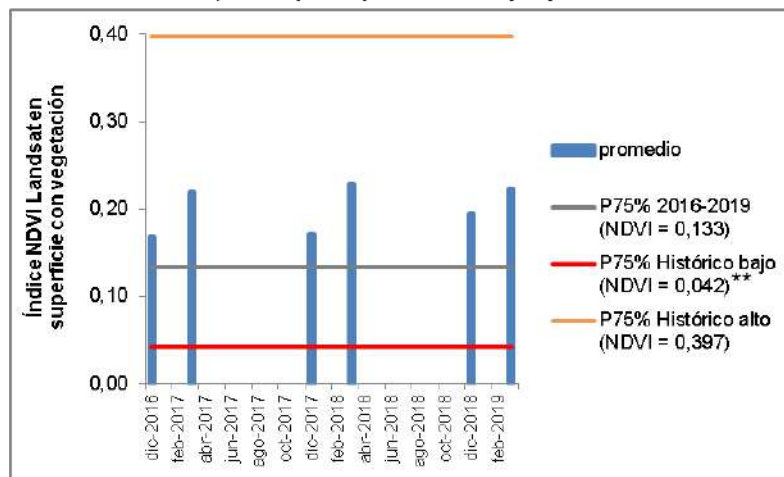
**Nota:** \* Valores históricos: de **Figura 4.1. “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Tilopozo, estimado sobre el Polígono de vegetación Tilopozo (COT). Se indica probabilidad de excedencia NDVI de 75%”** y según **Tabla 5.1 “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).**

**Figura N° 12-123. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas invernales (diciembre 2016 – marzo 2019) en el sector Tilopozo- La Punta y La Brava.**

**A) Serie histórica previo operación del proyecto\***



**B) Serie pos-operación del proyecto**



**Nota:** \* Serie histórica: de **Figura 4.2.** “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Tilopozo, estimado sobre el Polígono Tilopozo Herbazal Muy Denso de *Schoenoplectus*. Se indica probabilidad de excedencia NDVI de 75%.” y \*\* Valores de comparación histórica en **Tabla 5.1** “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del **Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015)**.

Asimismo, también de manera complementaria a lo exigido al PMB, se realiza un **análisis de recurrencia de las coberturas de vegetación activa obtenidas a partir del NDVI de imágenes de alta resolución (2017-2019)**<sup>34</sup>, con el objetivo de analizar el comportamiento multitemporal de esta cobertura, utilizando las superficies obtenidas para los 3 años de monitoreo en el periodo marzo – abril<sup>35</sup>. Este análisis, tiene como fin determinar las áreas de

<sup>34</sup> **Nivel de recurrencia** se refiere al número de superposiciones de una misma condición de análisis, es decir la presencia en seguimientos sucesivos, en este caso de la cobertura vegetal activa obtenida desde el índice NDVI en los monitoreos anuales de verano (post-lluvia) 2017, 2018 y 2019.

<sup>35</sup> Se refiere como **comportamiento multitemporal** a las variaciones espaciales y temporales entre los tres monitoreos, ya que para evaluar una tendencia estadística se requieren de mayor cantidad de datos. Por lo mismo, esto último se analiza posteriormente con los datos provenientes de imágenes Landsat para un periodo de 10 años, 2009-2019.

superposición resultantes que representan el nivel variabilidad o estabilidad espacial de la actividad vegetal en las formaciones de seguimiento. En la **Figura N° 12-124** se presentan los casos representativos de formaciones con alta variabilidad o inestabilidad en su cobertura activa, el detalle del análisis de recurrencia del sector se puede revisar en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.**

Según análisis de recurrencia de la cobertura activa en las formaciones de seguimiento del sector, la superficie que ha reflejado actividad según el NDVI en alguno de los monitoreos es de 687,6 hectáreas, equivalente a un 32,5% del total azonal en el sector (**Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.a**).

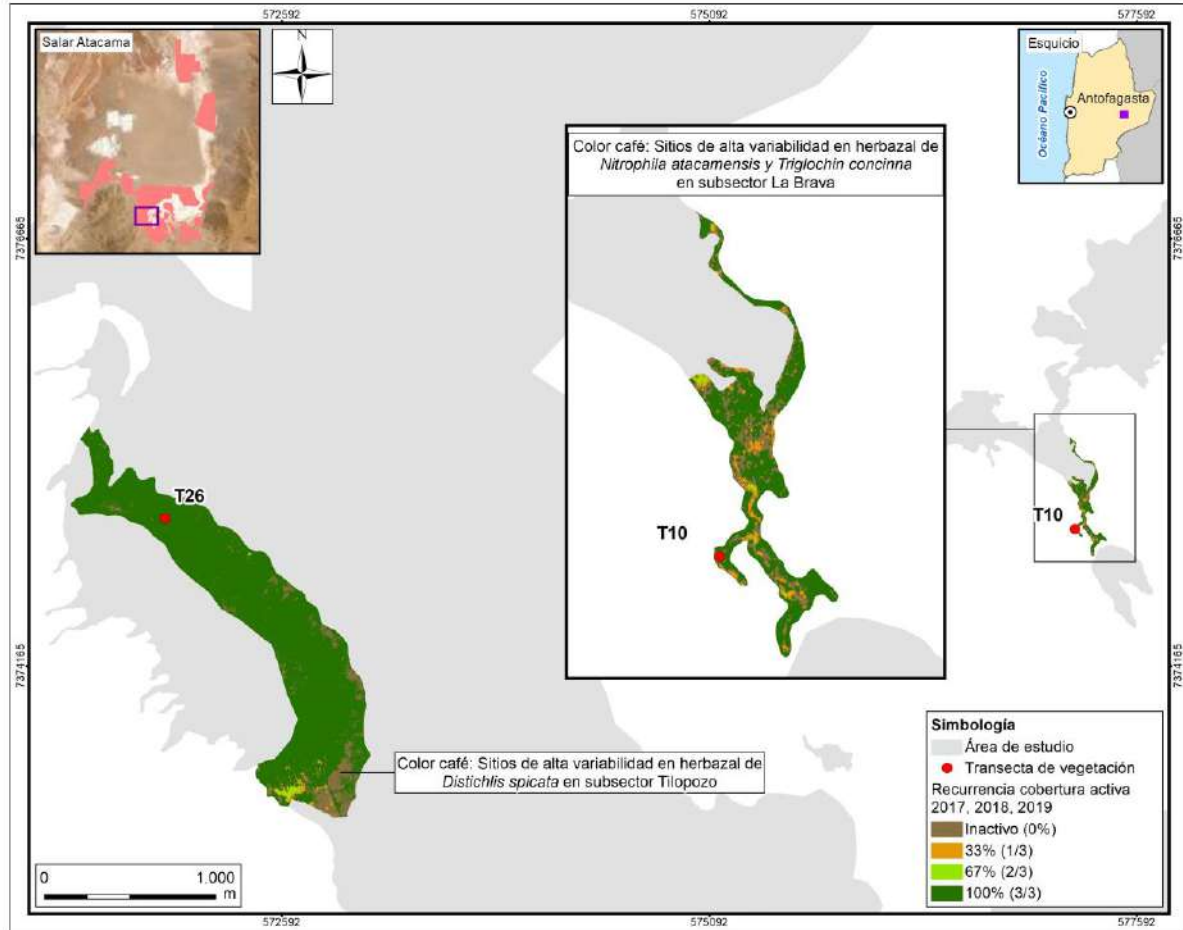
Entre las formaciones azonales en seguimiento del sector, aquella con mayor estabilidad en su cobertura activa es el herbazal de *S. californicus* del subsector Tilopozo, dado que registra la proporción más alta de 31% (22,3 hectáreas) con superficie en nivel de recurrencia de 100%, indicando actividad en 3 de los 3 monitoreos evaluados. Por el contrario, aquellas con menor nivel de recurrencia de la cobertura activa (recurrencia entre 0% a 33%), lo cual refleja una alta variabilidad o inestabilidad en su actividad o vigor, son: matorral de *T. absinthioides* y herbazal de *D. spicata* en subsector Tilopozo y, herbazal de *Triglochin concinna* en subsector La Brava (detalle de análisis de recurrencia del sector en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.a**; **Figura N° 12-124** presenta casos representativos de formaciones con alta variabilidad o inestabilidad en su cobertura).

También, se realizó la **comparación de la tendencia a escala interanual del NDVI Landsat** para el periodo pre-operacional (2009-2016) y operacional (2016-2019) en las formaciones azonales de seguimiento en el sector (ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.4**). En la **Figura N° 12-125**, se presenta la serie temporal obtenida del NDVI de imágenes Landsat para el período 2009 – 2019. De los datos de NDVI se tiene que para todas las formaciones se presenta una variación que partió con un estado bajo de NDVI promedio, y fue ascendiendo hasta el año 2015. En ese momento se produjo una baja de NDVI la que a partir de fines del año 2016 vuelve a ascender manteniendo su comportamiento observado entre los años 2011 al 2015. Cabe destacar la condición previa al 2011 de NDVI bajos, para todas las formaciones, situación que no se ha dado en los últimos 3 años.

La evaluación de la tendencia interanual del NDVI Landsat, registra un ascenso en ambos periodos de estudio en todas las formaciones vegetales monitoreadas. Este resultado sugiere una estabilidad en la actividad/vigor de la vegetación, incluso con una leve tendencia al ascenso en las formaciones de monitoreo en el sector (**Figura N° 12-125**).

Durante el periodo operacional, el NDVI Landsat registra un periodo de baja entre diciembre 2015 a diciembre 2016, coincidente con la realización de los monitoreos MB0 y M1 de transectas del proyecto, sugiriendo la ocurrencia de un evento anómalo en la actividad de la vegetación en este periodo. Esta menor actividad, principalmente se reflejó en las formaciones de herbazales de *S. californicus* y de *T. concinna* y matorral de *S. fruticosa* del sector (**Figura N° 12-125**).

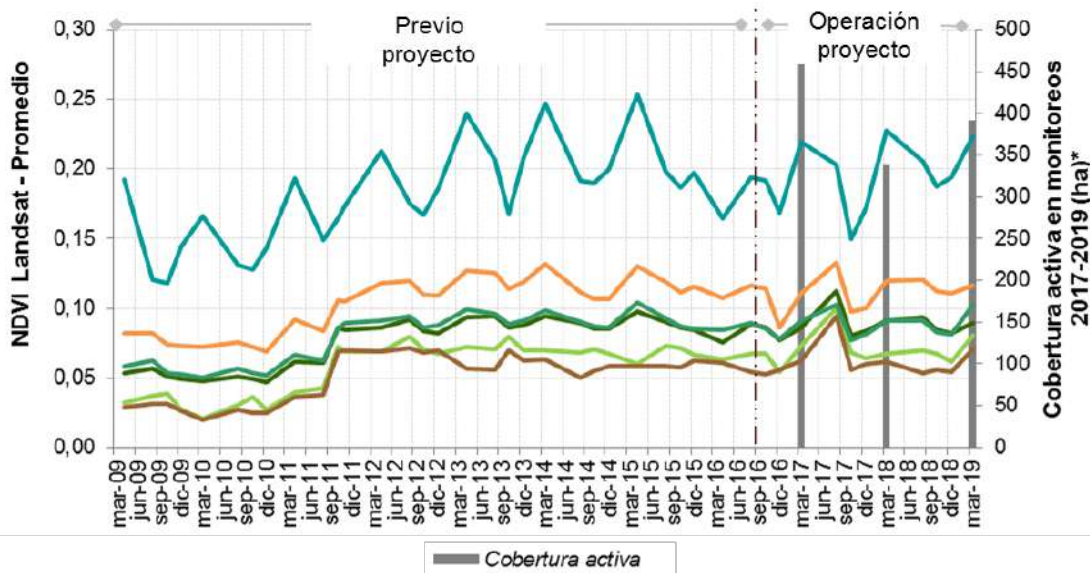
**Figura N° 12-124. Evaluación interanual de la cobertura activa obtenida del índice NDVI en los monitoreos anuales de verano (post-lluvia) 2017, 2018 y 2019: análisis del nivel de recurrencia en sitios estables y con variabilidad alta dentro de las formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava.**



Fuente: Elaborado en base a coberturas de vegetación activa según monitoreos anuales de verano post-lluvia 2017, 2018 y 2019. Reportadas en Informes anuales del Plan de Manejo Biótico: Albemarle (2017) y Albemarle (2018).

Si bien en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5, se indica que los resultados de la cobertura vegetal se compararán con la *Figura 4.4* de éste mismo. Lo anterior no es comparable ya que el compromiso del monitoreo se realiza mediante imágenes de alta resolución y en el apéndice se expone con imágenes Landsat.

**Figura N° 12-125. Series de tiempo del NDVI Landsat 2009-2019 y evaluación de tendencias interanuales (test Mann-Kendall) en los periodos histórico (previo al proyecto 2009-2016) y total, en formaciones vegetales monitoreadas del sector Tilopozo- La Punta y La Brava.**



**NDVI de imágenes Landsat**

— Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	— Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>
— Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	— Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>
— Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	— Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>

**Test Mann-Kendall: Evaluación de tendencias interanuales en el NDVI Landsat**

Formaciones vegetales monitoreadas	Previo proyecto (2009-2016)			Periodo Total (2009-2019)		
	n	p-value	S	n	p-value	S
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	29	0,000*	198	41	0,001*	298
Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	29	0,017*	128	41	0,044*	180
Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	29	0,001*	180	41	0,002*	282
Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	29	0,002*	170	41	0,009*	234
Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	29	0,001*	180	41	0,001*	302
Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	29	0,004*	156	41	0,012*	224

Donde: \* **p-value < 0,05** indica tendencia significativa con nivel de significancia de 95%.  
**Parámetro S:** un valor positivo del es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo.

**Nota:** \* Superficies de cobertura activa en formaciones monitoreadas, obtenidas durante monitoreos anuales con el NDVI de imágenes de alta resolución 2017, 2018 y 2019. Formaciones vegetales monitoreadas según homologación de la COT en base a monitoreos de transectas (detalle en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2**).

Fuente: Elaboración Propia.



Por último, al relacionar los resultados de transectas con las variaciones en el NDVI, se observa similar tendencia con respecto a variaciones importantes<sup>36</sup>, específicamente en dos formaciones del sector para los tres años de monitoreo:

- La formación herbazal de *D. spicata*, T26 en Tilopozo, con registro de un 89% (89,2 hectáreas) de cobertura inactiva y con tendencia a la baja de las coberturas durante los monitoreos, a pesar de no ser consecutiva, acorde a los datos de la transecta presente al interior de esta unidad.
- La formación herbazal de *T. concinna*, T10 en La Brava, presenta una disminución en la cobertura vegetal (evaluada mediante transectas), acompañada de una alta proporción de cobertura inactiva según el NDVI.

### 12.8.1.2 Superficie de Lagunas

#### 12.8.1.2.1 Comparación con los registros de línea de base

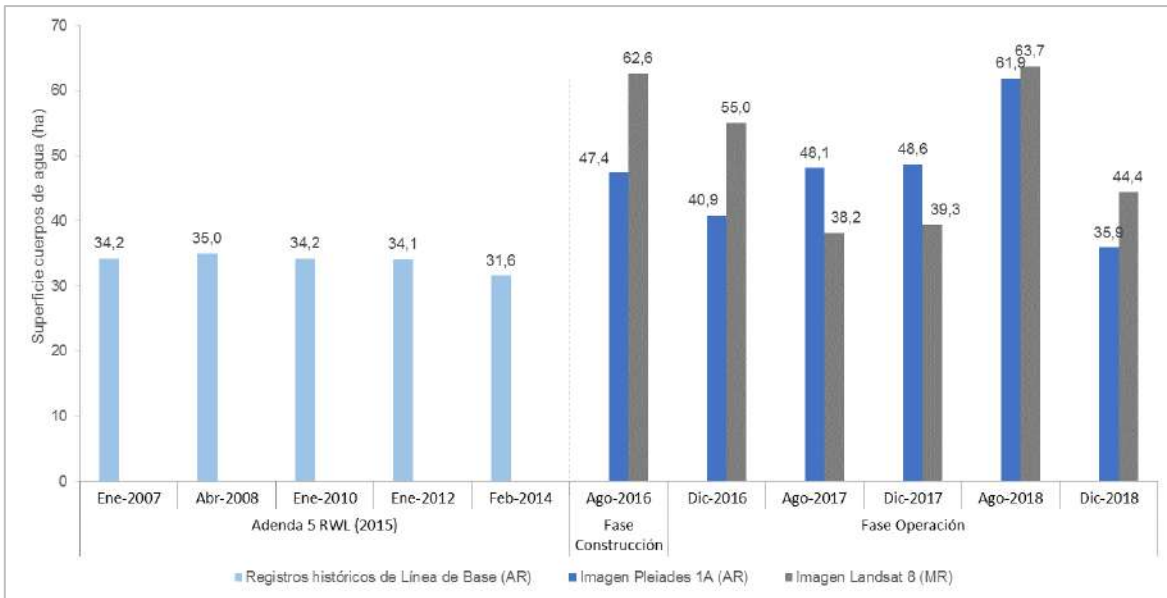
En el sistema lagunar La Punta y La Brava, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en diciembre de 2018 es de 35,9 ha y en agosto 2018, abarca una superficie de 61,9 ha. La comparación con el registro mínimo histórico de línea de base (31,6 ha), estimado desde este mismo tipo de imágenes satelitales (Adenda 5 RWL, 2015), indica que la cobertura del área de lagunas de diciembre 2018 es mayor en +4,3 ha (13,6%), y la cobertura de agosto de 2018 es mayor en +30,3 ha (96%). La **Figura N°12-96** muestra la comparación de las superficies calculadas con los registros históricos en este sistema hasta la fecha, en que todas las áreas estimadas entre 2016 y 2018 se encuentran por sobre el mínimo de línea base<sup>37</sup>.

De manera complementaria, se realizó un análisis de recurrencia con el fin de dimensionar el comportamiento temporal de las superficies cubiertas por lagunas y, así, definir aún más la evolución de las superficies lagunares, que en base a esta disgregación pueden ser también clasificadas en estratos “permanentes”, “no permanentes” y “otros recubrimientos” del sistema lagunar de La Punta y La Brava (**Figura N° 12-127; Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.1**).

<sup>36</sup> Variaciones importantes se refieren a aquellas evaluadas estadísticamente significativas, según nivel de confianza mayor a 90%, para mayor detalle revisar **Anexo I en secciones 2.2. y 3.4.2.**

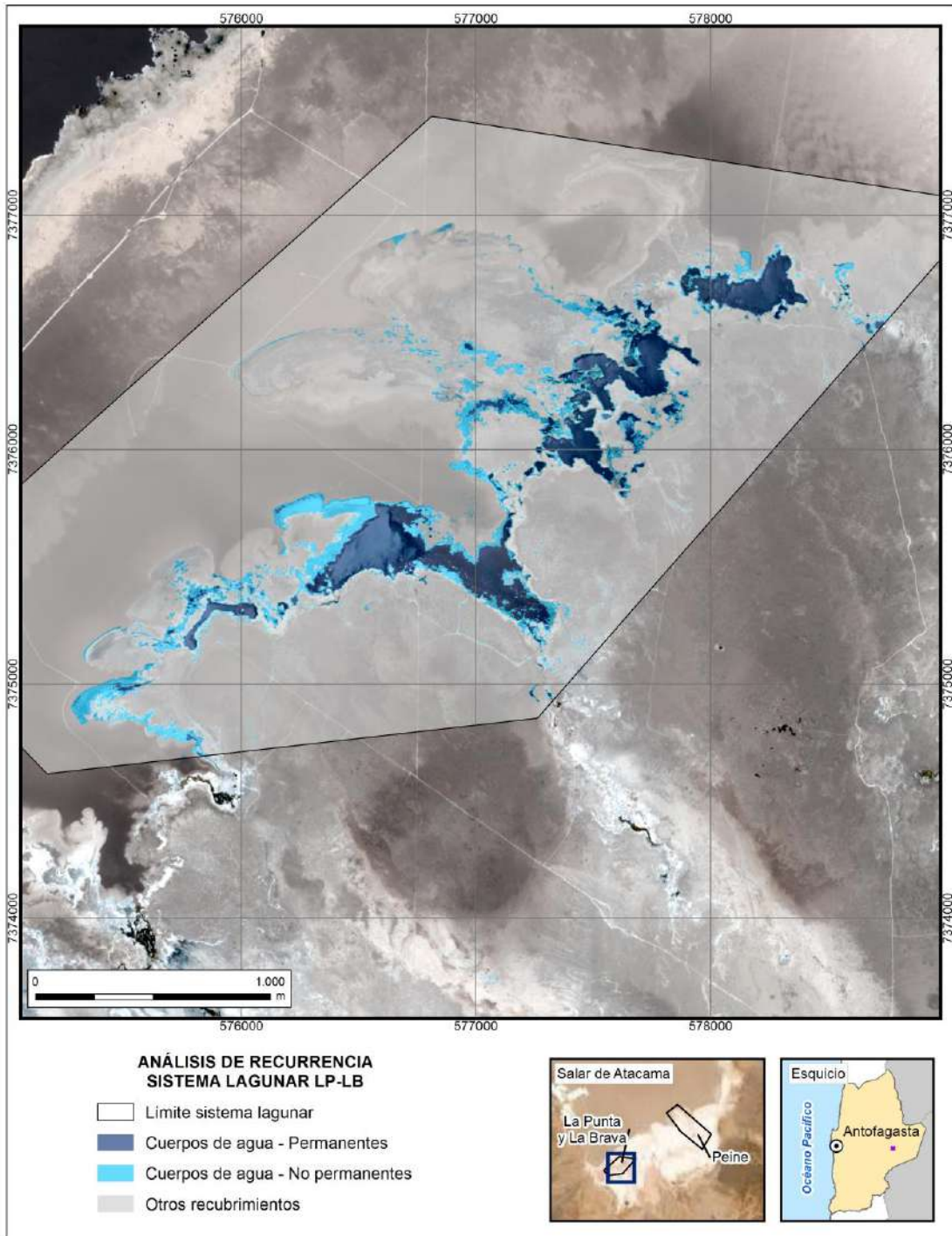
<sup>37</sup> Informe Consolidado Anual N°3 Área de Lagunas – PMB, sección 6.1.1.a

**Figura N°12-126. 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.

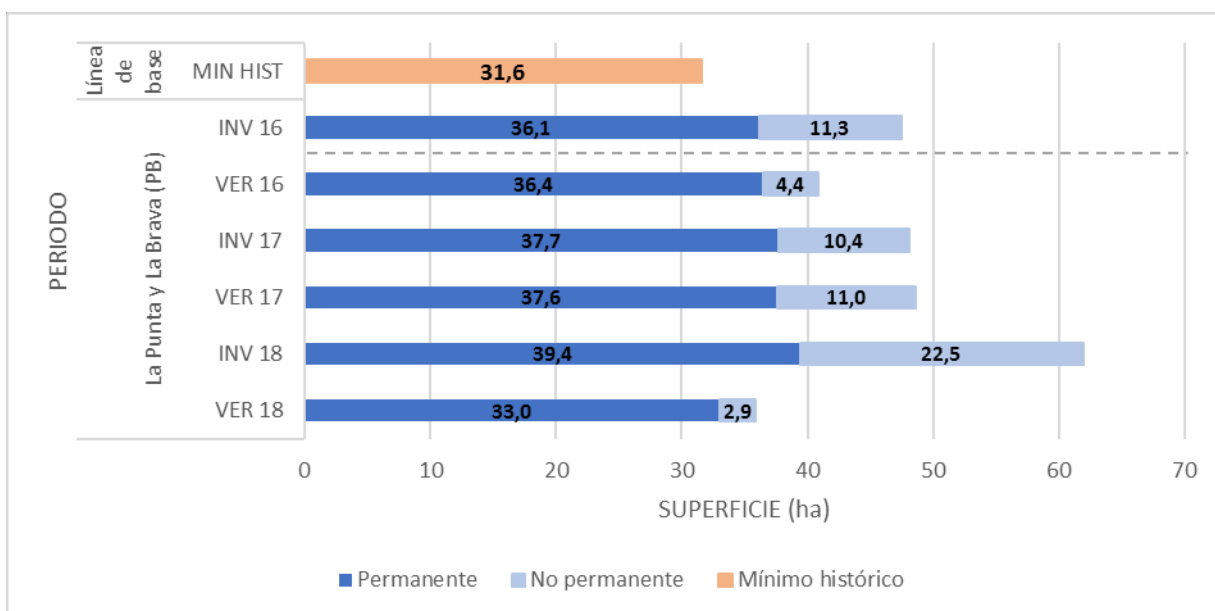
**Figura N° 12-127. Clasificación de estratos según análisis de recurrencia, sector La Punta y La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia.

