Plan de Manejo Biótico

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

(RCA N°21/2016)”

Monitoreo Invierno 2024 – Verano 2024-2025

Informe Anual N°9



Región de Antofagasta

Agosto de 2025

TABLA DE CONTENIDOS

1 RESUMEN 1

2 INTRODUCCION 32

3 OBJETIVO 49

4 ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME 49

5 GLOSARIO 51

6 FLORA Y VEGETACIÓN 53

6.1 MATERIALES Y MÉTODOS 55
6.1.1 COBERTURA Y VEGETACIÓN (COT) 55
6.1.2 FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS) 73
6.1.3 DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL – MÉTODO DE IMÁGENES SATELITALES - NDVI 91
6.2 RESULTADOS 101
6.2.1 RESULTADOS COBERTURA Y VEGETACIÓN (COT) 101
6.2.2 RESULTADOS FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS) 117
6.2.3 RESULTADOS DE DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL - MÉTODO NDVI 157
6.2.4 Límites considerados en la evaluación de la flora y vegetación 163

7 FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES 164

7.1 MATERIALES Y MÉTODOS 165
7.1.1 Descripción del área de estudio 165
7.1.2 Ubicación de puntos muestreo 167
7.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales 175
7.1.4 Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control 175
7.1.5 Materiales y equipos utilizados 187
7.1.6 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro 187
7.2 RESULTADOS 188
7.2.1 Resultados del monitoreo campaña de invierno 2024 188
7.2.2 Resultados del monitoreo campaña de verano 2025 205
7.2.3 Límites considerados en la evaluación 224

8 TAPETES MICROBIANOS 225

8.1 MATERIALES Y MÉTODOS 226
8.1.1 Descripción del Área de Estudio 226
8.1.2 Estaciones de Monitoreo 227
8.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales 229
8.1.4 Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control 230
8.1.5 Materiales y Equipos Utilizados 233
8.1.6 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro 233

8.2 RESULTADOS 234
8.2.1 Resultados Campaña Invierno 2024 234
8.2.2 Resultados Campaña Verano 2025 281
8.2.3 Límites Considerados en la evaluación de Tapetes Microbianos 315

9 SUELO O SUSTRATO 316

9.1 MATERIALES Y MÉTODOS 317
9.1.1 Área de estudio 317
9.1.2 Ubicación de puntos de muestreo 317
9.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales 319
9.1.4 Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control 320
9.1.5 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro 323
9.2 RESULTADOS 324
9.2.1 Resultados campaña de invierno 2024 (M17) 324
9.2.2 Resultados campaña de verano 2025 (M18) 339
9.2.3 Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato 354

10 LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS) 355

10.1 MATERIALES Y MÉTODOS 355
10.1.1 Descripción del área de estudio 355
10.1.2 Ubicación de puntos muestreo 356
10.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales 359
10.1.4 Metodología de muestreo, medición, análisis y/o control 360
10.1.5 Materiales y equipos utilizados 366
10.1.6 Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro 366
10.2 RESULTADOS 368
10.2.1 Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2024 y verano 2025 ... 368
10.2.2 Resultados del muestreo campaña de invierno 2024 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática) 379
10.2.3 Resultados del muestreo campaña de verano 2025 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática) 410
10.2.4 Límites considerados en la evaluación de Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos) 433

11 AREA DE LAGUNAS..... 435

11.1 MATERIALES Y MÉTODOS 439
11.1.1 Descripción del área de estudio 439
11.1.2 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua 441
11.1.3 Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua 441
11.1.4 Materiales y equipos utilizados 452
11.1.5 Metodología de muestreo y/o medición 455
11.1.6 Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua..... 469
11.1.7 Fechas de medición 470
11.2 RESULTADOS 470

11.2.1 Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua 470
11.2.2 Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar 475
11.2.3 Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua 482

12 NIVEL FREATICO EN LAGUNAS 483

12.1 MATERIALES Y MÉTODOS 485
12.1.1 Área de Estudio 485
12.1.2 Ubicación de Puntos de Monitoreo. 486
12.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables 487
12.1.4 Metodología de Muestreo, Medición y Análisis 487
12.1.5 Materiales y Equipos utilizados 488
12.1.6 Fechas de medición, muestreo y/o análisis. 489
12.2 RESULTADOS 490
12.2.1 Resultados período abril 2024 a marzo 2025 490
12.2.2 Límites considerados en la evaluación 494