A partir de este análisis se observa que en el sector de La Punta y La Brava la mayor variación se presenta en las superficies “no permanentes”, principalmente en bordes lagunares y al Norte y Oeste del sistema. Se destaca además que, en suma, las superficies “permanentes” y “no permanentes” están por sobre el mínimo histórico (febrero de 2014) (la cual incluye tanto las áreas permanentes como las áreas no permanentes en su color naranja) como se ha reportado hasta el tercer año de monitoreo, e incluso sólo las superficies “permanentes” están por sobre esa cifra y que las diferencias intranuales se presentan mayormente como un incremento de las superficies “no permanentes” en invierno en comparación con las mismas en verano, mostrando la mayor diferencia entre invierno y verano de 2018, lo que puede ser parte de la dinámica natural del sistema y no así entre el invierno y verano de 2016 que es también entre la etapa de construcción y operación del proyecto (**Figura N°12-128**).

**Figura N°12-128. Superficies permanentes y no permanentes, en comparación con mínimo histórico, sector La Punta y La Brava.**



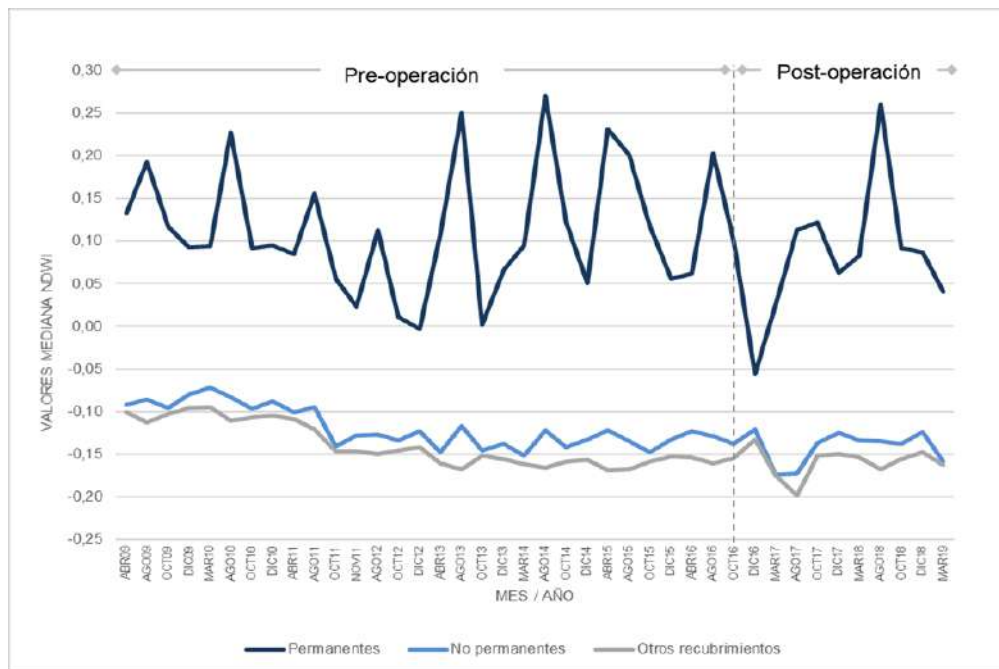
Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un análisis multitemporal para el sector de La Punta y La Brava, para definir una condición de referencia y comprender el funcionamiento del ecosistema en estudio, esto dentro de algunos límites específicos que indican un estado determinado de éste, su dinámica y/o trayectoria, a una escala espacial y temporal definida para la observación (Jax, 2010); lo anterior en base a los valores de los índices NDWI y NDVI que pueden detectar cuerpos de agua (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.2**).

En este contexto, la serie de tiempo calculada para este sector de La Punta y La Brava de acuerdo con los valores del NDWI, indica una trayectoria hacia el descenso, que no es

significativa para el estrato “permanente”, sin embargo, si es significativa para los estratos “no permanente” y “otros recubrimientos” (**Figura N°12-129**). Esta condición general se mantiene en el escenario post operación del proyecto, denotando sólo un cambio en la magnitud de la significancia o *p-value* del estrato permanente debido a la diferencia en la cantidad de datos (**Figura N°12-129**). Una observación complementaria es que la trayectoria significativa al descenso de los estratos “no permanentes” y “otros recubrimientos” puede explicarse por la variación en profundidad de los cuerpos de agua, particularmente en áreas de aguas someras o sólo con humedad estacional, lo que se traduce en valores bajos del índice, asociados a la ausencia de agua. Cabe señalar que este índice presenta una mayor estabilidad en la variación de sus valores en aguas más profundas que en cuerpos de agua más someros y suelos desnudos, por lo que es mejor indicador de cambios en profundidad (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.2**).

**Figura N°12-129. Variación temporal de valores de NDWI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector La Punta y La Brava.**



**Test Mann-Kendall: Evaluación de tendencias temporales de valores NDWI Landsat**

**ESTRATOS DE CUERPOS DE AGUA	Previo al proyecto (2009 - 2016)			Periodo total (2009 - 2019)		
	n	p-value	S	n	p-value	S
Permanentes	28	0,594	-28	40	0,395	-74
No permanentes	28	*0,000	-186	40	*0,000	-344
Otros Recubrimientos	28	*0,000	-246	40	*0,000	-382

Donde: \* **p-value < 0,05** indica tendencia significativa y nivel de significancia del 95%. **Parámetro S:** un valor positivo es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo.

\*\* En base al análisis de recurrencia detallado en el **Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 4.1.2**.

Fuente: Elaboración Propia

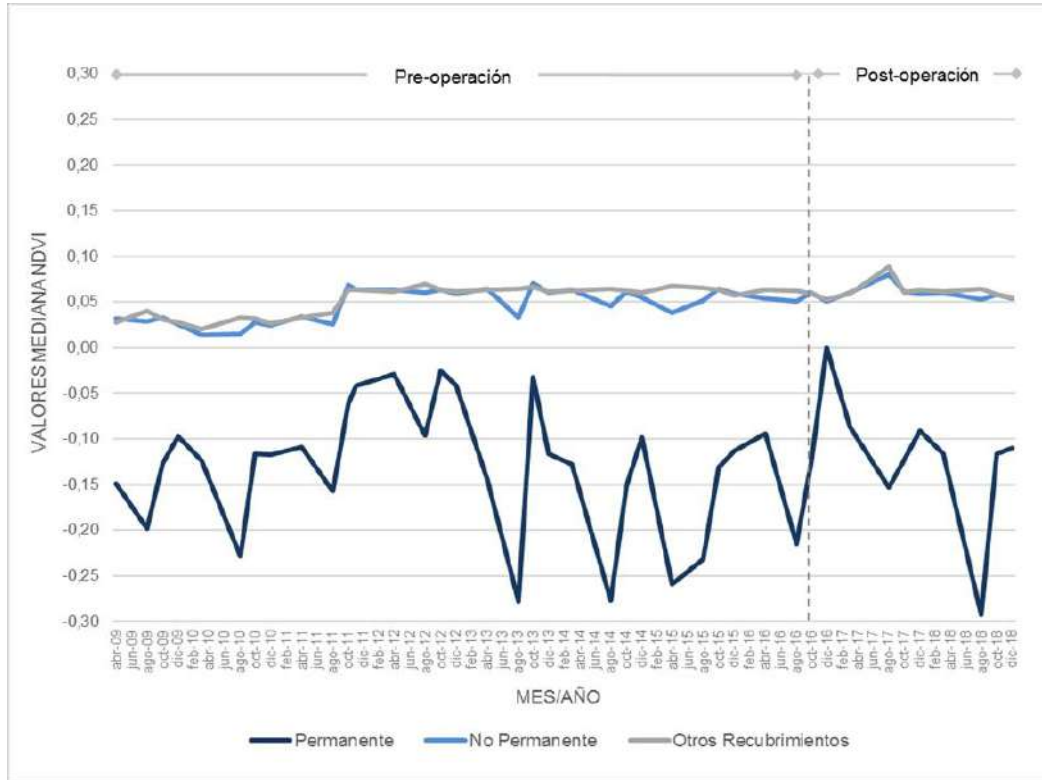
También, se realizó un análisis con el índice espectral NDVI, dado que permite discriminar entre recubrimientos de un suelo sobresaturado y con vegetación, por lo cual valida y complementa los resultados obtenidos con el NDWI. El NDVI en valores negativos de 0 a -1, detecta proporcionalmente suelos secos y/o desnudos, y presencia de cuerpos de agua; es decir valores cercanos a -1 reflejan mayor contenido de humedad típico de un suelo saturado a sobresaturado. Además, en el rango positivo 0 a 1, éste diferencia la detección de vegetación.

En cuanto a los valores del índice NDVI para este sector, éstos presentan una dinámica y trayectorias similares al índice descrito anteriormente, salvo que las tendencias ocurren en sentido positivo, indicando una situación pre-operacional equivalente a la situación post-operacional (**Figura N°12-130**). Cabe señalar que este índice presenta una mayor estabilidad en la variación de sus valores en aguas someras y suelos desnudos (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.2**).

Respecto a las mayores variaciones espaciales, o bien en qué lugares se producen dichas variaciones, en la serie de tiempo total para el sector de La Punta y La Brava desde el índice NDWI, éstas se presentan al interior de los estratos permanentes de los cuerpos lagunares, principalmente en las lagunas de La Punta y otros sectores de La Brava, esto se debe a que el NDWI muestra una muy buena correlación con valores principalmente de profundidad en cuerpos de agua más consolidados (Li, L. *et al*, 2015). Otras áreas cercanas muestran variaciones que configuran un gradiente de variaciones coincidentes de los estratos “no permanente” hasta el estrato “otros recubrimientos”, lo que se traduce en variaciones temporales de profundidad particularmente en bordes lagunares, y áreas al Norte y Oeste del sistema lagunar (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.3 y 3.1.4**).

En cuanto al mismo análisis para el índice NDVI para este sector, las mayores variaciones se presentan en las mismas áreas señaladas para el índice NDWI, salvo que las magnitudes y superficies de éstas son menores y el efecto de gradiente es mayor, lo que está relacionado a que el NDVI expresa una muy buena correlación con valores de profundidad y otras variables en cuerpos de agua someros, con humedad y suelo desnudo (Li, L. *et al*, 2015). Para ambos índices, el estrato “otros recubrimientos” es más estable, ya que describe suelos desnudos cubiertos de sal bastante estables en el tiempo (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.3 y 3.1.4**).

**Figura N°12-130. Variación temporal de valores de NDVI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector La Punta y La Brava.**



**Test Mann-Kendall: Evaluación de tendencias temporales de valores NDVI Landsat**

**ESTRATOS DE CUERPOS DE AGUA	Previo al proyecto (2009 - 2016)			Periodo total (2009 - 2019)		
	n	p-value	S	n	p-value	S
Permanentes	29	0,925	6	41	0,645	42
No permanentes	29	*0,017	128	41	*0,009	232
Otros recubrimientos	29	*0,000	192	41	*0,020	208

Donde: \* **p-value < 0,05** indica tendencia significativa y nivel de significancia del 95%. **Parámetro S:** un valor positivo es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo.

\*\* En base al análisis de recurrencia detallado en la **Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 4.1.2.**

Fuente: Elaboración Propia

### 12.8.1.3 Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava

Para el Sector La Punta-La Brava (LP-LB) se utilizan como datos de referencia los valores de línea base presentados en Anexo 2 de Adenda 5, que corresponden a los pozos BA-05, BA-07 y BA-16. Con los valores registrados y monitoreados en estos 3 años de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado para la variable: “que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.”

Los valores de línea base para este Sector LP-LB, corresponden a los registrados desde abril 2013 hasta Agosto del año 2015. Se incluye monitoreo desde agosto 2015 hasta marzo 2016, bajo la condición sin proyecto, de manera de darle continuidad al monitoreo. A este período más extenso se le ha denominado Período Histórico.

En la **Tabla N° 12-46**, se presentan los estadígrafos para los períodos considerados y en las **Figura N° 12-131**, **Figura N° 12-132** y **Figura N° 12-133**, se presentan las gráficas temporales y los promedios anuales de los niveles para cada período respectivamente.

**Tabla N° 12-46. Valores<sup>38</sup> Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector LP-LB**

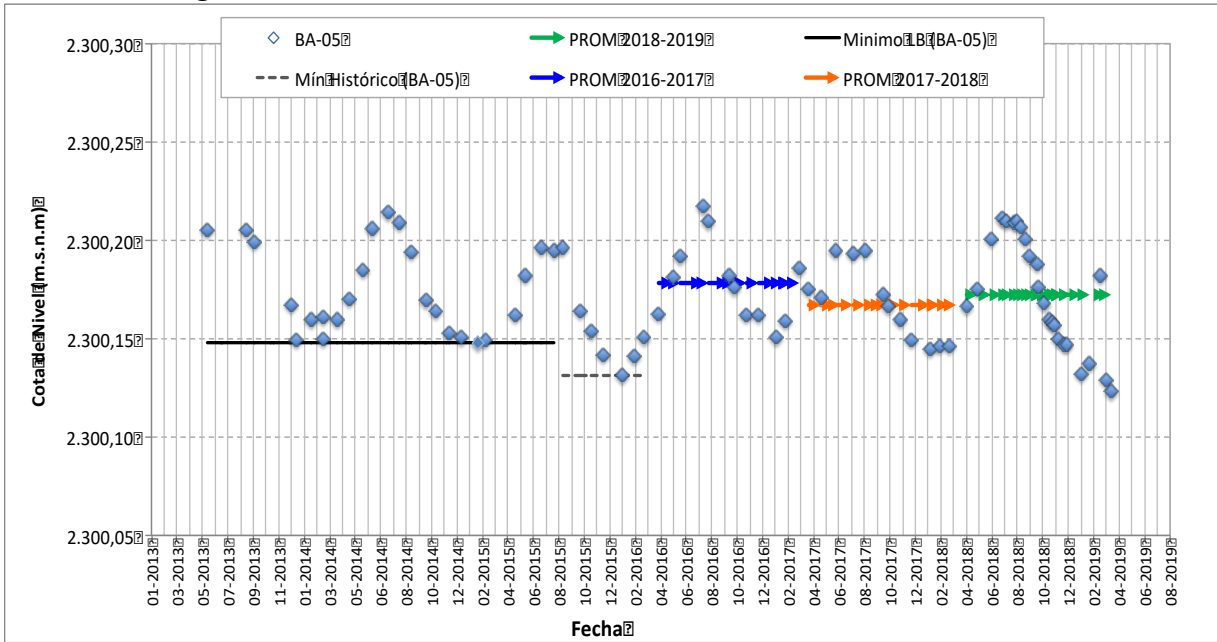
Punto	Período LB (m s.n.m) (Abril 2013 – Agosto 2015) Período Histórico (Abril 2013-Marzo 2016)		Abril 2016- Mar 2017 (m s.n.m)	Abril 2017- Mar 2018 (m s.n.m)	Abril 2018- Mar 2019 (m s.n.m)
	Mínimo LB	Mínimo Histórico	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual
BA-05	2.300,148	2.300,131	2300,178	2300,168	2.300,172
BA-07	2.299,990	2.299,990	2300,036	2300,024	2.300,022
BA-16	2.300,845	2.300,836	2300,876	2300,863	2.300,865

Fuente: Elaboración propia

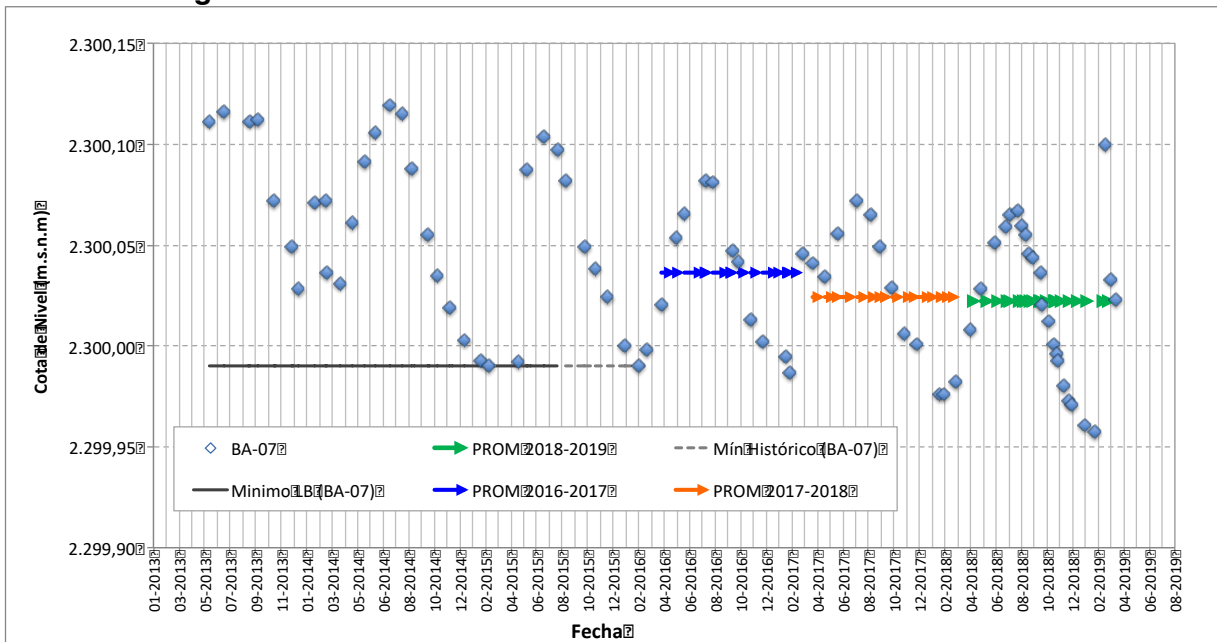
<sup>38</sup> Ver todos los datos y registros en “Anexo Niveles Freáticos” de este Informe Anual N°3 PMB.



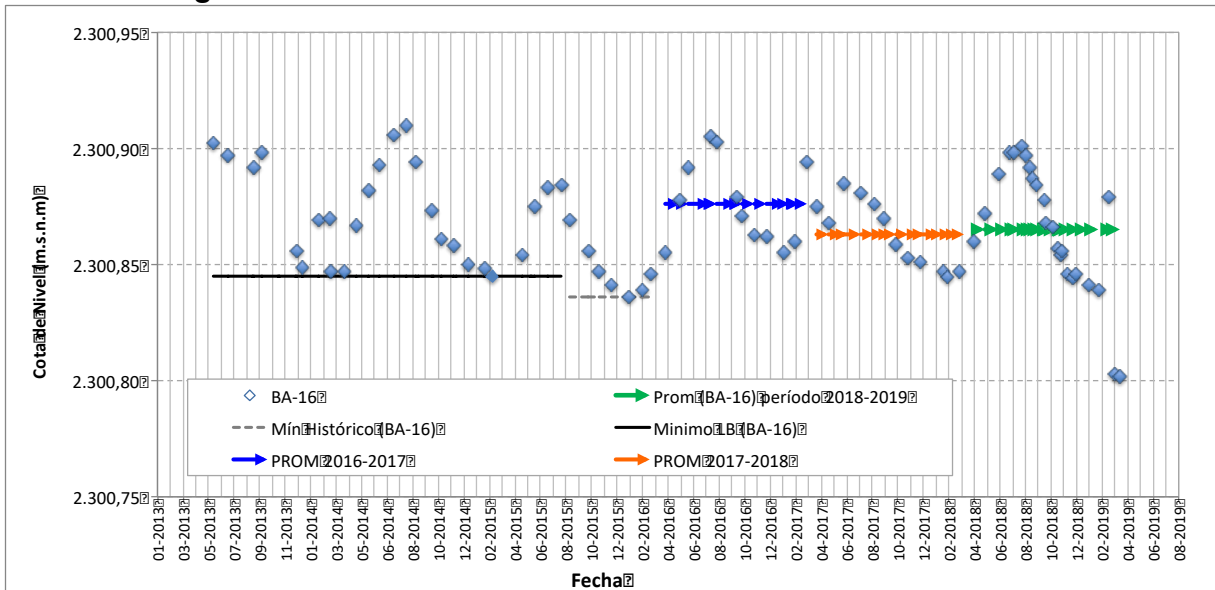
**Figura N° 12-131. Variación Niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB.**



**Figura N° 12-132. Variación Niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB.**



**Figura N° 12-133. Variación Niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB.**



Del análisis de tendencia para los 3 últimos años de monitoreo, se tiene que los niveles freáticos se presentan estables, con sus promedios anuales dentro del rango histórico para los 3 pozos del Sector LP-LB y por sobre el mínimo histórico.

Para el Barreno BA-07, se observa que cada año el promedio es menor, aun así están dentro del mínimo histórico.

**12.8.2 Sistema Peine**

**12.8.2.1 Vegetación azonal**

**12.8.2.1.1 Vegetación y Flora (Transectas)**

A continuación, se presenta el análisis de tendencia, a partir de la variación de la cobertura vegetal de las especies y por transecta a nivel de la formación vegetal, así como la variación en la posición de las especies para determinar las variaciones en la estructura comunitaria de la vegetación azonal.

a. Variación de la cobertura vegetal en sector y transectas

En la **Figura N° 12-134**, se puede observar la cobertura promedio de la vegetación en el sector de Peine, junto a la evolución de las coberturas de rastrojos, la cobertura de otros recubrimientos y la riqueza en los monitoreos de los primeros tres años de seguimiento, en referencia al **Monitoreo “0” realizado en Julio de 2016 (MB0)**.

En términos generales, de acuerdo a los resultados al tercer año de seguimiento en Peine, sector con mayor cobertura vegetal promedio, se observan variaciones dinámicas de la

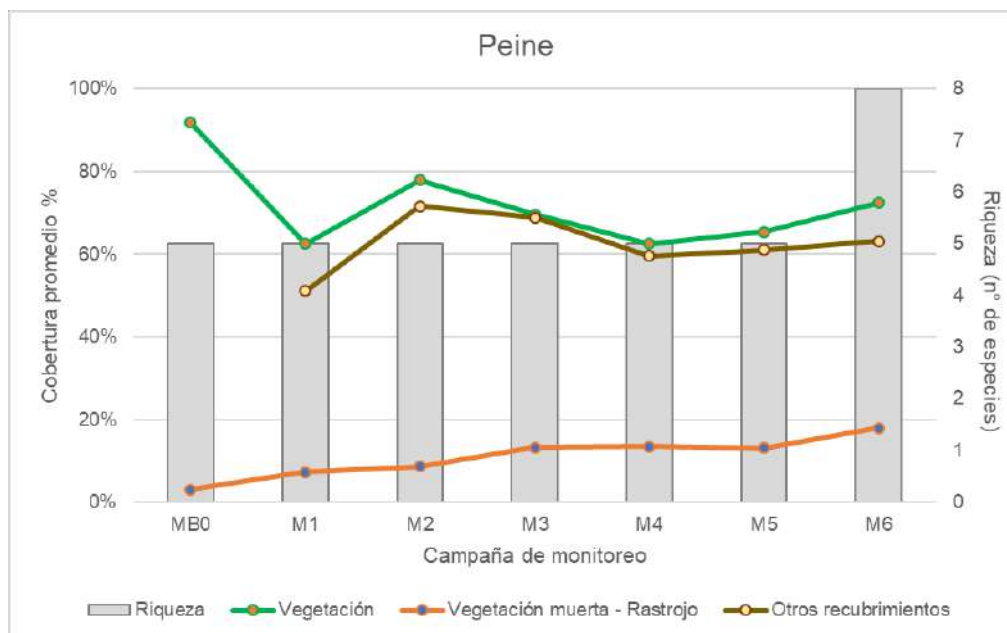
cobertura vegetal entre monitoreos (**Figura N° 12-134**), con: 91,8% en MB0, la cual baja a 62,5% en M1, subiendo en M2 a 77,9% de cobertura vegetal, desde donde se observa una baja a 62,5% en M4, y luego una recuperación en M5 (65,4%) y M6 (72,5%), esta última variación relacionada a la quema registrada en este sector y principalmente en el herbazal de *S. californicus* (detalle en **Anexo I de Vegetación y Flora**). De los datos se tiene que si se observa período de M1 a M6, la cobertura vegetal absoluta se mantiene dentro de los 62,5% y 77,9%, menores que el porcentaje de cobertura vegetal absoluta obtenido en la campaña inicial MB0.

En relación a la cobertura de rastros, se detecta un aumento de la cobertura promedio de rastrojo desde MB0, con rango desde 5,5% (en MB0) a 20,2% (en M6).