13 DISCUSIÓN 495

13.1 En relación con Flora y Vegetación 495
13.1.1 Análisis Vegetación (COT) 495
13.1.2 Análisis Flora y Vegetación (Transectas) 499
13.1.3 Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI 512
13.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres 516
13.2.1 Representatividad del muestreo 516
13.2.2 Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres 517
13.2.3 Análisis por clase 525
13.2.4 Composición por ambiente 527
13.2.5 Similitud 530
13.2.6 Abundancia y frecuencia (comparación entre campañas) 532
13.2.7 Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas) 538
13.2.8 Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres 544
13.3 En relación con Tapetes Microbianos 572
13.3.1 Aspectos generales 572
13.3.2 Análisis evolución inviernos 2016 a 2024 573
13.3.3 Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos 578
13.3.4 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas 610
13.3.5 Análisis evolución veranos 2017 a 2025 612
13.3.6 Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos 616
13.3.7 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas 629
13.3.8 Evolución de Parámetros Físicos y Químicos (2016-2025) 631
13.4 En relación con Suelo o Sustrato 637
13.4.1 Análisis de evolución de resultados Sector La Punta - La Brava 637
13.4.2 Análisis de evolución de resultados Sector Peine 658
13.4.3 Análisis de evolución de resultados Sector Tilopozo 680
13.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos) 703

13.5.1 Comparación monitoreos Invierno 2024 y Verano 2025 (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos) 703
13.5.2 Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo) 708
13.6 En relación con Área de Lagunas 766
13.6.1 Comparación de monitoreos con registros históricos 766
13.6.2 Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua 797
13.7 En relación con Nivel Freático en Lagunas 800
13.7.1 Análisis comparativo invierno 2024 y verano 2025 800
13.7.2 Análisis comparativo con valores históricos 801
13.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema 809

14 CONCLUSIONES 812

14.1 En relación con Flora y Vegetación 812
14.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres 816
14.3 En relación con Tapetes Microbianos 820
14.4 En relación con Suelo o Sustrato 823
14.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos) 826
14.6 En relación con Área de Lagunas 830
14.7 En relación con Nivel Freático en Lagunas 832

15 REFERENCIAS 833

15.1 En relación con Flora y Vegetación 833
15.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres 836
15.3 En relación con Tapetes Microbianos 842
15.4 En relación con Suelo o Sustrato 845
15.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos) 846
15.6 En relación con Área de Lagunas 850
15.7 En relación con Nivel Freático en Lagunas 855

16 ANEXOS 856

FIGURAS

Figura N° 2-1. Delimitación de las Áreas de Estudio del Plan de Manejo Biótico 34

Figura N° 2-2. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Área Norte. Sector Soncor y Quelana (Transectas de vegetación azonal) 44

Figura N° 2-3. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Área Sur. Sector La Punta y La Brava, Peine y Tilopozo 45

Figura N° 6-1. Área de estudio Vegetación y Flora 57

Figura N° 6-2. Localización general de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el área de estudio, Salar de Atacama 78

Figura N° 6-3. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en los subsectores La Punta y La Brava, Salar de Atacama 79

Figura N° 6-4. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Peine, Salar de Atacama 80

Figura N° 6-5. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Aguas de Quelana, Salar de Atacama 81

Figura N° 6-6. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Soncor, Salar de Atacama 82

Figura N° 6-7. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Tilopozo, Salar de Atacama 83

Figura N° 6-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama 93

Figura N° 6-9. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Invierno de 2024 106

Figura N° 6-10. 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 2024 107

Figura N° 6-11. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Invierno de 2024 108

Figura N° 6-12. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Verano de 2025 114

Figura N° 6-13. 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 2025 115

Figura N° 6-14. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Verano de 2025 116

Figura N° 6-15. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en el sector Peine 129

Figura N° 6-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Tilopozo 130

Figura N° 6-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector La Punta y La Brava 131

Figura N° 6-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Aguas de Quelana 132

Figura N° 6-19. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 17 (invierno 2024) 136

Figura N° 6-20. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en el sector Peine 149

Figura N° 6-21. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Tilopozo 150

Figura N° 6-22. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector La Punta y La Brava 151

Figura N° 6-23. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Aguas de Quelana 152