En cuanto a la cobertura de otros recubrimientos, este sector presenta variaciones moderadas, con un aumento inicial hasta M2 con 71,6% y luego una leve baja hasta M4 con 59,6%, desde donde se observa un aumento hasta llegar a 63,2% en M6. Presenta heterogeneidad de tipos de recubrimientos, destacando la superficie terrosa en matorrales de *T. absinthioides*, especialmente en T07 que no registra costra salina en ningún monitoreo.

Con respecto a la riqueza, se observa una estabilidad entre los monitoreos desde MB0 y los tres años de seguimiento (M1 a M5), o bien un aumento con respecto a la condición basal MB0, destacando el aumento de tres especies adicionales en el último monitoreo, las cuales no habían sido registradas en los monitoreos anteriores. Este aumento ocurrido en verano 2019 (M6) se trata de un registro puntual en una transecta de matorral de *T. absinthioides* en T07, y que probablemente la regeneración y aparición espontánea de estos elementos florísticos nuevos en la formación fue asociado al evento de mayor precipitación ocurrido en el verano de 2019. El matorral donde se registraron estas especies es de características más zonales, con una superficie de suelos más terrosos en la zona más sur del área de estudio del Salar, zona donde a nivel general se observó mayor aparición de una cobertura de especies herbáceas producto de las lluvias estivales (detalle de comparación estacional de las coberturas en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.1**).

**Figura N° 12-134. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en sector Peine.**



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019.

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura N° 12-135** se aprecian las coberturas absolutas de las transectas en los sectores Tilopozo y La Punta y La Brava, ordenadas por formación vegetal. Con respecto a la variación de la cobertura en las transectas en los tres años de monitoreo (2016-2019), se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos desde MB0 a M6.

El herbazal de *S. californicus*, presenta la mayor cobertura vegetal del sector (**Figura N° 12-135**). Si bien registra variaciones entre monitoreos, en general registran una cobertura absoluta cercana o sobre el 100%, aunque en la transecta T02 se observan unas disminuciones mayores en los monitoreos M1 y M5 (<80%). Se observa que para M1, la cobertura es muy inferior a la registrada en MB0, a pesar de que corresponden ambas fechas a invierno del mismo año (2016), esto puede deberse a la latencia de las especies que pudieran haber afectado el valor de cobertura vegetal en esta formación, sin embargo, en monitoreo siguiente (M2; verano post-lluvia 2017) se observa el ascenso pronunciado de la cobertura. Desde M1 a M6 en ningún monitoreo se observa una cobertura similar o superior a la de MB0, exceptuando T04 donde se observa una cobertura más estable entre M2 y M6. Por otra parte, T02 es la que presenta mayores fluctuaciones de cobertura entre monitoreos, aunque en M6 se observa un aumento importante a un 133,0% de cobertura absoluta.

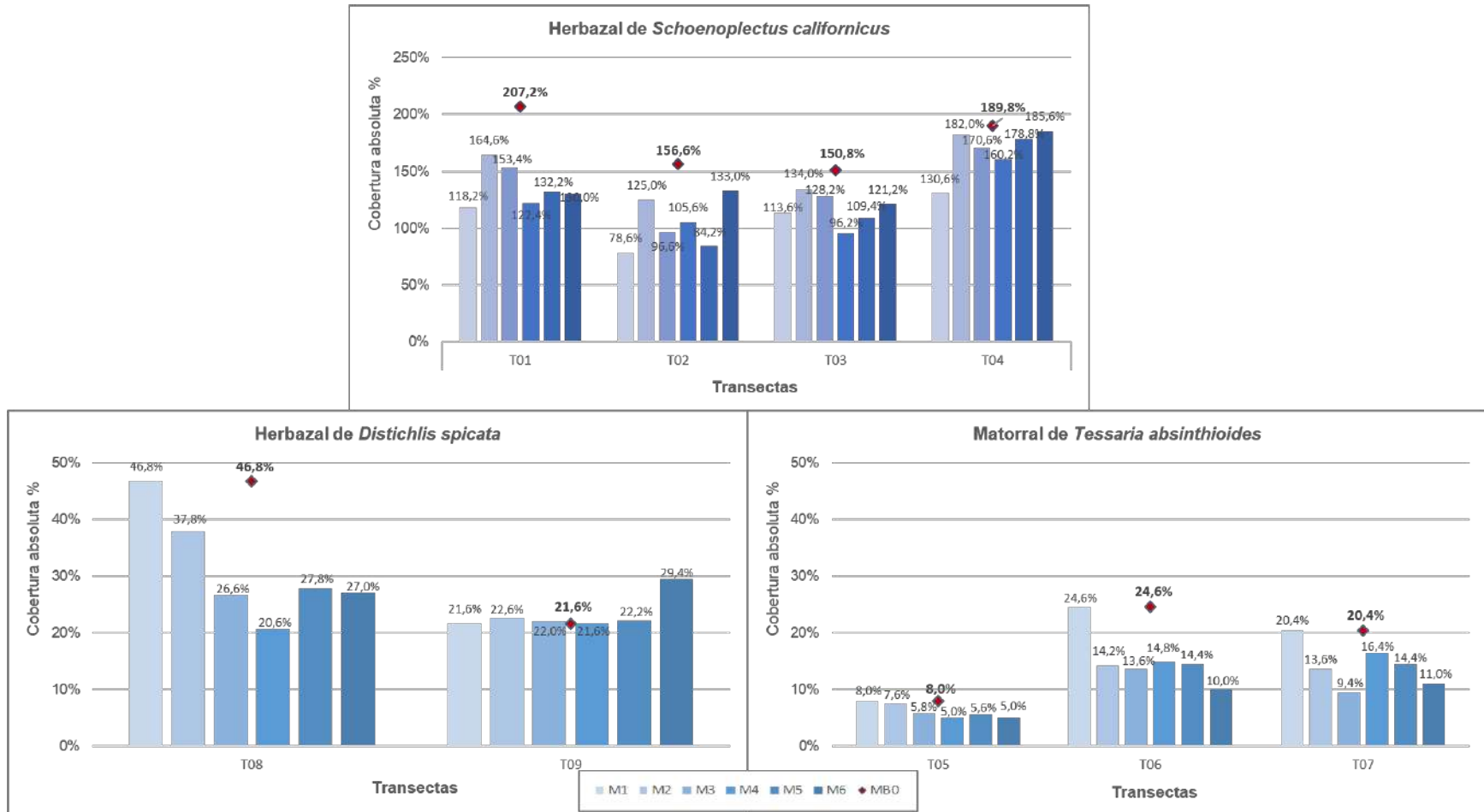
El herbazal de *D. spicata*, presenta dos situaciones (**Figura N° 12-135**). La transecta T08 muestra una menor cobertura desde M2 a M6 con respecto a MB0, aunque con una

---

variación intermitente, que demuestra un aumento en el tercer año de monitoreo (M5 y M6). La transecta T09, muestra mayor estabilidad, con coberturas similares entre MB0 y M5, y presentando un aumento en M6, superior a lo registrado en MB0.

En el matorral de *T. absinthioides*, también se observa una variación dinámica de la cobertura vegetal entre monitoreos, con una leve tendencia al descenso con respecto a MB0, en las tres transectas en el sector (**Figura N° 12-135**).

**Figura N° 12-135. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1, M2, M3, M4, M5 y M6 en el sector Peine.**



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019. Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 1-6, Anexo I Vegetación y Flora.

b. Análisis de la estructura comunitaria (composición de especies)

A continuación, se presenta el análisis de tendencia, a partir de la variación de la cobertura vegetal de las especies y la variación en la composición de las especies en referencia al número de intercepciones en la transecta (frecuencia), para determinar cambios en la estructura comunitaria de la vegetación azonal.

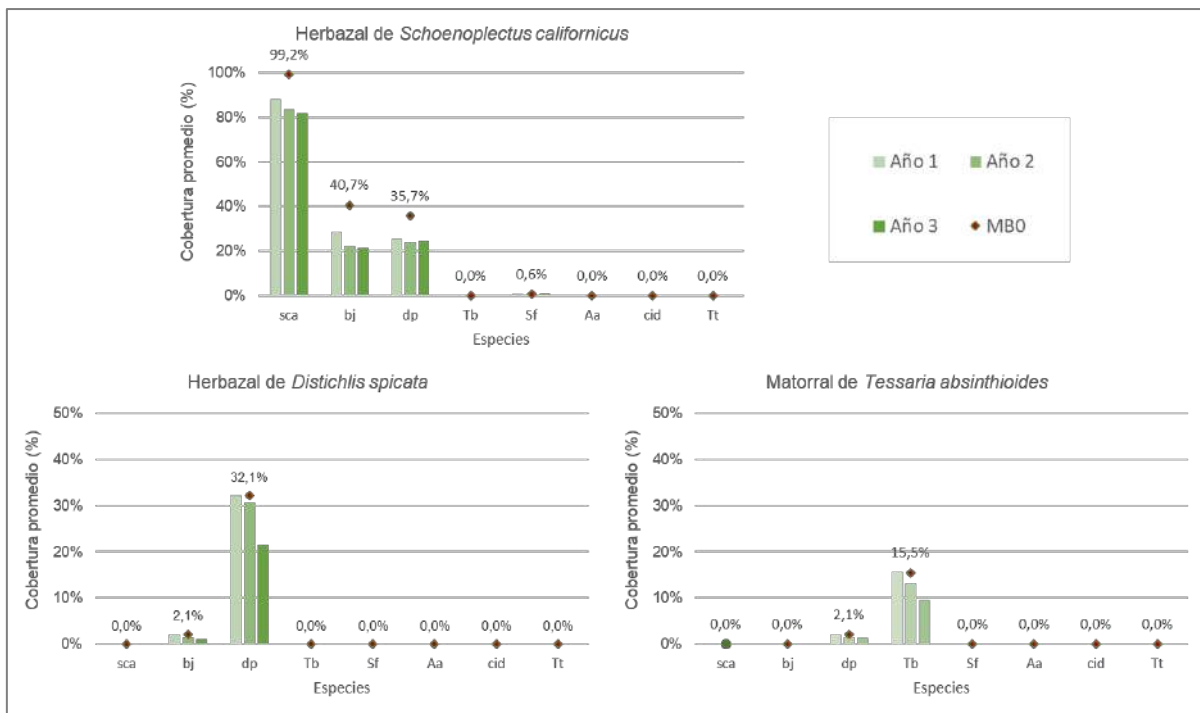
En relación a **la variación de la cobertura vegetal de las especies**, por una parte se analiza la cobertura promedio anual de las especies en relación al periodo inicial (MB0; invierno 2016) en **Figura N° 12-136**, y seguidamente, se analiza la variación de estas coberturas entre periodos, MB0-Año 1, Año 1-Año 2 y entre Año 2-Año 3<sup>39</sup>, detallando el análisis por formación vegetal para una mejor comprensión.

En el sector Peine, se registran ocho especies entre las formaciones vegetales en seguimiento, de las cuales tres especies son dominantes en cada una de las formaciones, las herbáceas *Schoenoplectus californicus* y *Distichlis spicata*, y el arbusto *Tessaria absinthioides*. En la **Figura N° 12-136** se presenta el promedio de la cobertura anual para estas ocho especies en las tres formaciones, ordenadas de mayor a menor cobertura en relación al sector, observando que *S. californicus* presenta la mayor cobertura promedio en los tres años, con una disminución de la cobertura promedio anual desde el primer año respecto a MB0, aunque se mantiene en una alta cobertura sobre un 80% en los tres años de seguimiento.

Para las otras especies, en general se observa una variación entre los años de monitoreo (**Figura N° 12-136**), observando que *D. spicata* presenta el mayor descenso en el año 3, representado por una variación de -9,1% desde el año 2, y disminuyendo un total de -10,6% respecto al valor inicial de MB0 en la formación donde domina. Si bien se observa un descenso hacia el último año en las otras especies, la cobertura promedio se encuentra cercana al valor inicial de MB0, representando variaciones negativas menores al 5% entre periodos de seguimiento.

---

<sup>39</sup> Esta comparación se realiza con la cobertura promedio entre los monitoreos de cada año: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6 y MB0: condición basal, invierno 2016. Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I, sección 2.2.**

**Figura N° 12-136. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales del sector Peine.**

Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, Tb: *Tessaria absinthioides*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Aa: *Atriplex atacamensis*, cid: *Cistanthe densiflora*, Tt: *Tiquilia atacamensis*.

Promedio anual de coberturas: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6 y MB0-M1: condición basal, invierno 2016.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a **la variación de la composición de especies a través de la frecuencia en la transecta**, en los tres años de seguimiento M1 a M6 en relación al registro inicial en MB0, se observa una estabilidad en la composición de especies en las formaciones vegetales, manteniendo una similar riqueza florística entre monitoreos, donde las variaciones se observan en el número de registros (frecuencia a través del n° de intercepciones en las transectas<sup>40</sup>), denotando algunas variaciones en tramos específicos de las transectas entre monitoreos.

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, si bien se registran valores menores en los monitoreos con respecto a MB0 para la especie dominante, se observa una estabilidad entre monitoreos con una variabilidad entre ellos, pero dentro de un rango similar de registros por tramo (**Figura N° 12-137**). Para las especies acompañantes se observa que el tramo 1 es el más estable y el que está dentro del rango histórico de MB0, los otros tramos se encuentran,

<sup>40</sup> Esta frecuencia en la transecta se realiza a través del número de intercepciones en cada una, entendiendo que una transecta de 50 metros tiene 500 intercepciones posibles, en las cuales puede haber más de una especie en cada intercepción. A su vez, la transecta se dividió en tres tramos: Tramo 1= 0-10 m (100 intercepciones posibles); Tramo 2= 10,1 – 40 m (300 intercepciones posibles); Tramo 3= 40,1 – 50 m (100 intercepciones posibles). Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema**.



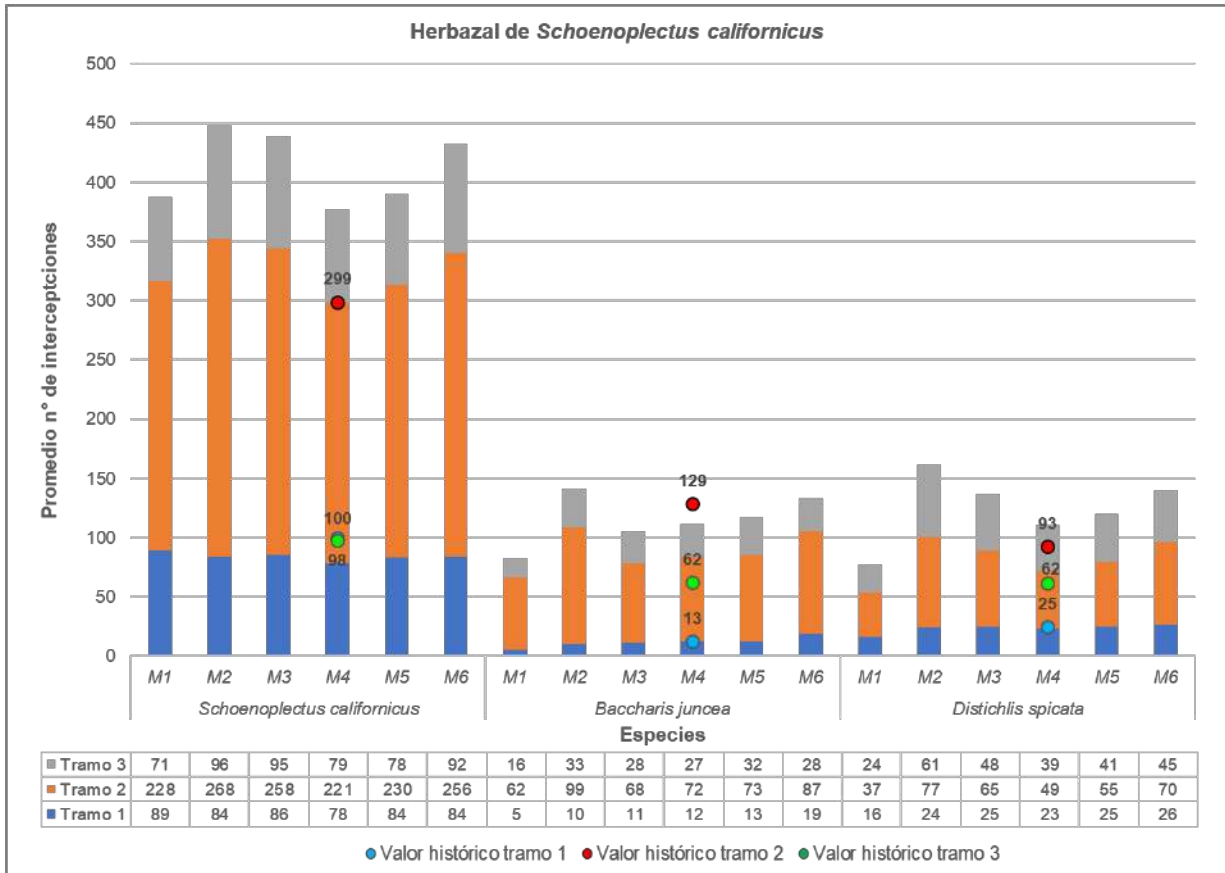
en general, bajo el registro histórico, aunque igualmente se observan dentro de un mismo rango entre los monitoreos M1 a M6.

En el herbazal de *Distichlis spicata*, la especie dominante (*D. spicata*) presenta una mayor disminución de sus registros entre M3 y M4, observados en los tramos 2 y 3 principalmente, en relación a MB0 y M1, registrando posteriormente una mayor presencia de la especie en M5 y M6, acercándose al valor histórico de MB0 (**Figura N° 12-138**). En el caso de la acompañante *B. juncea* se observa una disminución, principalmente en el tramo 2, donde se había registrado en M1 y M3 y no vuelve a aparecer desde invierno 2017 (M3), aunque históricamente presentó bajos registros.

En el matorral de *Tessaria absinthioides*, se observa una baja casi sostenida de los registros para ambas especies, presentando valores bajo el histórico de MB0, aunque con unas alzas en el tramo 2 en M4 y en tramo 3 en M5 en el caso de la especie dominante *T. absinthioides*. (**Figura N° 12-139**).

En términos generales, tanto las variaciones determinadas en la cobertura vegetal como en la estructura comunitaria de algunas transectas, no constituirían cambios significativos, y los descensos estimados se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar. Esto se deduce del análisis complementario que se realizó con el NDVI de imágenes Landsat para el periodo de estudio 2009-2019 (ver resultados para el sector en **sección 12.8.2.1.2**), y la validación de dicho análisis según correlaciones significativas obtenidas entre las coberturas determinadas en transectas y el NDVI (ver análisis de correlaciones en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5.1**).

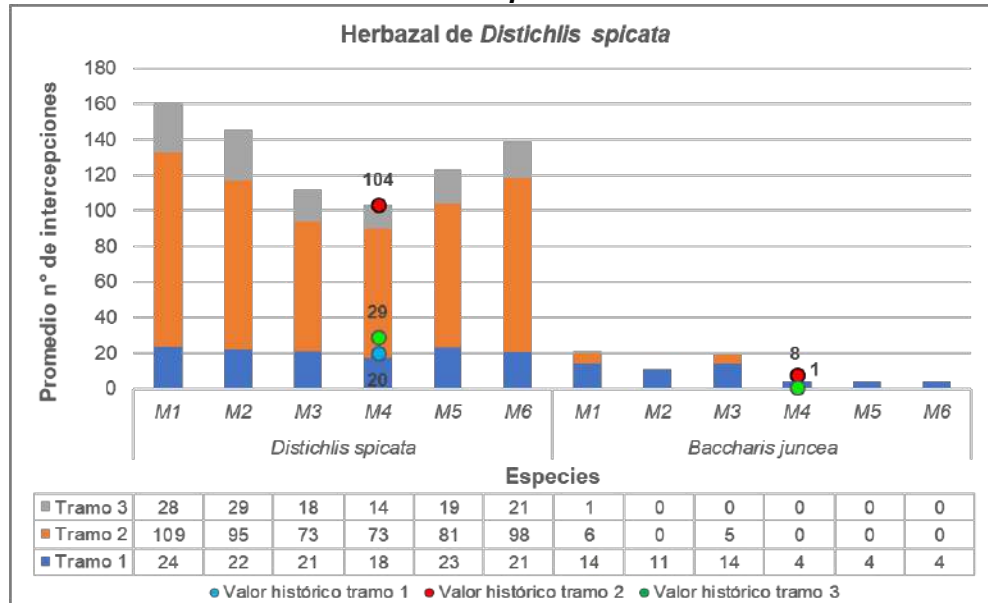
**Figura N° 12-137. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Schoenoplectus californicus* en sector Peine.**



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016.

Fuente: Elaboración propia.

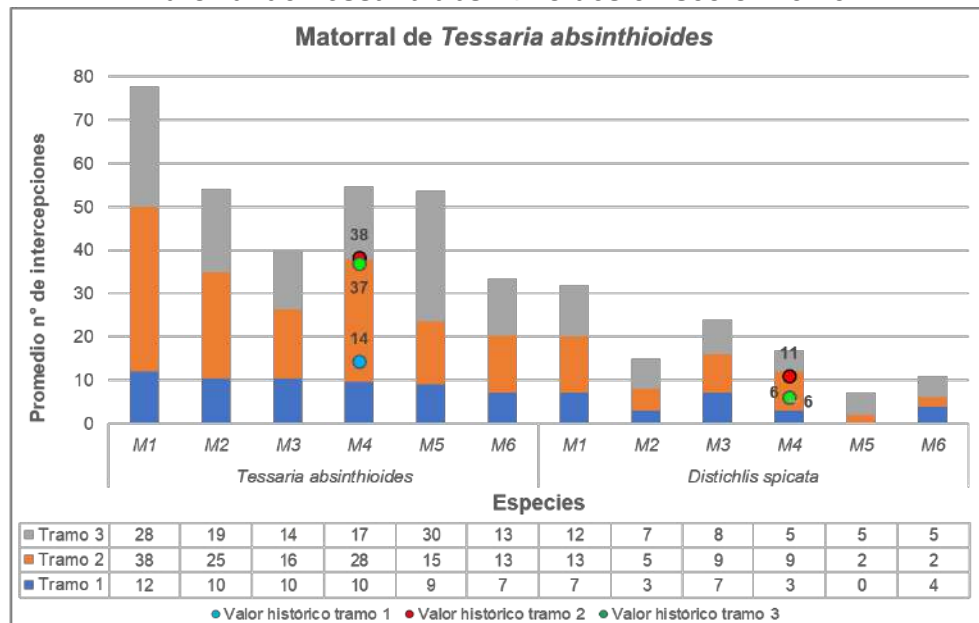
**Figura N° 12-138. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Distichlis spicata* en sector Peine.**



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 12-139. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de *Tessaria absinthioides* en sector Peine.**



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

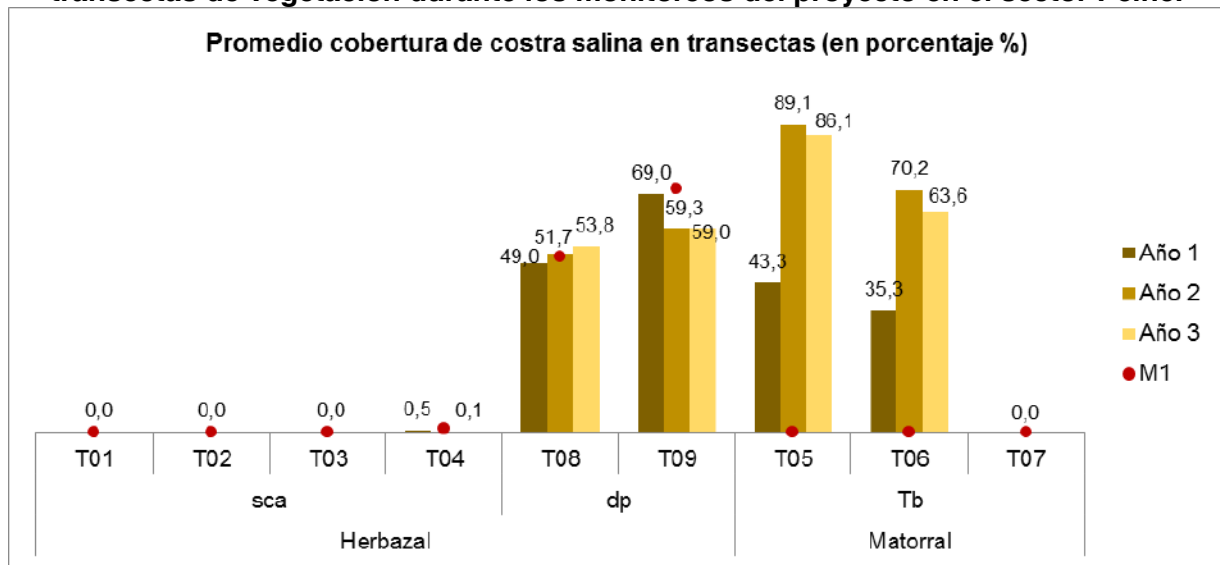
c. Variación de la salinidad en transectas

La **Figura N° 12-140** presenta la variación del promedio anual de las coberturas absolutas de afloramientos salinos registradas durante monitoreos semestrales para el periodo 2016 a 2019 (M1 a M6), en las nueve transectas en tres formaciones de seguimiento del sector.