Figura N° 6-24. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 18 (verano 2025) 155

Figura N° 7-1. Área de Estudio Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, y Puntos de Muestreo en tres sectores (líneas discontinuas). 166

Figura N° 7-2. Localización de Puntos y Tipo de Monitoreo del Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres en el área de estudio. 173

Figura N° 7-3. Categorías de conservación de la UICN 183

Figura N° 7-4. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña invierno 2024. .. 201

Figura N° 7-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña verano 2025. 220

Figura N° 8-1. Ubicación estaciones de monitoreo, Tapetes Microbianos. 229

Figura N° 8-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio. 232

Figura N° 8-3. Número de capas ($\bar{x}$) y distribución de tapetes microbianos. 236

Figura N° 8-4. Espesor de tapetes microbianos ($\bar{x}$). 237

Figura N° 8-5. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava y (C) Área total de estudio. Invierno 2024. 238

Figura N° 8-6. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava. Invierno 2024. 239

Figura N° 8-7. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2024. 275

Figura N° 8-8. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2024. 276

Figura N° 8-9. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2024. 277

Figura N° 8-10. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2024. 278

Figura N° 8-11. Número de capas ($\bar{x}$) y distribución de tapetes microbianos. 283

Figura N° 8-12. Espesor de tapetes microbianos ($\bar{x}$). Verano 2025. 284

Figura N° 8-13. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava. 285

Figura N° 8-14. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo los sectores Peine, La Punta-La Brava. Verano 2025. 286

Figura N° 8-15. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2025. 310

Figura N° 8-16. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2025. 311

Figura N° 8-17. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2025. 312

Figura N° 9-1. Localización original y final de calicatas de monitoreo del componente físico – Suelo en el área de estudio, Salar de Atacama. 319

Figura N° 9-2. Resultados Conductividad Eléctrica, Campaña Invierno M17. 326

Figura N° 9-3. Resultados Salinidad, Campaña Invierno M17. 327

Figura N° 9-4. Resultados pH, Campaña Invierno M17. 328

Figura N° 9-5. Resultados Materia Orgánica, Campaña Invierno M17. 330

Figura N° 9-6. Resultados Nitrógeno disponible, Campaña Invierno M17. 331

Figura N° 9-7. Resultados Potasio disponible, Campaña Invierno M17. 333

Figura N° 9-8. Resultados Fósforo disponible, Campaña Invierno M17. 334

Figura N° 9-9. Resultados Conductividad hidráulica, Campaña Invierno M17. 336

Figura N° 9-10. Resultados Humedad, Campaña Invierno M17. 337

Figura N° 9-11. Resultados Clase textural, Campaña Invierno M17. 338

Figura N° 9-12. Resultados Nivel Freático, Campaña Invierno M17. 339

Figura N° 9-13. Resultados Conductividad Eléctrica, Campaña Verano M18. 341

Figura N° 9-14. Resultados Salinidad, Campaña Verano M18. 342

Figura N° 9-15. Resultados pH, Campaña Verano M18. 343

Figura N° 9-16. Resultados Materia Orgánica, Campaña Verano M18. 345

Figura N° 9-17. Resultados Nitrógeno disponible, Campaña Verano M18. 346

Figura N° 9-18. Resultados Potasio disponible, Campaña Verano M18. 348

Figura N° 9-19. Resultados Fósforo disponible, Campaña Verano M18. 349

Figura N° 9-20. Resultados Conductividad hidráulica, Campaña Verano M18. 351

Figura N° 9-21. Resultados Humedad, Campaña Verano M18. 352

Figura N° 9-22. Resultados Clase textural, Campaña Verano M18. 353

Figura N° 9-23. Resultados Nivel Freático, Campaña Verano M18. 353

Figura N° 10-1. Ubicación de estaciones de monitoreo de Limnología; Biota acuática, Calidad de Agua y Sedimentos, Salar de Atacama. 358

Figura N° 10-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (Invierno 2024). 389

Figura N° 10-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (Invierno 2024). 391

Figura N° 10-4. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (Invierno 2024). 393

Figura N° 10-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (Invierno 2024). 395

Figura N° 10-6. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (Invierno 2024). 396

Figura N° 10-7. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (Invierno 2024). 398