En el sector, el herbazal de *S. californicus*, no registra cobertura salina (0%); mientras que el herbazal *D. spicata* y el matorral de *T. absinthioides* registran rangos entre 49% a 69% y de 35% a 89%, respectivamente (el último exceptuando la T07 que registra ausencia de recubrimiento salino; **Figura N° 12-140**).

Seis de las nueve transectas de monitoreo del sector, registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento, con variaciones en promedio inferiores a un 10% en esta cobertura; mientras la T05 y la T06 (ambas en matorral de *T. absinthioides*) registran un ascenso promedio de 73% y 56% respectivamente, durante monitoreos. Además la T09 registra un descenso de la cobertura salina en promedio de 12% para los tres años de seguimiento del proyecto.

**Figura N° 12-140. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en el sector Peine.**



Especies dominantes en formaciones monitoreadas: **sca:** *Schoenoplectus californicus*; **dp:** *Distichlis spicata*; **Tb:** *Tessaria absinthioides*. Promedio anual de coberturas **Año 1:** M1 y M2; **Año 2:** M3 y M4; **Año 3:** M5 y M6.

Fuente: Elaboración propia.

El ascenso de la cobertura salina en el matorral de *T. absinthioides* del sector (en T05 y T06), está acompañado de descenso en la cobertura vegetal (sección **12.8.2.1.a**). Entre los factores que se relacionan con estas variaciones, son:

- La amplia variación de la concentración de sales en el suelo, según valores registrados en esta formación durante monitoreos de suelo (S12), con un rango

registrado en la conductividad eléctrica de ligeramente salino a extremadamente salino, entre 3.970 y 23.700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

- La variación de la cobertura vegetal por un periodo de baja entre diciembre 2015 a diciembre 2016, sugiriendo la ocurrencia de un evento anómalo en este periodo, el cual conllevó al posible descenso en esta formación dentro del sector (ver sección de comparación interanual de la cobertura activa con el NDVI de imágenes Landsat del sector, en **sección 12.8.2.1.2**).
- El efecto por variaciones hidroclimáticas existentes en el sistema, las cuales determinan la disponibilidad de agua para la actividad y cobertura vegetal cuya baja repercute en una mayor superficie de costra salina (ver detalle de análisis de correlaciones con variables hidroclimáticas en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5**).

De acuerdo a la evaluación de la variación estacional, se registra una mayor actividad durante invierno en estas formaciones, lo que sugiere una respuesta tardía a los eventos de lluvia (en otoño, marzo-abril) del mismo año (comparación estacional de coberturas entre los tipos de formaciones de seguimiento en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.1**).

El caso de descenso en la cobertura salina de la T09 (herbazal de *D. spicata*), a la vez registra una relación proporcional significativa entre la cobertura vegetal y la salinidad del suelo (signo positivo). No obstante, durante los tres primeros años de monitoreo, se observa una estabilidad de la cobertura vegetal en esta transecta (detalle de análisis de correlaciones entre coberturas en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.3** y análisis de evolución de la cobertura vegetal en transectas en **sección 12.8.2.1.1.a** de este documento).

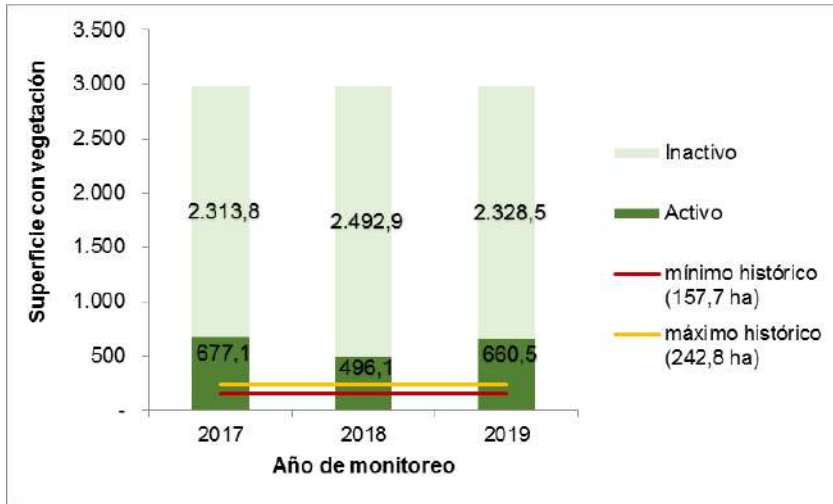
#### 12.8.2.1.2 Cobertura de vegetación activa (NDVI)

La evaluación comparativa de la **cobertura vegetal activa obtenida con el NDVI de imágenes alta resolución** de verano 2017-2019, entre los valores de línea de base y de monitoreos, se presenta gráficamente en la **Figura N°12-149**, y en ella se refleja la mantención del estado ecológico, con mayores coberturas en relación al rango histórico para el sector general. Por otro lado, en particular para la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector, **Figura N°12-150**, refleja una tendencia al descenso por debajo del rango histórico desde el inicio de los monitoreos (ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1**).

Durante los monitoreos anuales 2017-2019, este sector destaca por la mayor cobertura vegetal activa entre los sectores de monitoreo, sin embargo prevalece la superficie inactiva o bien, son bajas las coberturas vegetales, siendo imperceptibles por el sensor del NDVI. La superficie vegetal inactiva en el sector registra valores entre 2.313,8 y 2.492,9 hectáreas, esto equivale entre un 77% a 83% de la superficie COT con vegetación (**Figura N° 12-120**;

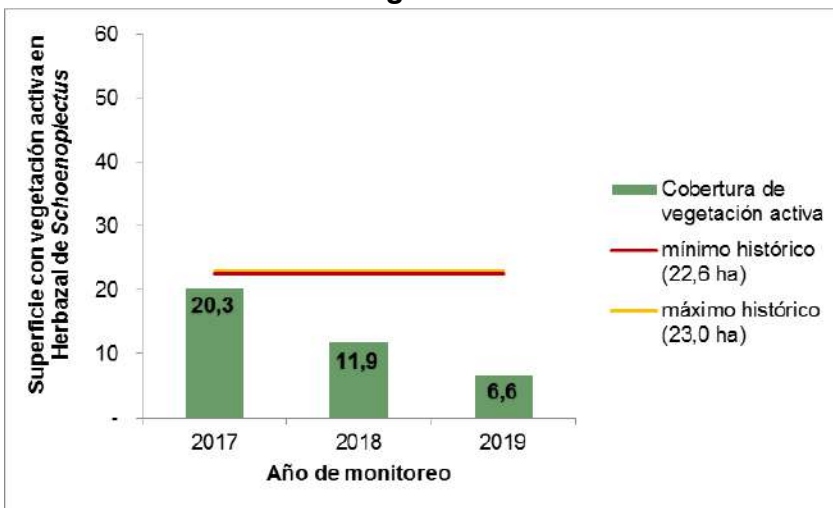
detalle de evaluación interanual entre monitoreos mediante el análisis de recurrencia en Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.b).

**Figura N° 12-141. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2019, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine en superficie con vegetación del sector.**



Fuente: Tabla N° 2 38. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos de Landsat y alta resolución por sector, Informe Anual No 3. Monitoreo invierno 2018 – Verano 2019 Plan de Manejo Biótico.

**Figura N° 12-142. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2019, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine**

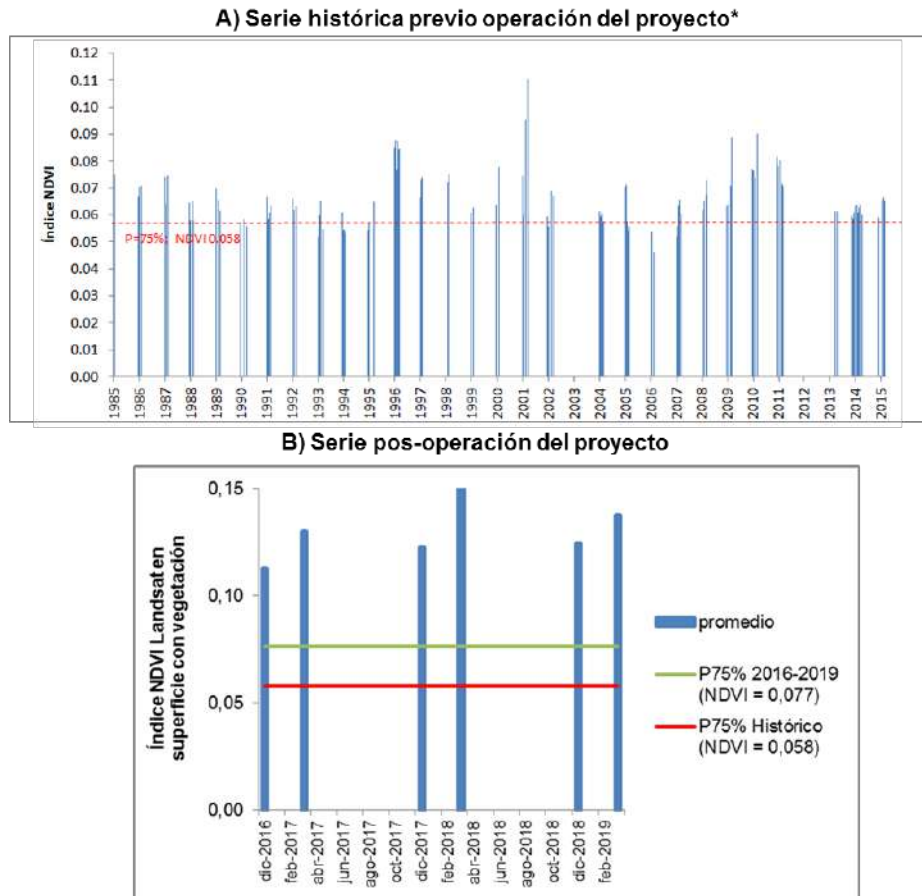


Fuente: Informes anuales de seguimiento PMB Albemarle (2017 y 2018) y valores históricos de línea de base según Tabla 5.3 “Resumen de registros máximos y mínimos propuestos para monitoreo de vegetación y cuerpos acuáticos, mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).

De manera totalmente adicional, pero que permite el análisis comparativo con registros históricos, se compararon los **valores del NDVI de imágenes Landsat con probabilidad de excedencia de 75%** según lo señalado en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5, éste corresponde al valor que es superado un 75% de las veces, como el límite para detectar si el sistema presenta una vigorosidad relativamente baja respecto a su comportamiento histórico (ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.3**).

La comparación con valores históricos de línea de base del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación y durante las temporadas estivales (diciembre-marzo) 2016-2019, reflejan el mismo resultado obtenido con el NDVI de imágenes de alta resolución: la mantención del estado ecológico en general para el sector (**Figura N° 12-143**) y una baja particular en la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector (**Figura N° 12-144**).

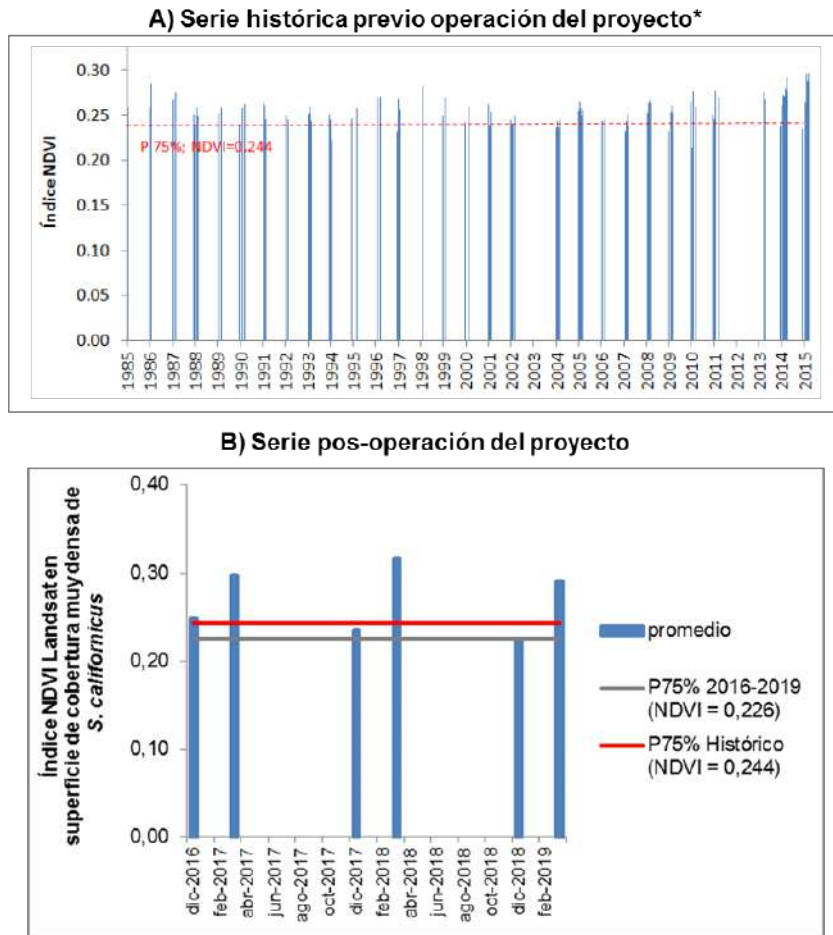
**Figura N° 12-143. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas invernales (diciembre 2016 – marzo 2019) en la superficie con vegetación del sector Peine.**



**Nota:** \* Valores históricos: de **Figura 4.6. “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Peine, estimado sobre el Polígono de vegetación Peine (COT). Se indica probabilidad de excedencia NDVI de 75%.”** y según **Tabla 5.1 “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante**

herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).

**Figura N° 12-144. Formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus*. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas invernales (diciembre 2016 – marzo 2019) en el sector Peine.**



**Nota:** \* Valores históricos: de **Figura 4.7.** “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Peine, estimado sobre el Polígono Peine Herbazal Muy Denso de *Schoenoplectus*. Se indica probabilidad de excedencia NDVI de 75%.” y según **Tabla 5.1** “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del **Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).**

En particular, para las formaciones de herbazal de *S. californicus* del sector, el registro de la cobertura activa y del NDVI Landsat bajo el rango histórico se puede relacionar con varios factores:

- La afectación antrópica por quemas registradas durante la primavera 2018 en la unidad ALB-042-179 de mayor superficie (8,15 hectáreas) con esta formación en el sector (incendios sucedidos entre los monitoreos 2018 y 2019, detalle en **Anexo I de**

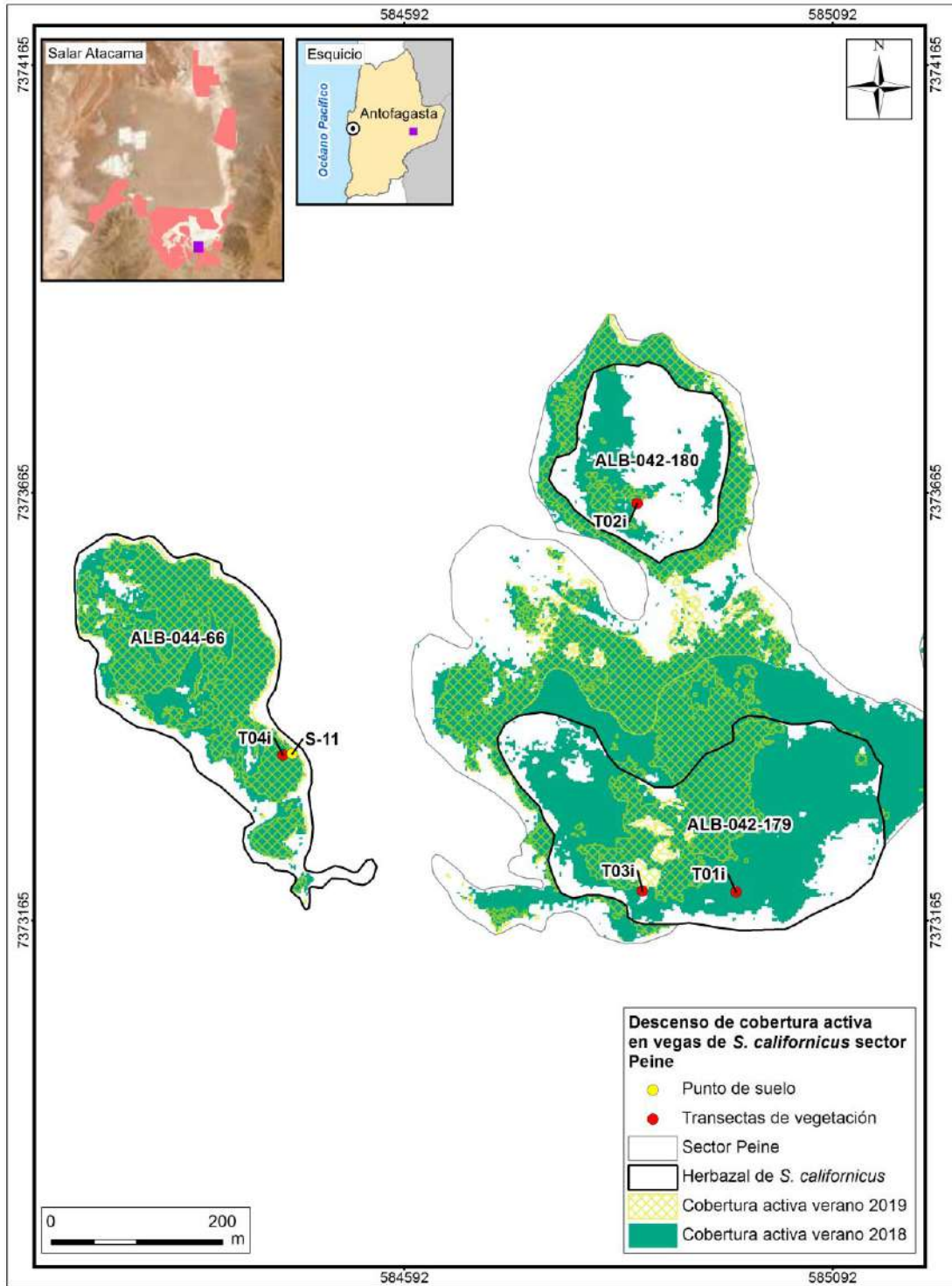


---

**Vegetación y Flora**). Este evento, ha conllevado a un descenso importante de la cobertura activa estimada en el monitoreo de verano de 2019 (**Figura N° 12-145**).

- La condición de mayor variabilidad de la actividad vegetal en comparación con otras formaciones del sector (ver comparación interanual de la tendencia interanual con el NDVI Landsat), lo que sugiere una relación más estrecha con variables hidroclimáticas del Salar, las cuales a su vez determinan la disponibilidad de hídrica para la actividad vegetal (análisis de relaciones con variables hidroclimáticas en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5**).
- El posible descenso de la disponibilidad de agua para sustento de la actividad en esta formación, según la baja de niveles freáticos registrada en el punto de monitoreo de la componente suelos S11 (**Figura N° 12-145**), el cual en M1 registró una profundidad de 17cm y en M6 aumentó a 50cm.

**Figura N° 12-145. Variación de distribución de la cobertura de vegetación activa\* durante monitoreos de verano 2018 y 2019 en unidades de herbazal de *S. californicus* en el sector Peine.**



\* Cobertura vegetal activa obtenida desde NDVI de imágenes de alta resolución.  
 Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, también de manera complementaria a lo exigido al PMB, se realiza un **análisis de recurrencia de las coberturas de vegetación activa obtenidas a partir del NDVI de imágenes de alta resolución (2017-2019)**<sup>41</sup>, con el objetivo de analizar el comportamiento multitemporal de esta cobertura, utilizando las superficies obtenidas para los 3 años de monitoreo en el periodo marzo – abril<sup>42</sup>. Este análisis, tiene como fin determinar las áreas de superposición resultantes que representan el nivel variabilidad o estabilidad espacial de la actividad vegetal en las formaciones de seguimiento (detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2**).

En base al análisis de recurrencia, la superficie que ha reflejado actividad según el NDVI en alguno de los monitoreos es de 813,4 hectáreas, equivalente a un 36,6% del total azonal en el sector. Entre las formaciones azonales en seguimiento del sector, aquella con mayor estabilidad en su cobertura activa es el matorral de *S. fruticosa*, dado que registra la proporción más alta de 33%% (2,9 hectáreas) con superficie en nivel de recurrencia de 100%, indicando actividad en 3 de los 3 monitoreos evaluados. Por el contrario, el matorral de *T. absinthioides* con menor nivel de recurrencia de la cobertura activa (recurrencia entre 0% a 33%), refleja una alta variabilidad o inestabilidad en su actividad o vigor. El detalle del análisis de recurrencia del sector en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.b**.

También, se realizó la **comparación de la tendencia a escala interanual del NDVI Landsat** para el periodo pre-operacional (2009-2016) y operacional (2016-2019) en las formaciones azonales de seguimiento en el sector (detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.4**). En la **Figura N° 12-146**, la evaluación de la tendencia interanual del NDVI Landsat, registra un ascenso en ambos periodos de estudio, indicando esto una estabilidad en la actividad/vigor de la vegetación, incluso con una leve tendencia al ascenso en todas las formaciones vegetales monitoreadas.

Durante el periodo operacional, el NDVI Landsat registra un periodo de baja entre diciembre 2015 a diciembre 2016, sugiriendo la ocurrencia de un evento anómalo en la actividad de la vegetación en este periodo. Esta menor actividad, principalmente se reflejó en las formaciones de herbazal de *S. californicus* y matorral de *T. absinthioides* del sector (**Figura N° 12-146**).

Particularmente, en la formación de **herbazal de *S. californicus*** la cual presenta una baja de su actividad respecto a los registros históricos de línea de base, mediante la evaluación

---

<sup>41</sup> **Nivel de recurrencia** se refiere al número de superposiciones de una misma condición de análisis, es decir la presencia en seguimientos sucesivos, en este caso de la cobertura vegetal activa obtenida desde el índice NDVI en los monitoreos anuales de verano (post-lluvia) 2017, 2018 y 2019.

<sup>42</sup> Se refiere como **comportamiento multitemporal** a las variaciones espaciales y temporales entre los tres monitoreos, ya que para evaluar una tendencia estadística se requieren de mayor cantidad de datos. Por lo mismo, esto último se analiza posteriormente con los datos provenientes de imágenes Landsat para un periodo de 10 años, 2009-2019.

interanual del NDVI Landsat 2009-2019 se refleja principalmente estable; aunque en comparación con las demás formaciones del sector, con menor tendencia al ascenso interanual (validado según mayores *p-value* de test Mann- Kendall), con mayor variabilidad intranual y además, registra una baja más pronunciada entre diciembre 2015 a diciembre 2016. También, el valor mínimo de NDVI promedio de 0,180 se determinó en la imagen de octubre 2018, relacionado posiblemente con la intervención antrópica por quema sobre la unidad de mayor superficie de esta formación en el sector, lo que afectó a la baja del NDVI (**Figura N° 12-146**).

Si bien en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5, se indica que los resultados de la cobertura vegetal se compararán con la *Figura 4.4* de éste mismo. Lo anterior no es comparable ya que el compromiso del monitoreo se realiza mediante imágenes de alta resolución a diferencia del Apéndice que se representa con imágenes Landsat.

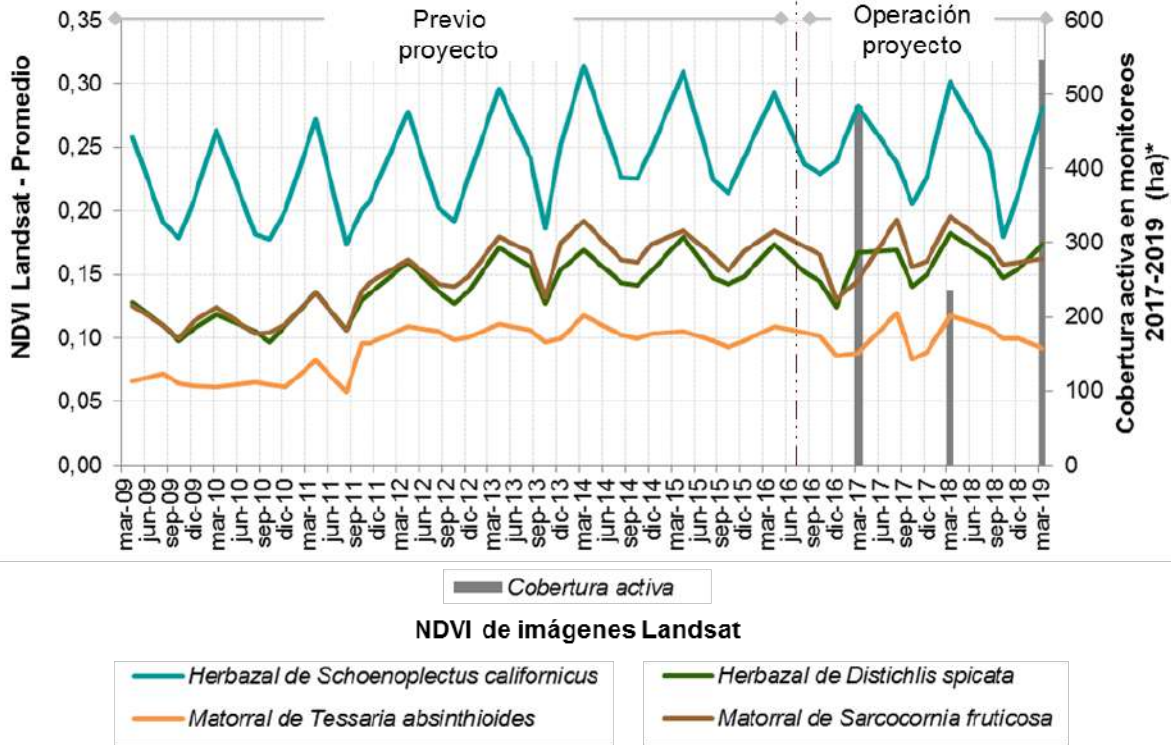
Por último, al relacionar el resultado de transectas con las variaciones del NDVI, se observa similar tendencia con respecto a variaciones importantes<sup>43</sup> específicamente en dos formaciones del sector para los tres años de monitoreo:

- Matorral de *T. absinthioides* en T05 y T06, presenta descensos en la cobertura vegetal aunque de forma no consecutiva y cambios en la estructura comunitaria, lo que está acompañado de un ascenso de la cobertura salina según mediciones de transectas (todos estos cambios se detallan en la **sección 12.8.2.1.1**); además según el NDVI, registra una menor actividad durante operación del proyecto.
- Herbazales de *S. californicus*, principalmente en T02, presenta descenso en la cobertura activa según NDVI de imágenes de alta resolución, acompañado de un ascenso de la cobertura de rastrojo o vegetación muerta acorde a los resultados de transectas (**Sección 12.8.2.1.1a**).

---

<sup>43</sup> Variaciones importantes se refieren a aquellas evaluadas estadísticamente significativas, según nivel de confianza mayor a 90%, para mayor detalle revisar **Anexo I en secciones 2.2. y 3.4.2.**

**Figura N° 12-146. Series de tiempo del NDVI Landsat 2009-2019 y evaluación de tendencias interanuales (test Mann-Kendall) en los periodos histórico (previo al proyecto 2009-2016) y total, en formaciones vegetales monitoreadas del sector Peine.**



**Test Mann-Kendall: Evaluación de tendencias interanuales en el NDVI Landsat**

Formaciones vegetales monitoreadas	Previo proyecto (2009-2016)			Periodo Total (2009-2019)		
	n	p-value	S	n	p-value	S
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	29	0,001*	178	41	0,006*	248
Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	29	0,000*	256	41	0,000*	390
Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	29	0,000*	224	41	0,000*	412
Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	29	0,026*	120	41	0,040*	184

Donde: \* **p-value < 0,05** indica tendencia significativa con nivel de significancia de 95%.  
**Parámetro S:** un valor positivo del es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo.

**Nota:** \* Superficies de cobertura activa en formaciones monitoreadas, obtenidas durante monitoreos anuales con el NDVI de imágenes de alta resolución 2017, 2018 y 2019. Formaciones vegetales monitoreadas según homologación de la COT en base a monitoreos de transectas (detalle en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2**).

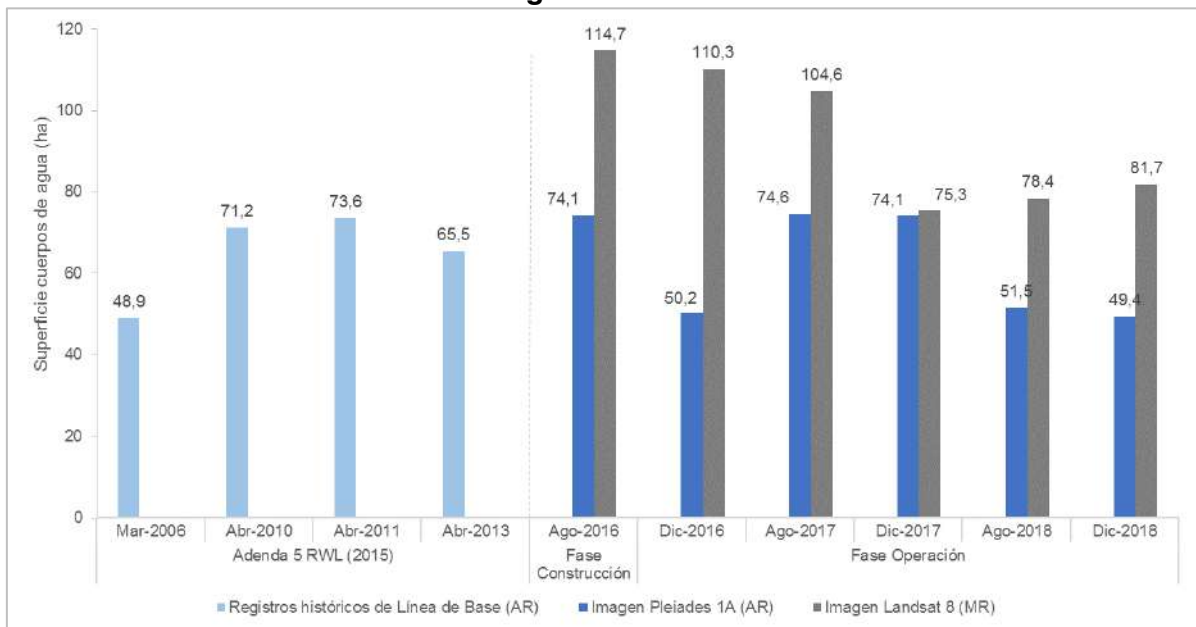
Fuente: Elaboración propia.

### 12.8.2.2 Superficie de Lagunas

#### 12.8.2.2.1 Comparación con los registros de línea de base

En el sistema lagunar Peine, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en diciembre 2018 abarca una superficie de 49,4 ha y en agosto de 2018 es de 51,5 ha. La comparación con el registro mínimo histórico de línea de base (48,9 ha), estimado desde este mismo tipo de imágenes satelitales (Adenda 5 RWL, 2015), indica que la cobertura de diciembre 2018 es mayor en +0,5 ha (1%) y la de agosto de 2018 es mayor en +2,6 ha (5,3%). La **Figura N°12-101** muestra la comparación de las superficies calculadas con los registros históricos en este sistema hasta la fecha, en que todas las áreas estimadas entre 2016 a 2018 se encuentran por sobre el mínimo de línea base<sup>44</sup>.

**Figura N°12-147. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.**



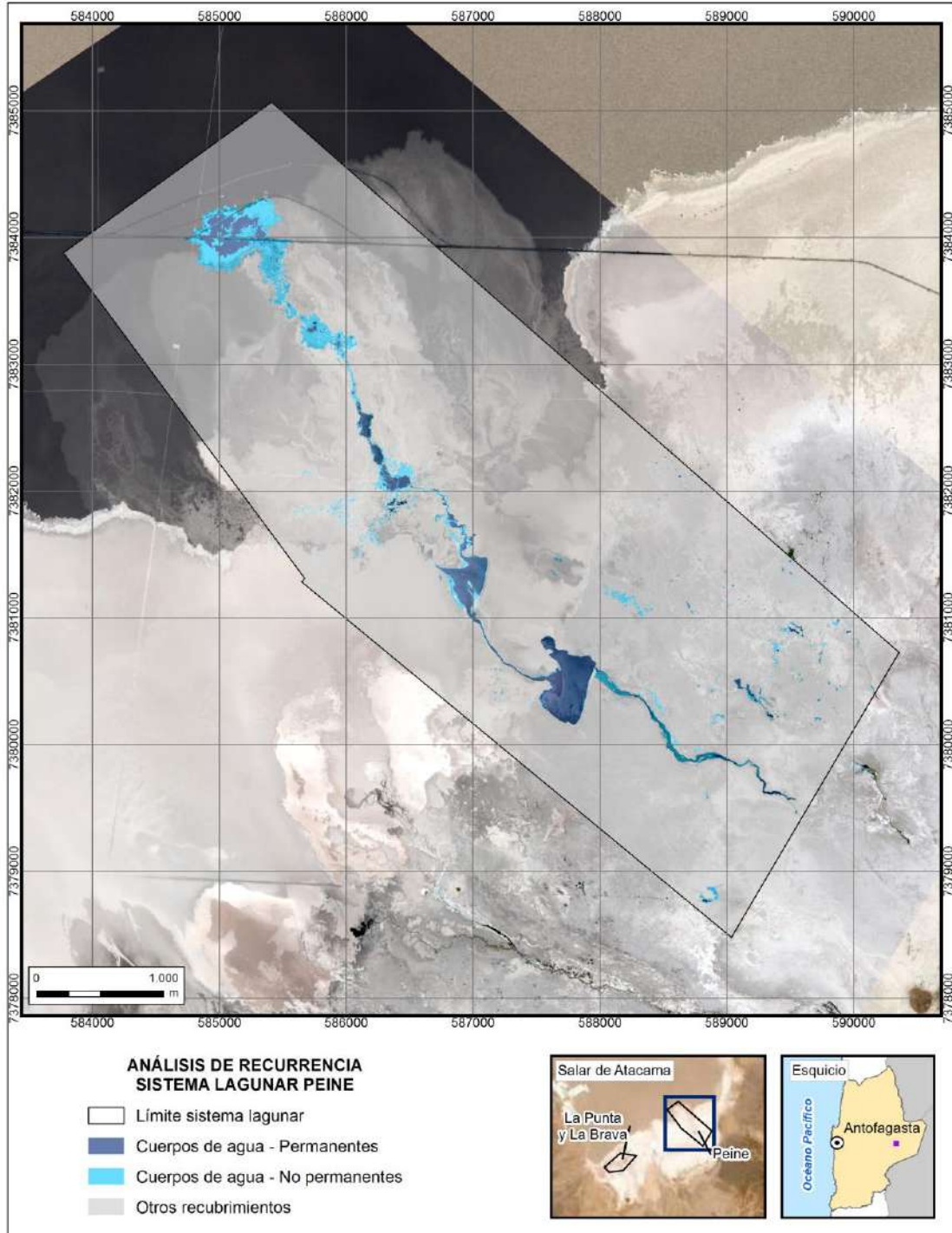
Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (pixel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (pixel menor a 4m).

Fuente: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

De manera complementaria, se realizó un análisis de recurrencia con el fin de dimensionar el comportamiento temporal de las superficies cubiertas por lagunas y, así, definir aún más la evolución de las superficies lagunares, que en base a esta disgregación pueden ser también clasificadas en estratos “permanentes”, “no permanentes” y “otros recubrimientos” del sistema lagunar de Peine (**Figura N° 12-148; Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.1**).

<sup>44</sup> Informe Consolidado Anual N°3 Área de Lagunas - PMB, sección 6.1.2.a

**Figura N° 12-148. Clasificación de estratos según análisis de recurrencia, sector La Punta y La Brava.**

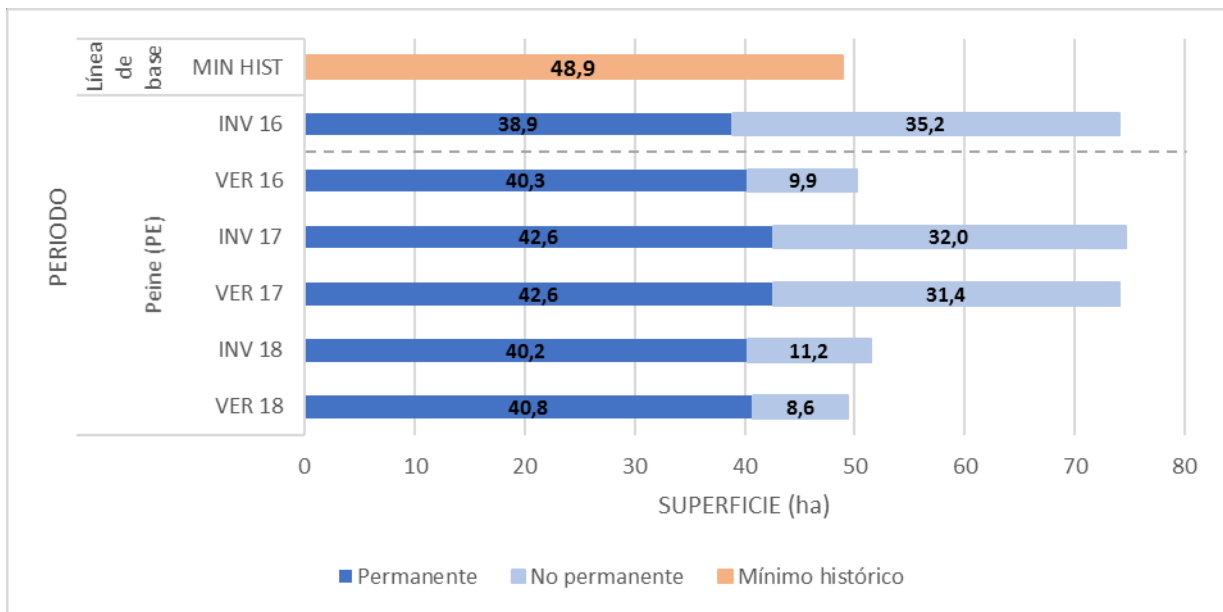


Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto al sector de Peine, la variación de las superficies “no permanentes” muestra una fuerte influencia en base a la dinámica de laguna Interna, cuyo comportamiento es diferente al resto del sistema (**Figura N° 12-148**). En la **Figura N°12-149**, el área de línea base incluye tanto las áreas permanentes como las áreas no permanentes en su color naranja y si se compara con las superficies de los 3 años posteriores, se tiene que la suma de los estratos “permanente” y “no permanente”, están por sobre el mínimo histórico durante todos los monitoreos.

Para el primer año de monitoreo (2016), la superficie lagunar aumentó su superficie en invierno y disminuyó en verano, presentando una diferencia entre estratos “no permanentes” de 25,3 ha, la mayor durante el monitoreo, en tanto en los dos años posteriores de monitoreo las diferencias intranuales han sido muy bajas (0,6 ha en 2017 y 2,6 en 2018) coincidiendo con una disminución drástica en la superficie de laguna Interna (**Figura N°12-149**).

**Figura N°12-149. Superficies permanentes y no permanentes, en comparación con mínimo histórico, sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia.

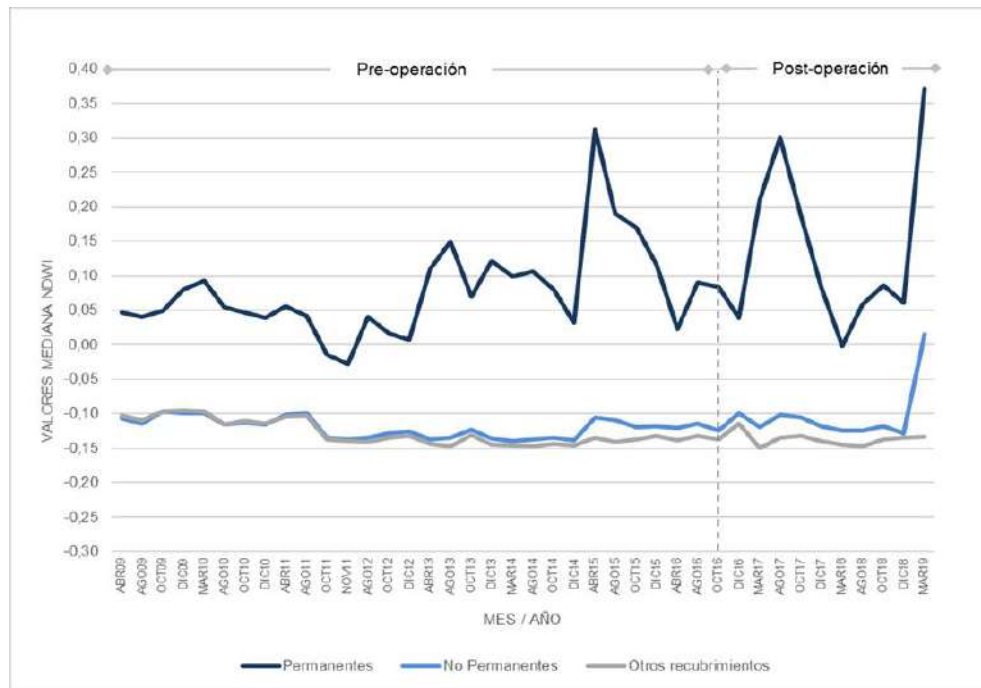
Se realizó también un análisis multitemporal para el sector de la Peine, con el fin de definir una condición de referencia y comprender el funcionamiento del ecosistema en estudio, esto dentro de algunos límites específicos que indican un estado determinado de éste, su dinámica y/o trayectoria, a una escala espacial y temporal definida para la observación (Jax, 2010); lo anterior en base a los valores de los índices NDWI y NDVI que pueden detectar cuerpos de agua (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.2**).

Respecto de Peine, la serie de tiempo total en base a los valores del NDWI, expresa una trayectoria hacia el ascenso, que si bien no es significativa para la serie pre-operacional, esto



sólo es un efecto de la cantidad de datos. Se destaca que las tendencias del escenario pre-operacional y de la serie total presentan una trayectoria similar, denotando sólo un cambio en la magnitud de la significancia o *p-value*, debido a la cantidad de datos. Sobre los estratos no permanentes y otros recubrimientos, ambos expresan una trayectoria hacia el descenso, sin embargo, en el estrato no permanente ésta es significativa sólo en el periodo pre-operacional, en tanto en el estrato otros recubrimientos es significativa en ambos escenarios, por lo que se señala que la trayectoria significativa hacia el descenso de los estratos no permanentes y otros recubrimientos puede explicarse por la variación en profundidad de los cuerpos de agua, particularmente en áreas de aguas someras o sólo con humedad estacional, lo que se traduce en valores bajos del índice asociados a la ausencia de agua, ya que este índice presenta una mayor estabilidad en la variación de sus valores en aguas más profundas que en cuerpos de agua más someros y suelos desnudos, por lo que es mejor indicador de cambios en profundidad (Figura N°12-150) (Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.2).

**Figura N°12-150. Variación temporal de valores de NDWI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector Peine.**



**Test Mann-Kendall: Evaluación de tendencias temporales de valores NDWI Landsat**

**ESTRATOS DE CUERPOS DE AGUA	Previo al proyecto (2009 - 2016)			Periodo total (2009 - 2019)		
	n	p-value	S	n	p-value	S
Permanentes	28	0,066	94	40	*0,025	194
No permanentes	28	*0,021	-118	40	0,701	-34
Otros recubrimientos	28	*0,000	-186	40	*0,002	-262

Donde: \* **p-value < 0,05** indica tendencia significativa y nivel de significancia del 95%. **Parámetro S:** un valor positivo es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo. \*\* En base al análisis de recurrencia detallado en la **Anexo II, sección 3.2.2.**

Fuente: Elaboración Propia.

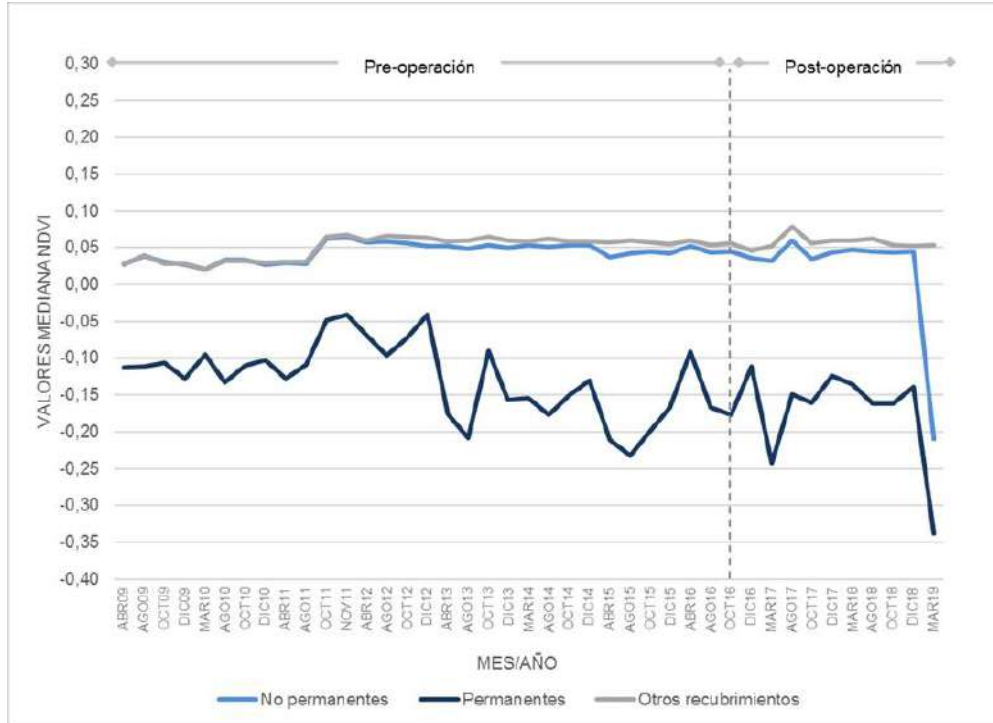
También, se realizó un análisis con el índice espectral NDVI, dado que permite discriminar entre recubrimientos de un suelo sobresaturado y con vegetación, por lo cual valida y complementa los resultados obtenidos con el NDWI. El NDVI en valores negativos de 0 a -1, detecta proporcionalmente suelos secos y/o desnudos, y presencia de cuerpos de agua; es decir valores cercanos a -1 reflejan mayor contenido de humedad típico de un suelo saturado a sobresaturado. Además, en el rango positivo 0 a 1, éste diferencia la detección de vegetación.

En relación a los valores del índice NDVI para el sector de Peine, el estrato permanente presenta una dinámica y trayectoria similar al índice descrito anteriormente, salvo que las tendencias ocurren en sentido negativo, indicando una situación pre-operacional equivalente a la situación post-operacional (**Figura N°12-151**). En el caso de los estratos no permanente y otros recubrimientos, también presentan una dinámica similar al índice anterior, no así la significancia, lo que puede tener relación con valores influidos por interferencias en base a la existencia de una costra salina sin vegetación circundante a los cuerpos de agua, ya que este índice presenta una mayor estabilidad en la variación de sus valores en aguas someras y suelos desnudos (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.2**).

En cuanto a las mayores variaciones espaciales del NDWI para el sector de Peine, o bien en qué lugares se producen dichas variaciones, éstas se presentan al interior de los estratos permanentes de los cuerpos lagunares, principalmente en laguna Interna, que presenta una gran variación, denotando una dinámica general de presencia/ausencia; y en las lagunas Salada y Saladita, esto se debe a que el NDWI muestra una muy buena correlación con valores principalmente de profundidad en cuerpos de agua más consolidados (Li, L. *et al*, 2015). A diferencia de La Punta y La Brava, el gradiente de variación desde el estrato no permanente hacia el estrato otros recubrimientos, se expresa de manera asociada a sustratos más planos dentro de los límites de la costra salina circundante (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.3 y 3.2.4**).

Sobre al mismo análisis para el índice NDVI en este sector, las mayores variaciones se presentan en las mismas áreas señaladas para el índice NDWI, salvo que las magnitudes y superficies de éstas son menores y el efecto de gradiente es mayor, mostrando inclusiones de zonas húmedas dentro del gradiente, lo que está relacionado a que el NDVI expresa una muy buena correlación con valores de profundidad y otras variables en cuerpos de agua someros, con humedad y suelo desnudo (Li, L. *et al*, 2015). En este sector, ambos índices presentan un estrato “otros recubrimientos” es más estable, ya que describe suelos desnudos cubiertos de sal muy estables temporalmente (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.3 y 3.2.4**).