Figura N° 10-8. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2024). 400

Figura N° 10-9. Abundancia relativa del zooplancton Sector Tilopozo (invierno 2024). 401

Figura N° 10-10. Abundancia relativa del zooplancton Sector Peine (invierno 2024). 403

Figura N° 10-11. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2024). 405

Figura N° 10-12. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (invierno 2024). 407

Figura N° 10-13. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (Verano 2025). 418

Figura N° 10-14. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (Campaña Verano 2025). 419

Figura N° 10-15. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (Campaña Verano 2025). 421

Figura N° 10-16. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (Campaña Verano 2025). 423

Figura N° 10-17. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2025). 425

Figura N° 10-18. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Tilopozo (verano 2025). .. 426

Figura N° 10-19. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2025). 428

Figura N° 10-20. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2025). 430

Figura N°11-1. Ubicación sistemas lagunares que conforman el área de estudio para monitoreo y seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua por parte del Proyecto en el Salar de Atacama (PMB). 440

Figura N° 11-2. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar La Punta – La Brava, con indicación de presencia o ausencia de agua, Landsat 8 - agosto 2024. 444

Figura N° 11-3. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar La Punta – La Brava, con indicación de presencia o ausencia de agua, Pleiades 1A - agosto 2024. 445

Figura N° 11-4. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar La Punta – La Brava, con indicación de presencia o ausencia de agua, Landsat 8 - diciembre 2024. 446

Figura N° 11-5. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar La Punta – La Brava, con indicación de presencia o ausencia de agua, Pleiades 1A- diciembre 2024. 447

Figura N° 11-6. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar Peine, con indicación de presencia o ausencia de agua, Landsat 8 - agosto 2024. 448

Figura N° 11-7. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar Peine, con indicación de presencia o ausencia de agua, Pleiades 1A - agosto 2024. 449

Figura N° 11-8. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar Peine, con indicación de presencia o ausencia de agua, Landsat 8 - diciembre 2024. 450

Figura N° 11-9. Localización de los puntos de muestreo muestreo sistema lagunar Peine, con indicación de presencia o ausencia de agua, Pleiades 1A - diciembre 2024.451

Figura N° 11-10 .Imagen UVA/dron usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, sector La Punta y La Brava, invierno 2024. 453

Figura N° 11-11 Imagen UVA/dron usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, sector Peine, invierno 2024. 454

Figura N°11-12. 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 2024. 457

Figura N°11-13. 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 2024-2025. 458

Figura N°11-14. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2024 (izquierda – RGB) y verano 2024/2025 (derecha - RGB). 459

Figura N°11-15. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales. 462

Figura N°11-16. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (*raster)* a polígonos (*shape*). 469

Figura N°11-17. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta - La Brava. 476

Figura N°11-18. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta - La Brava, agosto 2024 – diciembre 2024. 478

Figura N°11-19. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine. 479

Figura N°11-20. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2024. 481

Figura N° 12-1. Área de Estudio 485

Figura N° 12-2. Puntos de Monitoreo en Sistema La Punta - La Brava y Peine 487

Figura N° 12-3. Variación del nivel freático en el Sistema Lagunar La Punta – La Brava 493

Figura N° 12-4. Variación del nivel freático en el Sistema Lagunar Peine 494

Figura N° 13-1. Cobertura promedio de vegetación, rastrojo, otros recubrimientos y riqueza en los sectores 506

Figura N° 13-2. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Peine 508

Figura N° 13-3. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Tilopozo 509

Figura N° 13-4. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector La Punta y La Brava 510

Figura N° 13-5. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Aguas de Quelana 511

Figura N° 13-6. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 2025). 531

Figura N° 13-7. Abundancia (A) y Frecuencia (B) de los reptiles registrados en el monitoreo (invierno 2016 a verano 2025), en toda el área de estudio. 534

Figura N° 13-8. Abundancia (A) y Frecuencia relativas para las aves registradas en el monitoreo (invierno 2016 a verano 2025) en toda el área de estudio. Se muestran sólo las tres especies más abundantes y frecuentes. 536

Figura N° 13-9. Frecuencia relativa de las tres especies más frecuentes de megamamíferos en el periodo de monitoreo (invierno 2016 a verano 2025), en toda el área de estudio. 537

Figura N° 13-10. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. 557

Figura N° 13-11. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema lagunar Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. 561

Figura N° 13-12. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema lagunar La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. 566

Figura N° 13-13. 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. 567

Figura N° 13-14. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema lagunar Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. 568

Figura N° 13-15. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema lagunar de La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo. 569

Figura N° 13-16. 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. 570

Figura N° 13-17. 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). 571

Figura N° 13-18. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Invierno 2016 a 2024. 575

Figura N° 13-19. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Invierno 2016 a 2024. 577

Figura N° 13-20. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava. Campañas de Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024. 579

Figura N° 13-21. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine, Invierno 2016 a 2024. 593

Figura N° 13-22. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Verano 2017 a 2025. 614

Figura N° 13-23. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Verano 2017 a 2025. 615

Figura N° 13-24. Proporción de Tipologías de Tapetes en el sector La Punta-La Brava, Verano 2017 a 2025. 617

Figura N° 13-25. Variación promedio de temperatura (°C) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025. 631

Figura N° 13-26. Variación promedio de la conductividad (µS/cm) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025. 632

Figura N° 13-27. Variación promedio de la salinidad (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025. 633

Figura N° 13-28. Variación promedio de oxígeno disuelto (mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025. 633

Figura N° 13-29. Variación promedio de potencial de hidrógeno (pH) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025. 634

Figura N° 13-30. Variación promedio de la alcalinidad (CaCO3_mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025. 635

Figura N° 13-31. Variación promedio de la turbiedad (NTU) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025. 635

Figura N° 13-32. Variación promedio de potencial redox (mV) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025. 636

Figura N° 13-33. Resultados Conductividad Eléctrica y Salinidad Campaña Invierno, Sector La Punta – La Brava. 639

Figura N° 13-34. Resultados Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. 640

Figura N° 13-35. Resultados pH Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. 641

Figura N° 13-36. Resultados pH Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. 642

Figura N° 13-37. Materia Orgánica Campaña Invierno, Sector La Punta – La Brava. 643

Figura N° 13-38. Materia Orgánica Campaña Verano, Sector La Punta – La Brava. 644

Figura N° 13-39. Nitrógeno disponible Campaña Invierno, Sector La Punta – La Brava. 645

Figura N° 13-40. Nitrógeno disponible Campaña Verano, Sector La Punta – La Brava. 646

Figura N° 13-41. Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. 647

Figura N° 13-42. Fósforo disponible Campañas Verano Sector La Punta – La Brava. 648

Figura N° 13-43. Potasio disponible Campañas Invierno Sector La Punta – La Brava. 649

Figura N° 13-44. Potasio disponible Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. 650

Figura N° 13-45. Cond. Hidráulica Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. 651

Figura N° 13-46. Cond. Hidráulica Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. 652

Figura N° 13-47. Textura Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. 653

Figura N° 13-48. Textura Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. 653

Figura N° 13-49. Humedad Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. 655

Figura N° 13-50. Humedad Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. 655

Figura N° 13-51. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava. 657

Figura N° 13-52. Nivel Freático Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava. 657

Figura N° 13-53. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Invierno, Sector Peine. ... 659

Figura N° 13-54. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector Peine. 660

Figura N° 13-55. Resultados pH Campañas Invierno, Sector Peine. 662

Figura N° 13-56. Resultados pH Campañas Verano, Sector Peine. 663

Figura N° 13-57. Resultados Materia Orgánica Campañas Invierno, Sector Peine 664

Figura N° 13-58. Resultados Materia Orgánica Campañas Verano, Sector Peine 665

Figura N° 13-59. Resultados Nitrógeno disponible Campañas Invierno, Sector Peine. 666

Figura N° 13-60. Resultados Nitrógeno disponible Campañas Verano, Sector Peine. 667

Figura N° 13-61. Resultados Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector Peine. 668

Figura N° 13-62. Resultados Fósforo disponible Campañas Verano, Sector Peine. 669

Figura N° 13-63. Resultados Potasio disponible Campañas Invierno, Sector Peine. 670

Figura N° 13-64. Resultados Potasio disponible Campañas Verano, Sector Peine. 671

Figura N° 13-65. Conductividad Hidráulica Campañas Invierno, Sector Peine. 672

Figura N° 13-66. Conductividad Hidráulica Campañas Verano, Sector Peine. 673

Figura N° 13-67. Textura Campañas Invierno, Sector Peine. 674

Figura N° 13-68. Textura Campañas Verano, Sector Peine. 675

Figura N° 13-69. Humedad Campañas Invierno, Sector Peine. 676

Figura N° 13-70. Humedad Campañas Verano, Sector Peine. 677

Figura N° 13-71. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector Peine. 678