**Figura N°12-151. Variación temporal de valores de NDVI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector Peine.**



**Test Mann-Kendall: Evaluación de tendencias temporales de valores NDVI Landsat**

**ESTRATOS DE CUERPOS DE AGUA	Previo al proyecto (2009 - 2016)			Periodo total (2009 - 2019)		
	n	p-value	S	n	p-value	S
Permanentes	29	0,063	-100	41	*0,003	-266
No permanentes	29	0,081	94	41	0,694	36
Otros recubrimientos	29	0,075	96	41	0,247	104

Donde: \* **p-value < 0,05** indica tendencia significativa y nivel de significancia del 95%. **Parámetro S:** un valor positivo es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo.

\*\* En base al análisis de recurrencia detallado en la **Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.2.**

Fuente: Elaboración Propia.

### 12.8.2.3 Niveles Freáticos Sector Peine

Para el Sector Peine, se utilizan como datos de referencia los valores de línea base presentados en Anexo 2 de Adenda 5, que corresponden a los pozos BA-21, y BA-22. Con los valores registrados y monitoreados en estos 3 años de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado para la variable: “que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.”

Los valores de línea base para este Sector Peine, corresponden a los registrados desde abril 2013 hasta Agosto del año 2015. Se incluye monitoreo desde agosto 2015 hasta marzo 2016, bajo la condición sin proyecto, de manera de darle continuidad al monitoreo. A este período más extenso se le ha denominado Período Histórico.

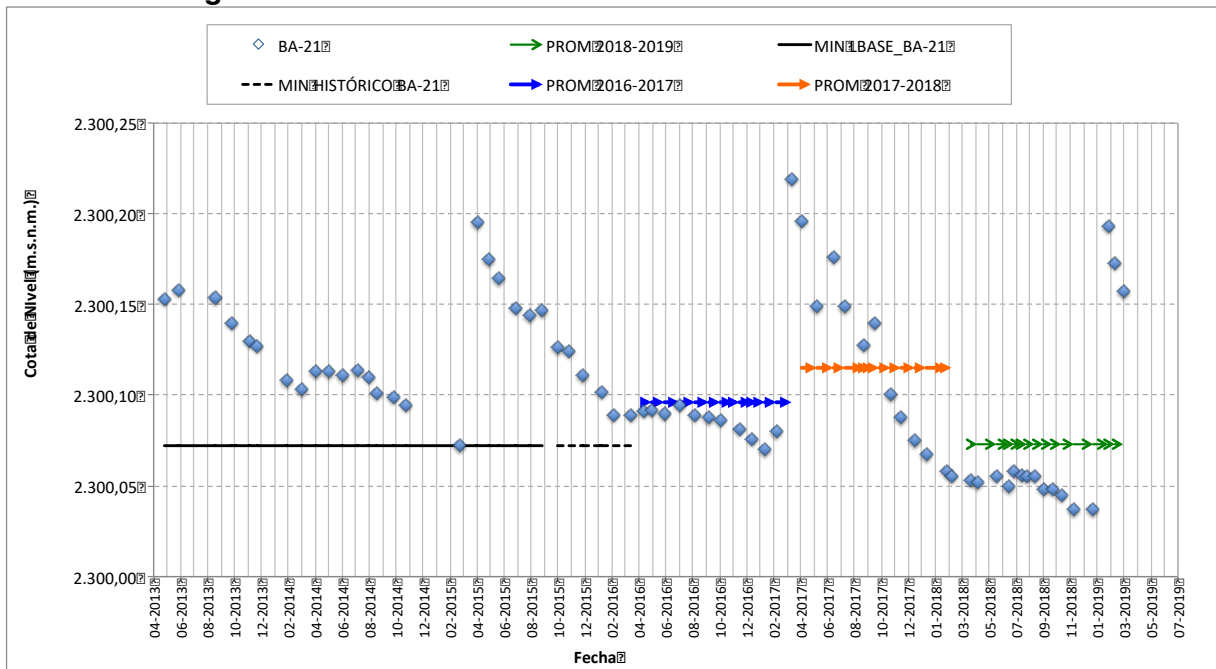
En la **Tabla N° 12-47**, se presentan los estadígrafos para los períodos considerados y en las **Figura N° 12-152** y **Figura N° 12-153**, se presentan las gráficas temporales y los promedios anuales de los niveles para cada período respectivamente.

**Tabla N° 12-47. Valores<sup>45</sup> Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector Peine**

Punto	Período LB (m s.n.m) (Abril 2013 – Agosto 2015) Período Histórico (Abril 2013-Marzo 2016)		Abril 2016- Mar 2017 (m s.n.m)	Abril 2017- Mar 2018 (m s.n.m)	Abril 2018- Mar 2019 (m s.n.m)
	Mínimo LB	Mínimo Histórico	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual
BA-21	2.300,072	2.300,072	2300,096	2300,115	2.300,073
BA-22	2.300,274	2.300,268	2300,295	2300,280	2.300,279

Fuente: Elaboración propia

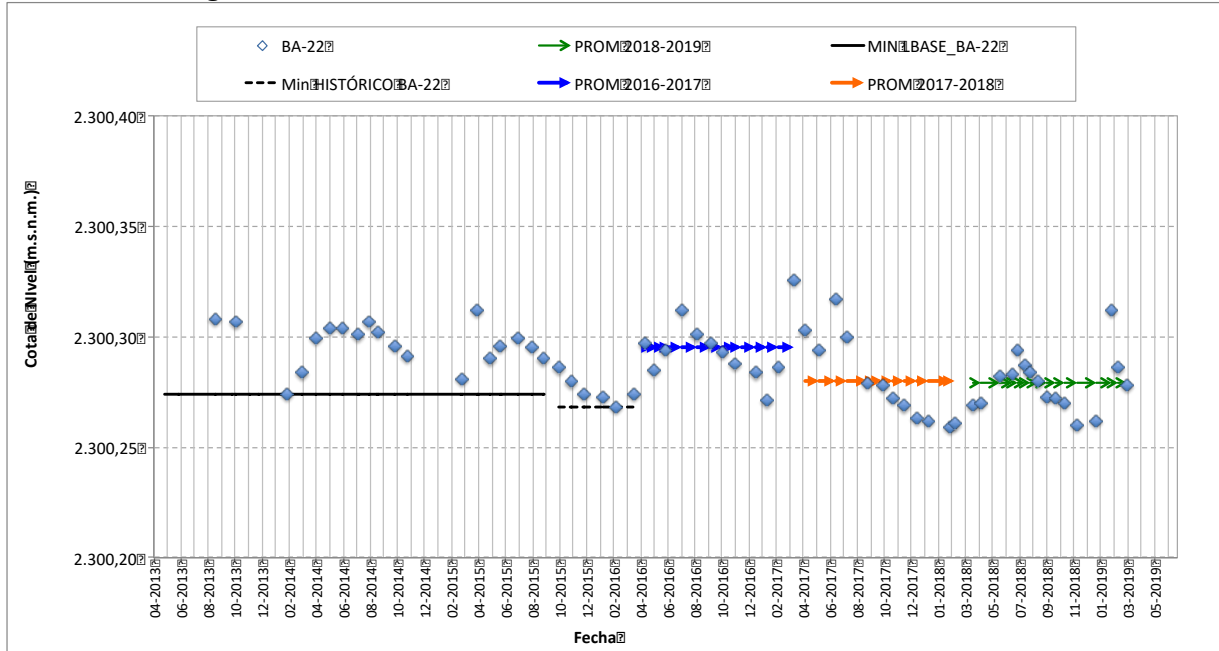
**Figura N° 12-152. Variación Niveles Pozo BA-21 – Sector Peine**



Fuente: Elaboración propia

<sup>45</sup> Ver todos los datos y registros en “Anexo Niveles Freáticos” de este Informe Anual N°3 PMB.

**Figura N° 12-153. Variación Niveles Pozo BA-22 – Sector Peine**



Fuente: Elaboración propia

Del análisis de tendencia de niveles para el Sector de Peine, se tiene que los niveles freáticos para el pozo BA-21 se presentan con una inclinación a la baja en sus valores mínimos, pero con promedios anuales de nivel por sobre el mínimo. El último año (período abril 2018 – marzo 2019) se presenta con un promedio muy cercano al mínimo de línea de base.

El pozo BA-22 se presenta con una variación de niveles más estables a lo largo de los 3 años, con sus promedios anuales dentro del rango histórico y por sobre el mínimo de línea de base.

## 13 CONCLUSIONES.

### 13.1 En relación con Flora y Vegetación

**En cuanto a la Carta de Ocupación de Tierras (COT)**, al tercer año de monitoreo anual se observa una estabilidad general en las formaciones vegetales caracterizadas en términos de su estructura y composición, además de la distribución de éstas en el área de estudio. En el tercer año de monitoreo se describen 34 formaciones vegetales, que se observan en ambas temporadas (invierno 2018 y verano 2019) y que corresponden a las formaciones comprometidas en el PMB, aumentando la cantidad de formaciones descritas al finalizar el primer monitoreo anual (31 formaciones en verano 2017).

Las principales variaciones se observan en la cobertura y composición de especies dentro de las formaciones que implica el ajuste de los límites de las formaciones en algunos casos, y el cambio en la dominancia de especies en otros, que representan diferencias no biológicas y que reorganizan la configuración de las unidades en estudio.

**En relación a las formaciones vegetales caracterizadas a través de transectas**, tanto en M5 (invierno 2018) y M6 (verano-post lluvia 2019) corresponden a las mismas observadas en el Monitoreo Base 0, y conservan las características fisonómicas y de composición de especies determinadas como condición inicial de la vegetación en la etapa pre operacional del proyecto. Estas son: herbazal de *Schoenoplectus californicus*, herbazal de *Juncus balticus*, herbazal de *Distichlis spicata*, herbazal de *Triglochin concinna*, matorral de *Sarcocornia fruticosa* y matorral de *Tessaria absinthioides*.

**Las conclusiones en cuanto a las condiciones generales de la vegetación del área de estudio (transectas)**, indican una similitud entre los resultados obtenidos del tercer año (M5 y M6) con MB0 y monitoreos estacionales del primer y segundo año de estudio (M1 a M4). Las comunidades con mayor contenido de humedad del suelo, son las que desarrollan mayor cobertura vegetal, correspondiendo a las formaciones de *Schoenoplectus californicus* y algunas transectas con formaciones de herbazal de *Juncus balticus*, herbazal de *Triglochin concinna* y matorral de *Sarcocornia fruticosa*, además de algunas transectas localizadas en cercanías a cuerpos de agua, en los sectores La Punta y Aguas de Quelana.

En relación a la riqueza florística de las formaciones vegetales, esta se mantiene similar en los tres años de monitoreo a nivel de sectores y formaciones vegetales, con algunas diferencias puntuales entre transectas, aunque sin demostrar una variación estacional entre la riqueza de invierno con la de verano en las formaciones en seguimiento o por sector.

A partir del análisis de las coberturas de las transectas en el periodo de seguimiento (2016-2019), se observa un leve descenso de la cobertura vegetal y asimismo un aumento en la cobertura de rastrojos en todos los sectores, aunque con algunas diferencias. Peine, siendo el sector con mayor cobertura vegetal, es el que presenta mayores variaciones entre

monitoreos, mientras que los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava y Aguas de Quelana presentan variaciones leves entre monitoreos para la cobertura vegetal y para la cobertura de rastros un mayor rango de variación se observa en Peine y Tilopozo.

Con respecto a variaciones estacionales, solo los matorrales registran una variación más marcada en relación a la estacionalidad, observando una mayor cobertura en invierno en relación a monitoreos de verano. Para los herbazales, solo algunas transectas indican mayor activación de la cobertura en verano (post-lluvia), como las transectas en herbazales de *S. californicus*, sin embargo, no con una tendencia clara porque puntualmente M4 (verano 2018), fue un monitoreo marcado al descenso en las transectas del sector Peine.

Al relacionar la variación de cobertura vegetal entre monitoreos, reflejan, en general, una variabilidad desde MB0 a M6, con excepción en tres transectas en el herbazal de *D. spicata* (T09 en Peine y T21 y T22 de Tilopozo), que presentan una cobertura mayor en M6 en relación a la registrada en el monitoreo inicial (MB0). Entre las variaciones descritas, los herbazales de *S. californicus* demuestran a pesar de su variabilidad interanual o estacional y de las intervenciones antrópicas ocurridas (incendios), la mayor cobertura absoluta del área en todos los monitoreos, con coberturas superiores o cercanas al 100%, tanto en Tilopozo y Peine. En contraste con la formación de *Triglochin concinna* en La Brava, que es una de las formaciones de herbazal que presenta baja cobertura vegetal (14,6% en MB0 y M1) y a la vez uno de los descensos más marcados en el tiempo, registrando una cobertura de 0,6% en M6.

Las variaciones determinadas en las coberturas no determinan una tendencia clara al descenso o aumento, registrando diversidad de fluctuaciones en relación a los tipos de formaciones, estacionalidad en algunas transectas y en general una variación interanual en este periodo de tres años de seguimiento, por lo que deben analizarse en un periodo más amplio para establecer alguna tendencia.

**Considerando el método de análisis de distribución y cobertura de la vegetación azonal con el NDVI de imágenes de alta resolución**, se concluye que existiría una mantención general de las superficies de vegetación activa, dentro del rango de los registros históricos de línea de base en los sectores de estudio en que se encuentran. Particularmente, la comparación específica de la cobertura de vegetación activa en la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus* del sector Peine, refleja un descenso por debajo del rango histórico desde el inicio de los monitoreos hasta ahora.

### 13.2 En relación con Fauna Vertebrados

El área de estudio se divide en tres sectores: a) La Punta y La Brava; b) Peine (lagunas Salada, Saladita e Interna, además de 2 puntos de ambientes terrestres), ambos sectores ambientes de humedales; y c) Tilopozo (en su mayoría ambientes terrestres, con excepción de un ambiente de humedal, el humedal pajonal). A su vez, en estos sectores se delimitaron 6 ambientes de fauna: área desprovista de vegetación (costra salina), herbazal, humedal salar, humedal pajonal, matorral y quebrada.

En total, considerando el total acumulado para las 6 campañas (de invierno 2016 a verano 2019), la riqueza es de 54 especies de vertebrados, con una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 41 especies de aves y 10 especies de mamíferos.

Los tres sectores presentan una riqueza que varía entre 33 especies en el sector de Tilopozo, a 22 especies en el sector de La Punta y La Brava, y 24 especies en Peine, aunque la composición es muy diferente: en los sectores que contienen ambientes de humedal salar dominan las aves acuáticas, y en aquellos que contienen ambientes terrestres, los mamíferos.

A la escala de similitud de los ambientes (con mayor sentido biológico que la división de sectores) se forman dos grandes agrupaciones: los dos sistemas acuáticos de humedal salar, y el humedal pajonal con los restantes ambientes terrestres.

En cuanto a la caracterización de la fauna detectada en todo el monitoreo (posterior al histórico):

De acuerdo a su origen geográfico, 3 de las especies registradas son endémicas de Chile, en tanto que otras 50 especies son nativas, y finalmente, 1 especie es catalogada como introducida.

De las 54 especies de fauna detectadas, 20 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 7 especies se encuentran en categoría de conservación listadas en el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI); otras 10 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 3 especies restantes se encuentran clasificadas en alguna de las categorías de conservación no oficiales definidas por Rottmann & López-Callejas (1992) o Cofré & Marquet (1999).

Del total de 20 especies en categoría de conservación, 11 se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro, Vulnerable y Casi amenazada. Por su parte, 9 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 (siete especies):** en categoría Vulnerable: *Oressochen melanopterus* (piuquén), *Chroicocephalus serranus* (gaviota andina), *Fulica gigantea* (tagua gigante), *Phoenicoparrus andinus* (parina grande), *Phoenicoarrus jamesi* (parina chica) y *Phoenicopterus chilensis* (Flamenco chileno), y una especie Casi amenazada: *Fulica cornuta* (tagua cornuda).
- **Mamíferos (tres especies):** en categoría Vulnerable: *Lama guanicoe* (guanaco) y *Ctenomys fulvus* (tuco-tuco de Atacama), y en categoría Casi amenazada, *Puma concolor* (puma).

Ninguna de las especies registradas se considera Monumento Natural.

Del total de especies, 4 corresponden a especies de baja movilidad, 4 a especies de movilidad media, y 46 a especies con alta movilidad. En relación a las especies especialistas de hábitat, 21 especies se consideran especialistas, como por ejemplo el sapo espinoso (*Rhinella spinulosa*; en ambientes de humedal), la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*, en borde de salar) y 19 aves (asociadas a ambientes de humedal).

Finalmente, en cuanto al Índice de Riesgo, destaca la presencia de 1 especie clasificada con un índice de riesgo máximo (*Liolaemus fabiani*, Lagartija de Fabián), en tanto que otras 7 se encuentran clasificadas con un riesgo alto, 9 se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 36 se encuentran clasificadas con un riesgo bajo. A la única especie introducida (el burro), no le fue asignado un índice de riesgo.

Además de la caracterización de fauna, y en relación a las abundancias y frecuencias, las 2 especies de reptiles registradas presentan abundancias y frecuencias notoriamente diferentes, siendo mayor en las campañas de verano 2018 y verano 2019 (34 ejemplares) y menor en invierno 2016 (16 individuos). En todas las campañas, la especie más abundante y frecuente fue la lagartija de Fabián, dominando sobre la lagartija de Constanza.

En relación a las aves, la abundancia fue mayor en verano 2018 (520 individuos) y menor en verano 2017 (292 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, la quebrada, el herbazal y el matorral.

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

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las 4 especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en 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 13,3%. La yaca del norte y la lauchita de pie sedoso solo se registraron en la campaña de verano 2019, con un IDR de 0,8%.

Comparando con los valores y criterios especificados en el plan de seguimiento ambiental, en general, a las distintas escalas de análisis (cualitativo y cuantitativo) y comparaciones con la línea de base (campañas previas), las variaciones observadas en las campañas de monitoreo, en la riqueza, composición y sobre todo, abundancia de fauna, se concluye que se encuentran dentro de los registros históricos (comparadas con Línea de Base). En particular, para las aves, los parámetros son mayores en el Monitoreo que en la Línea de Base (ej. mayor riqueza de especies, mayores valores de abundancia absoluta, mayor número de flamencos), con amplias variaciones estacionales naturales, las cuales pueden explicarse fundamentalmente por el comportamiento móvil, en algunas especies esporádico y sobre todo, migratorio de las especies de aves (como la de los flamencos y pollito de mar).

En general, la composición de las especies y el patrón de dominancia numérica de los flamencos en los sistemas acuáticos se mantiene. Esto se cumple tanto para los sistemas lagunares considerados en conjunto, como para el Sistema hidrológico Peine (el que aporta la mayor abundancia absoluta de aves, con centenares de ejemplares). Analizando el sistema hidrológico de La Punta y La Brava (con menor abundancia absoluta de aves, con algunas decenas de ejemplares, por lo que esto no afecta el análisis global dentro del rango histórico), si bien la riqueza de aves es mayor en el monitoreo que en la Línea de Base, las abundancias de aves acuáticas muestran resultados disímiles: son relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo y la Línea de Base (aunque con una sola campaña a comparar, lo que implica cautela), pero no ocurre lo mismo en el caso particular de los flamencos en La Punta y La Brava, con menores valores en el monitoreo que en la Línea de Base (lo que está dado particularmente por la parina chica).

### 13.3 En relación con Tapetes Microbianos

Los resultados del registro de tapetes microbianos en los sistemas lagunares: Sector Peine conformada por Laguna Salada, Laguna Saladita y Laguna Interna; Sector La Punta-La Brava: Laguna La Brava, Laguna La Punta y Tilopozo, en las seis campañas realizadas, indican que en la primera campaña invierno 2016 el 75% de los puntos de monitoreo presentó tapetes microbianos, sin embargo, en las campañas siguientes verano 2017, invierno 2017, verano 2018, invierno 2018 y verano 2019, el 68% de los puntos de monitoreo presentó estas comunidades microbianas. Este descenso se debe puntualmente por la presencia de Tapetes en el punto TB-2 del sector de Tilopozo, que sólo se registró en la campaña de invierno 2016.

#### **Respecto a los periodos de monitoreos invierno 2018 y verano 2019, se destaca lo siguiente:**

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta de macrozonas, se observó presencia de tapetes con tres macrozonas de pigmentación (Tipo 1). En el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava estos tapetes presentaron en la macrozona subsuperficial capas comunes de color naranja y tonalidades color verde, respecto a las capas de la zona Intermedia, generalmente presentaron tonalidades color púrpura y/o rosada. Las capas siguientes de localización profunda, sin embargo, presentaron pigmentación variable entre periodos.

Para las campañas invierno 2018 y verano 2019, se destaca la disminución de tapetes Tipo 1 en verano 2019 respecto invierno 2018, que se relaciona con la detección de tapetes con menor estratificación en verano 2019 respecto a invierno 2018. Lo cual se observó especialmente en los tapetes de Laguna salada (S-6A, S-9) y Laguna Interna (I-11).

Respecto al espesor máximo de los tapetes los valores correspondieron a 25 mm en invierno 2018 y 28 mm en verano 2019, y fueron registrados en el Sector Peine.

Respecto a la morfología de los tapetes, en Laguna Salada se caracterizaron por presentar una estructura plana con estratificación uniforme de capas pigmentadas. Laguna La Brava, en tanto, presentó tapetes con textura superficial coriácea y morfología convexa (LB-1).

El sector Tilopozo en las campañas invierno 2018 y verano 2019, no registró presencia de tapetes microbianos.

Por otro lado, a través de la identificación visual, se sugiere para la campaña invierno 2018 y verano 2019 presencia de microbialitos (LP-23, LB-1) y de evaporitas (LP-24).

**En relación a los cambios observados, considerando todas las campañas de monitoreo realizadas a la fecha, se puede señalar que:**

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos se observó la presencia de tapetes Tipo 1 en las 6 campañas. Estos tapetes predominaron en invierno 2016, verano 2017, invierno 2017, verano 2018 e invierno 2018, sin embargo, en la campaña verano 2019 disminuyeron respecto a lo observado en campañas anteriores, a razón de una mayor detección de tapetes Tipo 2 en verano 2019. A su vez, esta disminución se observa principalmente en el Sector Peine.

En general, los tapetes Tipo 1 durante las 6 campañas de monitoreo se caracterizaron por presentar en la zona subsuperficial capas de color verde, en la macrozona intermedia, en tanto, se distinguen capas de color rosado y/o púrpura. Respecto a la macrozona Profunda se observó variación en las capas pigmentadas según sector (Peine, La Punta-La Brava) y entre puntos de monitoreo de un mismo sector, las capas más comunes corresponden a tonalidades de color verde y café, entre otras.

Respecto a la estructura de pigmentación de los tapetes que presentaron dos macrozonas en verano 2019, se caracterizaron por presentar generalmente capas subsuperficiales color verde y capas intermedias de color púrpura y/o rosada.

De los cambios importantes detectados en la estratificación de capas pigmentadas de tapetes microbianos en los puntos de monitoreo, se observa disminución de capas pigmentadas. Al respecto, destaca en el Sector Peine la Laguna Salada en S-11, la cual en verano 2018, presentó tapetes con desaparición de capas pigmentadas en la zona Profunda observadas en periodos anteriores (invierno 2016, verano 2017, invierno 2017). Posteriormente en verano 2019, otro cambio observado tiene relación con Laguna Salada en S-6A, donde se detecta mayor proporción de tapetes que carecen de capas subsuperficiales color verde. Por otro lado, en Laguna Interna, en I-11 se detecta en verano 2019 respecto a invierno 2018, mayor proporción de tapetes de escasa estratificación que generalmente no presentan capas pigmentadas en la zona profundas.

También se distingue en el Sector Peine, la variabilidad de la presencia de tapetes microbianos sumergidos en SA-25, los cuales se han registrado principalmente en verano 2017, invierno 2017 y verano 2018.

Respecto al Sector La Punta-La Brava, la disminución de capas se observa particularmente en verano 2019 respecto a invierno 2018. En este contexto destaca, LB-1 y LB-3, de Laguna La Brava, los tapetes superficiales en estas áreas presentaron disminución de capas de la zona subsuperficial y/o profunda.

Otro cambio observado en el sector se relaciona con la detección de tapetes en el ambiente sedimentario de LB-3 en laguna La Brava en verano 2019, que en campañas anteriores no habían sido detectados.