Figura N° 13-72. Nivel Freático Campañas Verano, Sector Peine. 679

Figura N° 13-73. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Inverno, Tilopozo. 682

Figura N° 13-74. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector Tilopozo. 683

Figura N° 13-75. Resultados pH Campañas Invierno, Sector Tilopozo. 685

Figura N° 13-76. Resultados pH Campañas Verano, Sector Tilopozo. 686

Figura N° 13-77. Resultados Materia Orgánica Campañas Invierno, Sector Tilopozo. 687

Figura N° 13-78. Resultados Materia Orgánica Campañas Verano, Sector Tilopozo..... 688

Figura N° 13-79. Resultados Nitrógeno disp. Campañas Invierno, Sector Tilopozo..... 689

Figura N° 13-80. Resultados Nitrógeno disp. Campañas Verano, Sector Tilopozo. 690

Figura N° 13-81. Resultados Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector Tilopozo. 691

Figura N° 13-82. Resultados Fósforo disponible Campañas Verano, Sector Tilopozo. 692

Figura N° 13-83. Resultados Potasio disponible Campañas Invierno, Sector Tilopozo. 693

Figura N° 13-84. Resultados Potasio disponible Campañas Verano, Sector Tilopozo. 694

Figura N° 13-85. Conductividad Hidráulica Campañas Invierno, Sector Tilopozo. 695

Figura N° 13-86. Conductividad Hidráulica Campañas Verano, Sector Tilopozo. 696

Figura N° 13-87. Textura Campañas Invierno, Sector Tilopozo..... 697

Figura N° 13-88. Textura Campañas Verano, Sector Tilopozo. 698

Figura N° 13-89. Humedad Campañas Invierno, Sector Tilopozo. 699

Figura N° 13-90. Humedad Campañas Verano, Sector Tilopozo. 700

Figura N° 13-91. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector Tilopozo. 701

Figura N° 13-92. Nivel Freático Campañas Verano, Sector Tilopozo. 702

Figura N° 13-93. 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. 711

Figura N° 13-94. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 712

Figura N° 13-95. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila "a" en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 713

Figura N° 13-96. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 715

Figura N° 13-97. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector Vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 716

Figura N° 13-98. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila "a" en el Sector Vegas de Tilopozo. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 717

Figura N° 13-99. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 720

Figura N° 13-100. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 721

Figura N° 13-101. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila "a" en el Sector Peine. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 722

Figura N° 13-102. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 724

Figura N° 13-103. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 726

Figura N° 13-104. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 728

Figura N° 13-105. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 731

Figura N° 13-106. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 734

Figura N° 13-107. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 737

Figura N° 13-108. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano..... 739

Figura N° 13-109. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 742

Figura N° 13-110. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 744

Figura N° 13-111. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano..... 746

Figura N° 13-112. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 748

Figura N° 13-113. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 750

Figura N° 13-114. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 752

Figura N° 13-115. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 754

Figura N° 13-116. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 756

Figura N° 13-117. Rango de variación temporal por estación de monitoreo y LB, de las plantas vasculares acuáticas en el Sector La Punta-La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 759

Figura N° 13-118. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. .. 761

Figura N° 13-119. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano. 765

Figura N°13-120. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava. 772

Figura N°13-121. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PMB e históricas, Sector La Punta - La Brava. 773

Figura N°13-122. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava. 774

Figura N°13-123. Variación histórica Sistema Lagunar La Punta-La Brava, Landsat NDWI (1985-2024). 776

Figura N°13-124. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta - La Brava (superior). Serie histórica de registros Landsat, destacando mediciones de línea base (2006-2024) 777

Figura N°13-125. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A. 779

Figura N°13-126. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8. 780

Figura N°13-127. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A. 781

Figura N°13-128. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8. 782

Figura N°13-129. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine. 784

Figura N°13-130. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PMB e históricas, Sector Peine. 785

Figura N°13-131. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine. 787

Figura N°13-132. Variación histórica Sistema Lagunar Peine, Landsat NDWI (1985-2024)... 789

Figura N°13-133. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine. 791

Figura N°13-134. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A. 793

Figura N°13-135. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8. 794

Figura N°13-136. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A. 795

Figura N°13-137. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8. 796

Figura N° 13-138. Variación del nivel freático en el Pozo BA-05 – Sector LP-LB 802

Figura N° 13-139. Variación del nivel freático en el Pozo BA-07 – Sector LP-LB 803

Figura N° 13-140. Variación del nivel freático en el Pozo BA-16 – Sector LP-LB 804

Figura N° 13-141. Variación del nivel freático en el pozo BA-21 – Sector Peine 807

Figura N° 13-142. Variación del nivel freático en el Pozo BA-22 – Sector Peine 808

TABLAS

Tabla N° 2-1. Fechas de Campañas PMB Invierno 2024, señalando restricciones de acceso al territorio Peine. Se indican entre paréntesis restricciones puntuales durante las campañas. 37

Tabla N° 2-2. Fechas de Campañas PM Verano 2025, señalando restricciones de acceso al territorio Peine. Se indican entre paréntesis restricciones puntuales durante las campañas. 38

Tabla N° 2-3. Detalle de las componentes, variables y estaciones reportadas de acuerdo con el Plan de Manejo Biótico, y al numeral 7 Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el EIA y sus Adendas de la RCA 21/2016. 40

Tabla N° 2-4. Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis 46

Tabla N° 2-5. Identificación de Considerando de la RCA reportada en base a numeral 7.- Plan de Seguimiento Ambiental propuesto en el EIA y sus Adendas. 47

Tabla N° 6-1. Puntos de validación COT, campaña de invierno 2024 y verano 2025 59

Tabla N° 6-2. Estratificación por tipos biológicos y codificación de especies dominantes ... 61

Tabla N° 6-3. Categorías de altura empleadas para la vegetación 61

Tabla N° 6-4. Rango de valores para la cobertura vegetal 62

Tabla N° 6-5. Categorías de posición topográfica 62

Tabla N° 6-6. Caracterización del grado de alteración de la vegetación en las formaciones vegetales 63

Tabla N° 6-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno 67

Tabla N° 6-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio 67

Tabla N° 6-9. Ejemplos de codificación de las unidades vegetales homogéneas según análisis de recubrimiento de suelo y tipo de formación según nomenclatura COT 70

Tabla N° 6-10. Ejemplos de la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la codificación de las unidades vegetales (UV) 70

Tabla N° 6-11. Ejemplos comparativos para la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la nomenclatura COT 71

Tabla N° 6-12. Ejemplo de agrupación de formaciones vegetales 71

Tabla N° 6-13. Ejemplos de descripción de formaciones vegetales: rangos de altura y de cobertura identificados en las unidades descritas y su mediana (valores recurrentes) 72

Tabla N° 6-14. Coordenadas de las transectas de monitoreo del Plan de Manejo Biótico del subcomponente Flora y Vegetación, en los sectores de estudio 75

Tabla N° 6-15. Formaciones vegetales y número de transectas por sector 84

Tabla N° 6-16. Contenido de humedad del suelo 87

Tabla N° 6-17. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A-1B 95

Tabla N° 6-18. Umbrales de NDVI por formación vegetal y sector de monitoreo, seguimientos de invierno 98

Tabla N° 6-19. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2024 103

Tabla N° 6-20. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2024 105

Tabla N° 6-21. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, verano de 2025 111

Tabla N° 6-22. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Verano 2025 113

Tabla N° 6-23. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo 117

Tabla N° 6-24. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 17 (invierno 2024), en cada subsector 119

Tabla N° 6-25. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 17 (invierno 2024) 137

Tabla N° 6-26. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 17 (invierno 2024) 137

Tabla N° 6-27. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo. 138

Tabla N° 6-28. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 18 (verano 2025), en cada subsector 140

Tabla N° 6-29. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 18 (verano 2025) 156

Tabla N° 6-30. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 18 (verano 2025)..... 157

Tabla N° 6-31. Superficies de vegetación activa (NDVI) por sector, temporada de verano. . 160

Tabla N° 7-1. Ubicación y caracterización de los puntos de monitoreo (PM) de fauna. Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19. 169

Tabla N° 7-2. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la campaña de monitoreo de invierno 2024. Se indica presencia (X) en cada sector..... 190