A partir de las 6 campañas de monitoreo llevadas a cabo, se distinguen principalmente 2 tipos de morfología de tapetes microbianos: 1) Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados y pigmentados, característicos de laguna Salada; 2) Tapetes convexos, con apariencia, consistencia y textura de tipo coriácea (rígida), los cuales predominan en Laguna La Brava (LB-1).

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, se sugiere la presencia de microbialitos en el Sector La Punta - La Brava (LB-1, LP-23) en las seis campañas de monitoreo. Respecto a las evaporitas, se sugiere la presencia de estas estructuras en invierno 2017, verano 2018, invierno 2018 para el Sector Peine en Laguna Interna (I-11) y en invierno 2017, verano 2018, invierno 2018 y verano 2019 para el Sector La Punta- La Brava en Laguna La Punta (LP-24).

En relación al espesor de tapetes en el Sector Peine, el valor promedio de espesor más alto según sistema de laguna durante las 6 campañas se detectó particularmente en Laguna Salada, en invierno 2016 y verano 2018 y correspondió a 20 mm.

Respecto al espesor de tapetes en el Sector La Punta- La Brava, el valor promedio de espesor más alto según sistema de laguna durante las 6 campañas se detectó particularmente en Laguna La Brava en verano 2017 (13 mm).

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

#### **13.4 En relación con Suelo o Sustrato**

Los suelos del área de estudio, corresponden a tipo entisol, es decir, suelos con escaso o nulo desarrollo pedogenético, de origen mayoritariamente depositacional, tanto eólico como por transporte de flujos de agua (aluvional recientes y antiguos), coincidiendo con lo señalado en la literatura, lo que implica que se estén depositando constantemente nuevos materiales en superficie, los cuales se caracterizan por ser altamente heterogéneos debido a su origen mineralógico distinto, esto determina la existencia de una alta variabilidad en la característica de estos suelos, incluso a una escasa distancia entre dos puntos.

En lo que dice relación con la topografía, la mayoría de los suelos son planos a moderadamente inclinados, sin pedregosidad y/o rocosidad superficial. Por otra parte, en

relación con la erosión, en la totalidad del área ésta es no aparente, y en general los suelos del área son de Capacidad de Uso VII<sup>46</sup> y VIII.<sup>47</sup>

Para el área de estudio, y considerando los 6 monitoreos, la **conductividad eléctrica** varía entre 1.303 y 34.900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los suelos no salinos, como extremadamente salinos son muy escasos para el área, siendo predominantes principalmente los suelos ligeramente salinos, salinos y muy salinos.

En general, en el área de estudio se observa 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 monitoreos estivales respecto a los invernales, correspondiendo al comportamiento normal de este parámetro. En cambio, para los sectores de **Peine** y **Tilopozo**, esta condición no se presenta.

Específicamente, para el área de estudio las variaciones en los valores de conductividad eléctrica se pueden atribuir fundamentalmente a las características fisicoquímicas de los suelos, las cuales condicionan el comportamiento de los factores que influyen en el aumento a disminución de las sales en el perfil. Entre estos destaca la humedad, textura, estructura, porosidad, entre otros, estos pueden aumentar o disminuir la lixiviación, como también arrastrar las sales a la superficie por capilaridad, generando cambio en la concentración en el perfil a profundidad de muestreo.

La **materia orgánica** para el área de estudio varía desde porcentajes inferiores a 0,1% hasta un 21,3%, y en la mayoría de estos los valores se presentan bajo el 3%.

En el área de estudio (**Peine, La Punta-La Brava** y **Tilopozo**), en general se observan importantes variaciones en los porcentajes de materia orgánica determinados para los puntos en los diferentes monitoreos, destacando que tanto los puntos con las mayores concentraciones como los mínimos, corresponden a los mismos muestreos. En general la disponibilidad varía de muy baja a baja, siendo las categorías normal, alta y muy alta no frecuentes.

En términos generales, los puntos de menor porcentaje de materia orgánica se asocian a sectores sin cobertura vegetal, o cuando esta existe, es del tipo arbustiva, pero asociadas a suelos de texturas gruesas o con alto contenido de sales, tanto en superficie como en profundidad. Por otra parte, los puntos con 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

<sup>46</sup> Capacidad de Uso VII, son suelos con limitaciones severas que los hacen inadecuados para cultivos y su uso fundamental es pastoreo y forestal (CIREN, 1996)

<sup>47</sup> Corresponden a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal, y su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación o protección de hoyas hidrográficas (CIREN, 1996).

contenido de materia orgánica en profundidad es muy alto, lo que se debe probablemente a la presencia en profundidad de abundantes restos vegetales, mineralizados, correspondiendo a antiguas vegas enterradas por fenómenos de depositación.

El **pH** del área de estudio varía entre 6,8 y 9,19 (neutro, medianamente básico, moderadamente básico, ligeramente alcalino y alcalino), siendo los suelos de mayor frecuencia los de pH moderadamente básico y ligeramente alcalino, en menor proporción los suelos medianamente básico, y las restantes categorías muy poco frecuentes.

En el sector de **La Punta-La Brava**, se observa que el pH del suelo presenta un comportamiento similar en los mismos puntos para los diferentes monitoreos, es decir, aun cuando existen variaciones numéricas, la mayoría de los puntos mantiene su categoría, siendo esto un indicador de estabilidad del sistema.

En cambio, en el sector **Peine**, los valores de pH presentan variaciones entre los mismos puntos para los diferentes monitoreos entre M1 y M4, sin embargo, los cambios de categoría son muy escasos. En cambio, en M5 y M6 se observa una disminución del pH en la mayoría de los puntos, lo que determina que más de la mitad de los puntos pase a categoría medianamente básico e incluso neutro.

En el sector de **Tilopozo**, el pH de los puntos asociados a los monitoreos M1 a M3 son similares en términos de categoría, donde dominan los suelos moderadamente básico y ligeramente alcalino. En M4 se observa una alcalinización de los suelos por lo que la mayoría de los puntos presenta un pH ligeramente alcalino.

En M5, en la totalidad de los puntos de muestreo se observa una leve acidificación del suelo, pero manteniendo la categoría dominante de los suelos del sector (moderadamente básico) y en M6 el pH es similar al presentado en los primeros monitoreos, excepto algunos puntos donde este es neutro.

En general para el área de estudio, aun cuando se observan variaciones numéricas en la mayoría de los monitoreos, estas generan pocos cambios 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 de estudio varía entre 3.150 y 187.805 mg/kg. dependiendo el 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, luego M2, M4, M5 y los más altos en M6 y M3, destacando que la mayoría de los puntos de muestreo aumentan el contenido de sales solubles, respecto a M1.

Respecto a este parámetro, el agua (tanto superficial como de las precipitaciones), la temperatura y el tipo de suelo, son los principales factores que determinan el movimiento de las sales en el perfil, es así como el rol del agua es mover la sales en el perfil, ya sea profundizándolas (lixiviación) o moviéndola hacia la superficie por capilaridad. En este proceso la temperatura ambiental es fundamental dado que, a mayores temperaturas, mayor será la evaporación del agua desde el perfil, ocasionando la acumulación de sales en horizontes más superficiales, junto con las condiciones intrínsecas de un determinado sustrato, en términos de facilitar tanto el ascenso como descenso del agua en el perfil, como también la infiltración de las aguas lluvias. Tomando en consideración estos antecedentes, se podría señalar que, en el aumento de la concentración de sales solubles observadas en el área, no existirían factores antrópicos que estén jugando un rol relevante en este proceso.

La **permeabilidad** (conductividad hidráulica) para el área de estudio varía entre 0,2 cm/h a 3.524,1 cm/h, presentando un comportamiento muy variable en el área de estudio, pero con una velocidad de infiltración del agua dominante de alta a muy alta, siendo las permeabilidades más bajas muy escasas en el área.

En relación con los factores que determinan la velocidad de infiltración del agua en el perfil del suelo, la principal condición corresponde a la textura y estructura del suelo, las cuales están relacionadas con el tamaño y número de los poros, que en el área de estudio presentan una gran variabilidad debido a la heterogeneidad de los materiales que componen los distintos tipos de suelos presentes. Otro factor importante es de carácter antrópico, y está relacionado con la compactación del suelo, y que en el área no se verifica, por lo tanto, la variación entre puntos se debe exclusivamente a las características de los suelos y a sus cambios generados por factores ambientales.

Respecto al **nitrógeno disponible**, en el área de estudio la concentración de este macroelemento una variación importante, con valores entre 1 a 58 mg/kg. En general, para los tres sectores, los menores valores se presentan en los monitoreos M1, M3, M5 y M6, correspondiendo a muestreos invernales los primero y estival el último, lo que implica que no existiría para el total del área de estudio una relación directa entre estos resultados y la estacionalidad. Los mayores valores se presentan tanto en M2 como en M4, ambos monitoreos estivales.

En el sector **La Punta-La Brava**, el nitrógeno disponible en los monitoreos invernales en la mayoría de los puntos es muy bajo, siendo la categoría baja poco frecuente. En los monitoreos estivales éste es principalmente medio y bajo. Las restantes categorías están poco representadas. Situación similar se observa en los monitoreos estivales de los sectores **Peine y Tilopozo**.

La disponibilidad de nitrógeno en el suelo depende de muchos factores destacando: clima (temperatura, precipitaciones, radiación), estacionalidad de medición, vegetación, topografía, orientación de la pendiente, tipo de suelo, material parental, presencia de microorganismos, entre otros. Sin embargo, es necesario destacar que la mayoría de estos factores son



irrelevantes dado la proximidad de los puntos de muestreo, excepto estacionalidad, precipitaciones y la variación espacial del tipo de suelo –la cual se puede presentar, incluso en puntos muy cercanos-. Sin embargo, basado en los resultados, tanto la estacionalidad como la precipitación para el par de estudio en su conjunto, no serían factores que modifiquen la disponibilidad, por lo que se estima que el factor principal es el suelo, esto dado la heterogeneidad de los materiales que lo constituyen.

Aun considerando lo anterior, se requiere de más información para determinar que factor o factores podrían explicar la variación del contenido de nitrógeno en los diferentes puntos de muestreo entre estaciones.

En cuanto al **potasio disponible** y de acuerdo con los resultados de los monitoreos, en el área de estudio se presentan valores muy disímiles, tanto a nivel de sector como también de punto de muestreo, principalmente en los monitoreos M1, M2, M3 y M4, mientras que en M5 y M6, la variación entre puntos es menor y los valores en la concentración de potasio varían entre 194,4 y 14.521 mg/kg.

El potasio disponible en el sector de **La Punta-La Brava** en la totalidad de los puntos es alto, mientras que en **Peine** es adecuado a alto y en **Tilopozo** es mayoritariamente alto, con algunos puntos donde este es adecuado.

Se debe considerar que la disponibilidad de potasio en el suelo es multifactorial, destacando entre estos factores: tipo de material parental, meteorización, minerales, textura del suelo, tipo de arcilla, tipos de suelo (fijadores), pH, lixiviación, relación con otros elementos, entre otros, por lo que se requieren mayores datos para determinar si la variación es constante, o sólo efecto de la época y precipitaciones. Pero en general, la variación estaría determinada por la heterogeneidad, tanto de los suelos presentes en cada sector, como la de los materiales que lo constituyen, estando estas variaciones no están relacionadas con las actividades antrópicas que se desarrollan en el área.

El contenido de **fósforo disponible** para el área presenta valores entre 1 y 157,1 mg/kg. Para el área de estudio, no se observa una similitud entre los valores de los puntos de muestreo entre monitoreos, y no hay correlación de los resultados que indiquen una similitud estacional.

Para el área de estudio, los menores valores se presentaron en M1, para ir en aumento hasta M4 y luego volver a descender en M5 y M6, esto indica que no existe una relación de los valores con la estacionalidad. En general para los 3 sectores, en la mayoría de los puntos la concentración de fósforo es muy baja y baja, las restantes categorías son de menor frecuencia.

La disponibilidad de este macroelemento en el suelo es multifactorial, entre los cuales se pueden señalar tipo de suelo y material parental, clima, erosión, pH, materia orgánica y humedad del suelo. Un factor de relevancia en este caso correspondería al tipo de suelo, que tiene una relación importante con los otros factores y debido a la heterogeneidad de los

materiales que los conforman, determina que existan variaciones relevantes entre puntos muy cercanos unos a otros. A su vez, este factor actúa como agente modificador del comportamiento de los otros factores, lo cual podría explicar dichas variaciones.

En el área no se observan actividades antrópicas locales que expliquen las variaciones en la concentración del fósforo.

Respecto a la **humedad**, ésta varía entre 1% y 79,1% y en términos generales la tendencia de los valores de humedad, se mantienen similares entre los monitoreos para los tres sectores, aun cuando existe una variación del porcentaje de humedad entre los mismos puntos para los diferentes monitoreos. Estos cambios, están definidos principalmente por el tipo de suelo, específicamente número y tamaño de los poros (textura), debido a la heterogeneidad de los materiales y a los procesos formativos del suelo.

Respecto a la **textura**, en el sector de **La Punta-La Brava**, predominan las texturas medias (franca y franco limosa) y moderadamente gruesa (franco arenosa) y gruesa (areno francosa) y con un menor participación se presentan los suelos de textura muy gruesa (arenosa) y moderadamente gruesa (franco arenosa). En el sector de **Peine**, no se observa una clara dominancia de una determinada textura en los diferentes puntos de muestreos, siendo ésta muy variable para los mismos puntos en los diferentes monitoreos, presentándose la mayoría de las texturas definidas para el área de estudio. En **Tilopozo**, las texturas dominantes en los suelos corresponden a media (franca y franco limoso) moderadamente gruesas (franco arenosa), moderadamente fina (franco arcilloso, franco arcillo arenoso y franco arcillo limoso) y con una escasa participación lo hacen texturas gruesa (areno francosa) y muy gruesa (arenosa).

Para el área de estudio tanto en M1 como en M2 y M5, se detectó **nivel freático** en 9 puntos a profundidad de trabajo, este número descendió a 8 en M3 y M6, y a 6 en M4. En general, el nivel freático es fluctuante en la totalidad de los monitoreos, excepto en el punto S 11, donde el nivel freático se ha profundizado a partir de M3, llegando a un máximo en M6, y no presenta tendencia alguna. Se observa una profundización del nivel freático en los monitoreos M5 y M6, respecto a los anteriores.

### 13.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)

La calidad de agua de los sistemas de lagunas del sector Peine, La Punta y La Brava y Tilopozo, se caracterizaron por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros y sulfatos, además de un pH generalmente alcalino relacionado con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total, junto a altas temperaturas acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua. Tales características se observaron principalmente en las lagunas de Peine, La Punta y La Brava, las cuales se encuentran más próximas al núcleo del salar, a diferencia del sector de Tilopozo que corresponde a un sistema de vegas menos salino, ubicado más alejado del núcleo, el cual está compuesto por pozas de 1,5 a 2 m de profundidad y por un pajonal hídrico de baja profundidad. Cabe mencionar que este pajonal se encontró sin agua en la última campaña de abril 2019.

Con los resultados obtenidos del tercer año de monitoreo, se puede señalar que no existen cambios en los parámetros evaluados que puedan ser asociados al proyecto. Si bien, hay algunas diferencias en calidad de agua, respecto a los registros de Línea Base, éstas pueden deberse a cambios naturales o a registros propios de la variación natural del sistema, sobre todo considerando que algunos rangos fueron establecidos con una sola campaña (enero 2015).

El análisis calidad de sedimentos contó con solo un monitoreo de Línea de Base como referencia (enero 2015), lo que podría explicar las diferencias encontradas entre el registro del PMB y dicho monitoreo de LB, como valores sobre el máximo para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica y fósforo total, mientras que el potencial redox en todas las estaciones presentó características reductoras con valores negativos, lo cual se relaciona directamente con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos.

Los análisis granulométricos realizados en invierno 2017, verano 2018 e invierno 2018, indican que se obtuvieron tamaños de grano medio entre *arena muy fina* y *arena media*, lo que corresponde a un rango más acotado de tamaño de grano medio que el estimado en la línea base el cual estuvo entre limo y arena muy gruesa. El análisis de granulometría de verano 2019 no se pudo llevar a cabo en el 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 en abril de 2019, formaron una masa compacta al evaporar el contenido de agua a baja temperatura (proceso que se realiza en el laboratorio según el método), imposibilitando la determinación del ensayo de Granulometría.

En cuanto a las comunidades biológicas, se detectaron abundancias y riquezas variables y en general dentro del rango establecido previamente en la línea de base, a excepción de

algunos casos puntuales. En algunos componentes como el fitobentos, fitoplancton y zooplancton, se observaron en general valores menores de abundancia en periodo de verano.

En relación a las variaciones de *fitobentos* y *fitoplancton* en la riqueza de géneros y abundancia total en los 3 sistemas, es probable que tengan relación con las variaciones estacionales dadas entre los periodos invierno y verano (muestreo post lluvias). Cabe destacar que en la campaña post lluvias se observó disminuciones en la abundancia y riqueza probablemente debido a que el invierno altiplánico de verano 2019 fue intenso, presentándose estaciones inundadas y diluidas como I-17 de la laguna Interna, o con altos niveles de salinidad en la misma laguna Interna y Saladita. Por otra parte, se observó retracción del espejo de agua en algunas estaciones de laguna La Brava, con menores profundidades lo cual también afectó el número de géneros presentes y la disminución de las abundancias totales.

Respecto al *zooplancton*, se registraron en general bajas riquezas en los tres sistemas monitoreados (0 a 5 *taxa*), siendo los zooplancteres más abundantes en Peine los copépodos Harpacticoidea y el branquiópodo *Artemia franciscana*. Esta última especie tuvo un incremento en su abundancia desde laguna Salada a laguna Interna, lo cual tiene relación con la variación en conductividad y salinidad dada en este sistema. Esta especie se considera como halofílica, encontrándose en ambientes incluso hipersalinos con salinidades por sobre los 90 g/L. En La Punta y La Brava, dominaron los copépodos del género *Boeckella* y también *Artemia franciscana*. *Boeckella* spp. se encontró mayoritariamente en laguna La Punta y *Artemia franciscana* en La Brava, lo que se relaciona con su nivel de tolerancia a la salinidad. En Tilopozo se observaron en general bajas abundancias totales, registrándose principalmente copépodos ciclopoídeos durante invierno.

El *zoobentos* tanto en invierno como en verano, mostró en general bajas riquezas (entre 0 y 6 *taxa*), con abundancias variables entre invierno y verano y entre los distintos sistemas. Tanto en Peine como en La Punta y La Brava, dominaron los insectos dípteros en todas las estaciones donde hubo registros (varias familias), siendo en algunas oportunidades dominantes los gasterópodos *Heleobia* sp. En el sector de Tilopozo dominaron ampliamente los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, tanto en invierno como en verano, en ambas estaciones que corresponden a pozas con afloramiento de agua subsuperficial. En el pajonal hídrico de baja profundidad dominaron los dípteros. La presencia de *Heleobia atacamensis* es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA) y ha sido descrita en literatura para el sector de Tilopozo.

Respecto de las *plantas vasculares acuáticas* y en términos comparativos el sector vegas de Tilopozo, registró un número mayor de especies respecto del sector Peine y menor a La Punta y La Brava, con especies distintas entre sistemas debido a la diferencia de salinidad

presentada entre pozas y lagunas Cabe mencionar que las plantas reportadas en los tres sectores correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria.

Los resultados de este monitoreo no muestran cambios significativos con respecto a los estudios previos, ni vinculados a la operación del proyecto. Sin embargo, la continuidad de estas evaluaciones irá evidenciando patrones naturales o detectando eventuales cambios en los sistemas en estudio.

### 13.6 En relación con Área Lagunas

De acuerdo con los resultados obtenidos en el **invierno de 2018** en base a las imágenes de alta resolución, se calcularon las superficies lagunares correspondientes a 61,9 ha para el sector de La Punta y La Brava y 51,5 ha para el sector Peine. Así mismo, desde imágenes de media resolución para invierno de 2018, se calculó una superficie de 63,7 ha para La Punta y La Brava y de 78,4 ha para Peine.

En cuanto a los resultados obtenidos desde imágenes de alta resolución en el **verano de 2018** la superficie calculada para La Punta y la Brava es de 35,9 ha y para Peine es de 49,4 ha. En tanto, desde imágenes de media resolución los resultados son 44,4 ha para La Punta y La Brava y 81,7 ha para Peine.

De acuerdo con lo anterior, las superficies resultantes del monitoreo 2018 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”*.

En general, se puede señalar que, desde imágenes de alta resolución, ambos sectores presentan valores menores de superficies lagunares en la temporada de verano o “seca” en comparación con la época de invierno, la que muestra los efectos de la temporada de precipitaciones o “invierno altiplánico”, concordante con lo observado a partir de imágenes de media resolución.

En cuanto a la validación del modelo, los mayores ajustes corresponden a los sectores que muestran una mayor definición de los cuerpos de agua en el periodo de verano, por sus características de topografía y tipo de sustrato, ya que se encuentran total o parcialmente delimitados por una diferencia de nivel de costra salina; por lo tanto, las respuestas espectrales son más claras, facilitando la determinación de umbrales de los parámetros del modelo y la clasificación final. Así mismo, los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes

lagunares, conformando un ecotono de vegetación, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua proveniente principalmente de los parámetros NDVI y NIR, lo que ocurre especialmente en invierno, periodo en que la humedad del suelo alcanza mayores superficies mediante surgencias evidentes en sectores de cuerpos de agua no permanentes, influyendo en los parámetros descritos. No obstante, los valores del índice *Kappa* y precisión global indican un ajuste considerable.

### 13.7 En relación con Nivel 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 a la fecha, para cada uno de los puntos de monitoreo, para el período abril 2018 a marzo 2019, los valores promedios anuales de los niveles del respectivo período se encuentran dentro del rango histórico.

En ambos sectores, se presentan pozos de variabilidad histórica estable, como es el caso de los pozos BA-05, BA-16 (en La Punta-La Brava) y BA-22 (Peine); y otros como los pozos BA-07 en La Punta La Brava y BA-21 en Peine, presentan tendencia al descenso de sus niveles, marcado por la disminución de los valores mínimos año tras año.

Para el verano 2019 (diciembre 2018 y/o enero 2019) todos los pozos presentan niveles bajo los mínimos históricos, sin embargo muestran pick de cota en el mes de febrero 2019, esto es un alza directa producto de las lluvias del invierno boliviano. Posterior a ello, en el mes de marzo 2019, los niveles bajan aproximadamente en promedio entre 6,0 cm. a 7,7 cm en LP-LB; y entre 3,4 a 3,6 cm. en Peine. Lo anterior indica una mayor sensibilidad en los niveles freáticos en las lagunas de LP-LB en relación a la precipitación del sector. A pesar de estos descensos en los niveles, la condición para marzo 2019 es superior en cota a marzo 2018.

#### 13.7.1 Para los pozos del Sector la Punta-La Brava, se tiene que:

Se puede observar para el presente año de monitoreo (abril 2018 a marzo 2019) que los pozos del Sector 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), ajustandose al rango histórico. Esta variabilidad se presenta con ciclos anuales bien definidos, salvo algunas excepciones, como las que se indican a continuación:

- El pozo BA-05, presentó en marzo 2019 registros de niveles de hasta 2.300,123 ms.n.m., es decir cota de 1 cm. bajo el mínimo histórico de 2.300,131 ms.n.m. (2013-abr 2016).
- El pozo BA-16, presentó en marzo 2019 registros de niveles de hasta 2.300,803 ms.n.m., es decir cota 3,3 cm. bajo el mínimo histórico de 2.300,836 ms.n.m. (2013-abr 2016).

- El pozo BA-07, presentó desde noviembre 2018 a enero 2019 registros de niveles de hasta 2.299,957 ms.n.m., es decir cota 3,3 cm. bajo el mínimo histórico de 2.299,99 ms.n.m. (2013-abr 2016).

Los niveles de BA-05 y BA-16, considerando todos los registros a la fecha, se presentan en general tendencias de sus niveles estables, en comparación con BA-07, esto es dentro de su variabilidad natural, con excepción de los registros de marzo 2019 antes mencionados y con una amplitud de variación interanual en promedio entre los 6 cm. a los 12 cm.

Para BA-07, la serie presenta una tendencia al descenso de sus niveles, tanto los valores máximos como mínimos se observan año tras año mas bajos que el anterior. La excepción es el registro de febrero 2019, donde llega a un pick máximo de 2.300,1 ms.n.m. ascenso nunca antes registrado posterior al año 2013 en época de verano. Sin embargo, posterior a ello, los niveles descienden 7,7 cm. idem a pozo BA-05. A pesar de esta fuerte bajada, el valor de marzo 2019 es superior al valor de marzo 2018 en 4,1 cm. Se espera que, este aumento en los niveles, produzca un cambio en la tendencia. Sin perjuicio de lo anterior, el promedio de los niveles del último año se mantiene por sobre el mínimo histórico y de línea de base.

### **13.7.2 Para los pozos del Sector Peine, se tiene que:**

Los niveles para el pozos BA-21, presenta ciclos (entre un valor alto y uno bajo), más extensos que BA-22 y que los pozos del sector La Punta-La Brava. 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.

El pozo BA-21, presentó en el año 2018 hasta enero 2019 registros de niveles de hasta 2.300,037 ms.n.m., es decir cota 3,5 cm. bajo el mínimo histórico de 2.300,072 ms.n.m. (2013-abr 2016). A pesar de ello, el promedio anual del último periodo se presenta por sobre el mínimo histórico.

Para BA-21, los registros de la serie indican una tendencia al descenso de los valores mínimos de la serie, y un ascenso de los valores máximos. En febrero del 2019, el máximo llegó hasta 2.300,193 ms.n.m. siendo éste muy similar a la cota de abril 2015.

Para el pozo BA-22, la serie presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus niveles, con comportamiento de aumento de los niveles en los meses de invierno (junio a agosto) y descensos en la temporada de verano (enero-febrero).

BA-22, presentó valores bajo el mínimo histórico en diciembre 2018 y enero 2019, llegando hasta una cota de 2.300,260 ms.n.m. en diciembre, es decir, casi 1 cm. bajo el mínimo histórico (2.300,268 ms.n.m.). Sin embargo estos valores aumentaron en las mediciones de febrero y marzo 2019, llegando hasta un pick de 2.300,312 ms.n.m. en febrero 2019. La

medida de marzo 2019 (2300,278 ms.n.m) si bien bajó respecto de la febrero, indica estar por sobre la cota de marzo 2018 (2300,261 ms.n.m). Con todo lo anterior, el promedio de sus niveles el último año, se encuentra por sobre el mínimo histórico y de línea de base.

### 13.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema

**Respecto al análisis de cambios en la cobertura vegetal de los sectores y en la estructura comunitaria de la vegetación mediante transectas**, se observa una estabilidad en la cobertura y composición de las especies durante el periodo de seguimiento a nivel de los sectores de evaluación, con cambios específicos en la cobertura y estructura de ciertas transectas. En términos generales, estas variaciones no constituirían cambios significativos y los descensos estimados se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar.

Con respecto a la variación de la cobertura en las transectas en los tres años de monitoreo (2016-2019), se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, sin mostrar una tendencia sostenida desde MBO a M6.

En términos generales, para la formación de *S. californicus* que sería la formación con la condición más sensible para la detección de alteraciones en el suministro hídrico, los análisis en relación a las variaciones de la estructura comunitaria indican una estabilidad en las coberturas de la formación y de la especie, sin observar cambios en la composición o coberturas significativas o importantes en los tres años de seguimiento.

Por otra parte, las mayores variaciones de descensos de coberturas y de estructura comunitaria, se observan para las especies o formaciones que presentan menor cobertura vegetal.

En términos de riqueza, en general se mantiene estable, y si bien aumentan tres especies en último monitoreo (M6), ésta no incide en cambios en la composición o cobertura de especies, dada la baja presencia y cobertura de sus registros en una transecta (T07; Peine).

**Respecto a la variación de la salinidad en las transectas de monitoreo**, la comparación de la cobertura absoluta de afloramientos salinos registrada en las transectas de vegetación, en general se observa estable durante el periodo de seguimiento en los sectores de estudio. Salvo dos casos específicos con ascenso de la salinidad superiores a un 10% (esto respecto al primer registro existente, siendo éste el M1): la T18 de Herbazal de *J. balticus* en Tilopozo, con incremento promedio de 14% y por otra parte, se registra un ascenso en el Matorral de *T. absinthioides* en T05 y T06, lo cual está acompañado de descensos en la cobertura vegetal.

En conclusión, de acuerdo a la evaluación del estado ecológico en las transectas de vegetación en base a lo establecido PMB “se entenderá como un cambio en tendencia si



*después de 3 años consecutivos (periodos), se observa una disminución sostenida de la cobertura de especies, aumento de sustrato salino (medición adquirida en el monitoreo del suelo) o cambios en la estructura comunitaria (composición de especies)”, se concluye la mantención del estado ecológico en la cobertura, la composición de las especies y el sustrato salino durante el periodo de seguimiento a nivel de los sectores de evaluación, con cambios específicos en la cobertura y estructura de ciertas transectas.*

**En cuanto al análisis de distribución y cobertura de la vegetación azonal mediante el método de extracción de valores de NDVI**, se concluye una mantención general de la variabilidad dentro del rango histórico en la actividad vegetal según la cobertura y los valores del NDVI obtenidos tanto de imágenes de alta resolución y como Landsat en los sectores de estudio Tilopozo- La Punta y La Brava y Peine.

En el caso específico de las formaciones de vega (herbazal) de *Schoenoplectus californicus*, el sector de Tilopozo – La Punta y La Brava se encuentra dentro del rango de los registros históricos en el periodo de operación del proyecto. El sector de Peine registra en la cobertura activa de imágenes de alta resolución y el NDVI Landsat, una tendencia al descenso por debajo del rango histórico desde el inicio de los monitoreos.

En conclusión, respecto a la evaluación de cobertura de vegetación activa mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución, según lo establecido por el PMB respecto a que *“se entenderá un cambio de tendencia sí después de 3 años consecutivos, se observa una disminución sostenida de la cobertura, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)”*, se registra una mantención del estado ecológico de la cobertura activa a nivel de los sectores de evaluación, con una tendencia específica a la baja en la formación herbazal de *S. californicus* del sector Peine.

**En cuanto a superficies lagunares**, el análisis comparativo de las superficies calculadas durante la etapa de monitoreo con la línea de base, señala 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 de estos sistemas lagunares.

Para este componente *“se entenderá un cambio de tendencia sí después de 3 años consecutivos, se observa una disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)”*, según lo establecido en el PMB. De lo anterior, y en base al análisis de tendencia del comportamiento temporal de los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine presentado en este informe, se concluye que la comparación entre la dinámica pre-operación y operación del proyecto no reúnen las características para indicar que se está frente a un cambio en el estado ecológico de los sistemas lagunares hasta este tercer año de monitoreo.

**En relación con Niveles Freáticos**, se puede señalar que, del análisis de tendencia para los 3 últimos años de monitoreo, en general, los niveles freáticos se presentan estables para ambos Sectores. En particular, para el Sector La Punta-La Brava los 3 pozos del Sector (BA-05, BA-07 y BA-16) presentan sus promedios anuales dentro del rango histórico y por sobre el mínimo histórico. Para el Barreno BA-07, se observa que cada año el promedio de sus niveles es menor, aun así, están dentro del mínimo histórico.

Para el Sector Peine, se tiene que los niveles freáticos para el pozo BA-21 se presentan con una inclinación a la baja en sus valores mínimos, pero con promedios anuales de nivel por sobre el mínimo. El último año (período abril 2018 – marzo 2019) se presenta con un promedio muy cercano al mínimo de línea de base. El pozo BA-22 se presenta con una variación de niveles más estables a lo largo de los 3 años, con sus promedios anuales dentro del rango histórico y por sobre el mínimo de línea de base.

A partir de lo anterior, para los niveles freáticos se puede concluir que no hay cambio en el estado ecológico, dado que los promedios anuales de los 3 años de monitoreo se encuentran por sobre el mínimo histórico.

## 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.
- KENDALL, M.G., Rank correlation methods. 3 ed. Ed. Hafner Publishing Company. New York, 1962.
- KRIGE, D. G. A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand: By DG Krige (Doctoral dissertation, University of the Witwatersrand). 1951.
- LAMOLDA H. Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes Landsat ETM+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales. Tesis de pregrado para optar a la titulación en ingeniero técnico en topografía. Universidad Politécnica de Madrid. 124 pp. 2008.
- LUEBERT, F y P. Pliscoff. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago. 2006. 316 pp.

- LUEBERT, F y P. Pliscoff. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago, Chile: Universitaria. 2017.
- MANN. H.B., Non-parametric tests against trend, *Econometría*, 13, pp. 245–259, 1945. [22]
- MMA, Ministerio de Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y Dirección General de Aguas (DGA). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Santiago, 2011.
- MUELLER-DUMBOIS, D y H. Ellemberg. Aims and methods of vegetation ecology. John Willey, Nueva York, 1974. 547 p.
- MUÑOZ Marín, C. M. Análisis de la variabilidad en series hidrometeorológicas en una cuenca de cabecera del Río Segura. 2008.
- RAHMAN, M y A. Islam. *NDVI derived sugarcane area identification and crop condition assessment*. University of Rajshahi Bangladesh, Dept. of Geography and Environmental Studies, 1995.
- RAMSAR. Documento informativo Ramsar No. 1. Ramsar, Iran, 1971. Consultado en septiembre de 2016 del sitio web: <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007sp01.pdf>
- SATELLITE IMAGING Corporation. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A. Consultado en agosto de 2016 del sitio web: <http://www.satimagingcorp.com>
- TUCKER, J. *Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation*. *Remote Sensing of the Environment* 8 (2), 127-150 pp. 1979.
- WOENSBY, C. E. (1973). Modified step-point system for botanical composition and basal cover estimates. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 26(4), 302-303.

## 14.2 Fauna Vertebrados Terrestres

### Artículos científicos y capítulos de libros

- Araya, B. & Millie, G. (1998). *Guía de campo de las aves de Chile* (8ª. Ed.). Santiago, Chile: Universitaria.
- Begon, M., Townsend, C.R. & Harper, J.L. (1996). *Ecology: Individuals, Populations and Communities* (3ª. Ed.). Oxford, UK: Blackwell Science.

- Benavides, E., Ortiz, J.C. & Formas, J.R. (2002). A new species of *Telmatobius* (Anura: Leptodactylidae) from Northern Chile. *Herpetológica*, 58(2), 210-220.
- Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2015) Plan de Manejo Biótico. Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta. Informe técnico.
- Cei, J.M. (1962). *Batracios de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones de la Universidad de Chile.
- Clements, F.E. (1905). *Research Methods in Ecology*. Lincoln, Nebraska: University of Nebraska Publishing Company.
- Cofré, H. & Marquet, P. (1999). Conservation status, rarity, and geographic priorities for conservation of Chilean mammals: An assessment. *Biological Conservation*, 88, 53-68.
- Cuevas, C. & Formas, R. (2002). *Telmatobius philippii*, una nueva especie de rana acuática de Ollagüe, norte de Chile (Leptodactylidae). *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(1), 245-258.
- De la maza, M. & Bonacic, C. (Eds.) (2014). *Manual para el monitoreo de fauna silvestre en Chile*. Santiago, Chile: Ediciones UC.
- Díaz-Páez, H. & Ortiz, J.C. (2003). Evaluación del estado de conservación de los anfibios en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 509-525.
- Donoso-barros, R. (1966). *Reptiles de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones de la Universidad de Chile.
- Glade, A. (Ed.) (1993). *Libro Rojo de los vertebrados terrestres de Chile*. Santiago, Chile: CONAF.
- Iriarte, A. (2008). *Mamíferos de Chile*. Barcelona, España: Lynx Edicions.
- Iriarte, A. & Jaksic, F. (2012). *Los carnívoros de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones Flora & Fauna y CASEB.
- Iriarte, A., Lagos, N. & Villalobos, R. (2011). *Los Mamíferos de la Región de Antofagasta*. Santiago, Chile: Ediciones Flora & Fauna Chile Limitada.
- Jaramillo, A. (2005). *Aves de Chile*. Barcelona, España: Lynx Edicions.

- Johnson, A.W. & Goodall, J.D. (1965). *The birds of Chile and Adjacent regions of Argentina, Bolivia, and Perú, Volume I*. Buenos Aires, Argentina: Platt Establecimientos Gráficos.
- Magurran, A.E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, EEUU: Springer Netherlands.
- Mann, G. (1978). Los pequeños mamíferos de Chile (marsupiales, quirópteros, edentados y roedores). *Gayana zoológica*, 40, 1-342.
- Martínez, D. & González, G. (2005). *Las aves de Chile. Nueva guía de campo*. Santiago, Chile: Ediciones del naturalista.
- Martínez, D & González, G (2017). Martínez-Piña, D. & González-Cifuentes, G. (2017). *Las aves de Chile. Guía de campo y Breve Historia Natural*. Ediciones del Naturalista, Santiago, Chile.
- Muñoz-Pedrerros, A. (2010). *Huellas y signos de mamíferos de Chile*. Valdivia, Chile: Ediciones CEA.
- Muñoz-Pedrerros, A. & Yáñez, J. (2009). *Mamíferos de Chile* (2ª. Ed.). Valdivia, Chile: Ediciones CEA.
- Núñez, H., Maldonado, V. & Pérez, R. (1997). Reunión de trabajo con especialistas de herpetología para categorización de especies según estados de conservación. *Noticiario mensual Museo Nacional de Historia Natural*, 329, 12-19.
- Pincheira-Donoso, D. & Núñez, H. (2005). *Las especies chilenas del género Liolaemus. Taxonomía, sistemática y evolución*. Santiago, Chile: Atenas.
- Pincheira-Donoso, D., 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

BOLHUIS H, Cretoiu MS, Stal LJ. 2014. Molecular ecology of microbial mats. FEMS microbiology ecology, 90(2): 335-350.

BURNE R, L Moore. 1987. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. Palaios, 241-254.

CARDOSO DC, Cretoiu MS, Stal LJ, et al. 2019. Seasonal development of a coastal microbial mat. Scientific reports, 9(1): 9035.

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

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.

KONHAUSER K. 2007. Introduction to Geomicrobiology. Blackwell Science. Australia. 425pp.

RIDING R. y Awramik, S.M. 2000. Microbial Sediments. Springer-Verlag, Berlin. 331pp.

#### 14.4 Suelo o Sustrato

American Public Health Association, 2012. American Water Works Association & Water Environment Federation. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 22 nd Edition. 2510 B. Laboratory Method.

American Public Health Association, 2005. American Water Works Association & Water Enviroment Federation. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 21 nd Edition. 4500 B. Electrometic Method.

Bernier, R. 2000. Técnicas de diagnóstico de fertilidad del suelo, fertilización de praderas, cultivos y mejoramiento de praderas. INIA Remehue

CADE-IDEPE, 2004. Cuenca Salar de Atacama: Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. MOP, Dirección General de aguas.

CIREN, 1996. Descripción de suelos. Materiales y símbolos.

CNA, 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de chile. Determinación de nitrógeno disponible, extraíble en KCl

CNA, 2007. Método de análisis de lodos y de suelos. Método 5.0 of.2007. Ministerio de Agricultura.

CNA, 2007. Método de análisis de lodos y de suelos. Método 4.0 pH. Ministerio de Agricultura.

INIA, 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. 7.1 Oxidación con dicromato en medio ácido y determinación colorimétrica del cromato reducido.

INIA, 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. 6.1 determinación de fósforo disponible.

INIA, 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. 4.1 determinación de potasio disponible.

Rioja Molina, A. (2002), Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A., España.

U.S.D.A. 2012. Field book for describing and samplly soils. Versión 3.0.

SAG 2007. Protocolo de métodos de análisis para suelo y lodos. Determinación de textura.

Sierra C. Y Rojas, C. 1985. La materia orgánica y su efecto en las características físico-químicas y biológicas del suelo. INIA.

Sierra, C., Céspedes, R. y Osorio, A. 2001. Caracterización de la salinidad de los suelos y aguas del valle del río Copiapó. INIA.

Soil Survey Staff. (1993). Soil survey manual. SCS. U.S. Dep. Agric. Handb. 18. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C. (<http://soils.usda.gov/technical/manual/>).

[www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/NITRATOS%20Y%20SALARES.pdf](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/NITRATOS%20Y%20SALARES.pdf)

#### **14.5 Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)**

Alonso, H. & Risacher, F. (1996) Geoquímica del Salar de Atacama, parte 1: origen de los componentes y balance salino. *Revista Geológica de Chile* 23:113–122.

Araya, J.M. & L. Zúñiga. (1985). Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. *Boletín Limnológico de Chile*, UACH 110 p.

Biese, W.A. (1947). Revisión de los moluscos terrestres y de agua dulce provistos de concha de Chile. Parte II, Familia Amnicolidae (continuación). *Boletín del Museo de Historia Natural* 23: 63-77.

Bertrand, H. (1995). Les insectes aquatiques d'Europe. *Encyclopédie Entomologique*. Volume II: Trichoptères, Lepidoptères, Diptères, Hyménoptères. Paul Lechevalier Editeur (Paris). 543 pp.

Blott, S.J. & Pye, K. (2001). 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 separated from *Navicula sensu lato* *Frustulia*. In: H Lange-Bertalot (ed.) Diatoms of Europe (Vol. 2) ARG Gantner Verlag, Ruggell. 526 p.
- Lopretto, E. & G. Tell. (1995). Ecosistemas de Aguas Continentales. Tomo III. Ediciones Sur. La Plata, Argentina. 1401 p.
- Lugo-Ortiz, C.R. & W.P. McCafferty. (1995). Three distinctive new genera of Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) from South America. *Annals Limnologie* 31: 233-243.
- Lugo-Ortiz, C.R. & McCafferty. (1999). Revision of South American species of Baetidae (Ephemeroptera) previously placed in *Baetis* Leach and *Pseudocloeon* Klapálek. *Ann Limnol* 35:257-262.
- Maidana, Nora I, & Seeligmann, Claudia T. (2015). Diatomeas (Bacillariophyceae) en humedales de altura de la Provincia de Catamarca (Argentina): III. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 50(4), 447-466.
- Merritt, 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 Wüste Atacama auf Befehl der chilenischen Regierung im Sommer 1853–54. Halle: E. Anton. 192 + 62 pp., 28 láminas.
- PMB. (2015). Anexo 2, Adenda 5 RWL. Plan de Manejo Biótico. Informe consolidado de Líneas bases. Ecosistemas Terrestres y Ecosistemas Acuáticos Continentales. Proyecto: “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium - CEA. Santiago, Chile, octubre 2015.

- Pennak, R.W. (1989). Fresh-water invertebrates of the United States. Third Edition. John Wiley & Sons, New York, New York.
- Pereira, I. & O. Parra. (1984). Algas filamentosas dulceacuícolas de Chile I. Algas bentónicas de la Región de Concepción. *Gayana Bot.* 41 (3/4): 201-224.
- Prescot, G.W. (1970). How to to know the fresh-water algae. Brown company publishers. Dubuque, Iowa.
- Ribera, F. (2016). Salinidad y aguas subterráneas. In FCIHS (Ed.), *Hidrogeología emergente. 50 Aniversario CIHS.* (pp. 97–110). FCIHS.
- Rivera, P. (1983). A guide for references and distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18°28' S and 58°S. *Bibliotheca Diatomologica*, Band 3. J. Kramer, Vaduz. 386 p.
- Round, F.E., Crawford R.M. & Mann D.G. (1996). *The Diatoms. Biology and morphology of the genera.* Cambridge Univ. Press. Cambridge. 735 p.
- Rumrich, U., H. Lange-Bertalot & M. Rumrich. (2000). Diatomeen der Anden von Venezuela bis Patagonien/Feuerland. En: H. Lange-Bertalot (Ed.), *Iconographia Diatomologica Vol. 9*, 673 p., A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C. & Ortega, H. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. (Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural, Ed.). Lima.
- Santibáñez, F., Roa, P. & P Santibáñez (2008). El medio físico. En: *Biodiversidad de Chile. Patrimonio y desafíos.* CONAMA.
- Simonsen, R. (1987). Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Friedrich Hustedt. J. Cramer, Berlin & Stuttgart, 1: 525 pp, 2: 597, 3: 619.
- Stevenson J, M. Bothwell & R. Lowe. (1996). *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystem.* Academic Press. Pp 753.
- Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.
- Wetzel, R.G. & Likens, E.(1991). *Limnological analyses.* Springer–Verlag. New York, USA.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems, Third Edition.* Academic Press.



## 14.6 Área de las Lagunas

Anexo 2, Adenda 5 EIA, Apéndice B, Proyecto Rockwood Lithium 2015. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada. Región de Antofagasta, 10-2015.

Anexo 3, Adenda 5 EIA, Proyecto Rockwood Lithium 2015. Plan de seguimiento ambiental y Plan de alerta temprana de los recursos hídricos. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium – SGA. Region de Antofagasta.

CHANDER G., B. Markham, D. Helder, 2009. *Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment*, Volume 113, Issue 5, 893-903 pp.

CHUVIECO, E. 2006. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Editorial Ariel, Barcelona, España.

CONGALTON, R. G., ODERWALD, R. G. & MEAD, R. A. 1983. *Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 49: 1671-1678.

CONGALTON, R. G. 1991. *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.

CORNELLÀ, O., SALAS, J., ARAVENA, R., GUZMÁN, E., GUIMERÁ, J., TORE, C., VON IGEL, W., HENRÍQUEZ, A, FOCK, A. Hidrogeología de los sistemas lagunares del margen E del Salar de Atacama. XII Congreso Geológico Chileno. Santiago, 22-26 de noviembre, 2009.

CRIST, E. P. AND CICONE R.C. 1984. *Application of the Tasseled Cap concept to simulated Thematic Mapper data, Photogrammetric, Eng. Remote Sens* Vol. 50(3), 343-352.

CRIST, E. P., LAURIN, R. AND CICONE, R.C. 1986. *Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data. In Proceedings of IGARSS' 86 Symposium*, 1465- 70.

- DGA, Dirección General de Aguas. 2014. División de Estudios y Planificación. Análisis de los mecanismos de evaporación y evaluación de los recursos hídricos del Salar de Atacama. Santiago, 2014.
- FLORES CARTAGENA, D. 2002. Identificación y Análisis de Cambios en Bofedales de la Cordillera Occidental y del Altiplano de Bolivia. Tesis Maestría en Ciencias, Conservación de Cuencas.
- HERNÁNDEZ, H. J. Apuntes de clases de SIG y Percepción Remota. Magíster en áreas silvestres y conservación de la naturaleza. Universidad de Chile. 2005.
- HUDSON, W. D. & RAMM, C. W. 1987. *Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 53: 421-422.
- JAX, K., 2010. *Ecosystem Functioning*. Cambridge University Press, 272 pp
- KAUTH, R. J., & THOMAS, G. S. (1976). *The tasseled cap a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. In Proceedings of the symposium on machine processing of remotely sensed data, LARS, Purdue University, West Lafayette, IN (pp. 441 - 451).*
- LANDIS J & KOCH G, 1977: *The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics* 1977; 33:159-74.
- LAMOLDA H. Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes Landsat ETM+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales. Tesis de pregrado para optar a la titulación en ingeniero técnico en topografía. Universidad Politécnica de Madrid. 124 pp. 2008.
- LI, L., VRIELING, A., SKIDMORE, A., WANG, T., ROMAN-MUÑOZ, A. & TURAK, E., 2015. *Evaluation of MODIS Spectral Indices for Monitoring Hydrological Dynamics of a Small, Seasonally-Flooded Wetland in Southern Spain. Original Research. Wetlands* 35: 851-864.
- LI, Y., ZHU, X., PAN, Y., GU, J., ZHAO, A. & LIU, X. (2014). *A Comparison of Model-Assisted Estimators to Infer Land Cover/Use Class Area Using Satellite Imagery. Remote Sensing*. 6. 8904-8922.

- 
- MMA, Ministerio de Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y Dirección General de Aguas (DGA). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Santiago, 2011.
- ORTIZ, C., ARAVENA, R., BRIONES, E., SUAREZ, F., TORE, C. & MUÑOZ, J.F., 2014. *Sources of surface water for the Soncor ecosystem, Salar de Atacama basin, northern Chile. Hydrological Sciences Journal*, 59 (2), 336 – 350.
- RCA N°21/2016. Resolución exenta N°21, Antofagasta, 2016. Calificación ambiental del Proyecto “EIA Modificaciones y Mejoramientos de Sistema de Pozas de Evaporación Solar, en el Salar de Atacama”.
- RWL, Rockwood Lithium. 2016a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año I, agosto de 2016.
- RWL, Rockwood Lithium. 2016b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año I, diciembre de 2016.
- RWL, Rockwood Lithium. 2017a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año II, agosto de 2017.
- RWL, Rockwood Lithium. 2017b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año II, diciembre de 2017.
- RWL, Rockwood Lithium. 2018a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año 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 Anual N°3 del Plan de Manejo Biótico, se entregan separados y de forma individual al presente documento.