Tabla N° 7-3. Especies de fauna registradas por ambiente (invierno 2024). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector. 199

Tabla N° 7-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. (invierno 2024). 203

Tabla N° 7-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. (invierno 2024). 205

Tabla N° 7-6. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la décimo octava campaña de monitoreo (verano 2025). Se indica además, la presencia (X) en cada sector. 208

Tabla N° 7-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Décimo octava campaña de monitoreo (verano 2025). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector. 218

Tabla N° 7-8. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Décimo octava campaña de monitoreo (verano 2025). 222

Tabla N° 7-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Décimo octava campaña de monitoreo (verano 2025). 223

Tabla N° 8-1. Estaciones y coordenadas de monitoreo, Tapetes Microbianos, PMB. 228

Tabla N° 8-2. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos. 235

Tabla N° 8-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos. 240

Tabla N° 8-4. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas)..... 243

Tabla N° 8-5. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas). 246

Tabla N° 8-6. Caracterización de las capas de tapetes microbianos embebidos coriáceos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas). 247

Tabla N° 8-7. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas). 249

Tabla N° 8-8. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas). 250

Tabla N° 8-9. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas). 252

Tabla N° 8-10. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas). 253

Tabla N° 8-11. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas). 255

Tabla N° 8-12. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas). 256

Tabla N° 8-13. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña invierno 2024. 257

Tabla N° 8-14. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Campaña invierno 2024. 258

Tabla N° 8-15. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava. Campaña invierno 2024. 258

Tabla N° 8-16. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-11. (S/C: sin capas pigmentadas). 261

Tabla N° 8-17. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas). 263

Tabla N° 8-18. Caracterización de las capas de tapetes microbianos asociados a base vegetal en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas). 264

Tabla N° 8-19. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas). 267

Tabla N° 8-20. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales coriáceos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas). 267

Tabla N° 8-21. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo I-17. (S/C: sin capas pigmentadas). 269

Tabla N° 8-22. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector Peine. Invierno 2024. 270

Tabla N° 8-23. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector Peine. Invierno 2024. 271

Tabla N° 8-24. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector Peine. Invierno 2024. 271

Tabla N° 8-25. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña invierno 2024. 272

Tabla N° 8-26. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava y Peine. Campaña Invierno 2024. 280

Tabla N° 8-27. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava y Peine. Campaña Invierno 2024. 280

Tabla N° 8-28. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos en La Punta-La Brava. 281

Tabla N° 8-29. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos. 287

Tabla N° 8-30. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas). 291

Tabla N° 8-31. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas). 294

Tabla N° 8-32. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas). 294

Tabla N° 8-33. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas). 297

Tabla N° 8-34. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas). 297

Tabla N° 8-35. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas). 300

Tabla N° 8-36. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas). 300

Tabla N° 8-37. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas). 303

Tabla N° 8-38. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas). 303

Tabla N° 8-39. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2025. 305

Tabla N° 8-40. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava Campaña verano 2025. 306

Tabla N° 8-41. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Campaña verano 2025. 307

Tabla N° 8-42. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 2025. 314

Tabla N° 8-43. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 2025. 314

Tabla N° 9-1. Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S). Puntos de muestreo suelo. .. 318

Tabla N° 9-2. Parámetros medidos en subcomponente suelo. 319

Tabla N° 9-3. Parámetros evaluados y método de análisis para monitoreos M17 y M18. Componente Suelo. 321

Tabla N° 9-4. Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH. Monitoreo Invierno 2024. 324

Tabla N° 9-5. Materia Orgánica y Nitrógeno disponible. Invierno 2024 (M17). 328

Tabla N° 9-6. Potasio y Fósforo disponibles. Invierno 2024 (M17). 331

Tabla N° 9-7. Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático. Invierno 2024. 334

Tabla N° 9-8. Código textura. 336

Tabla N° 9-9. Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH. Monitoreo Verano 2025. 340

Tabla N° 9-10. Materia Orgánica y Nitrógeno disponible. Verano 2024. 343

Tabla N° 9-11. Potasio y Fósforo disponibles. Verano 2024. 346

Tabla N° 9-12. Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático. Verano 2025. 350

Tabla N° 9-13. Código textura. 351

Tabla N° 10-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2024 y verano 2025. 357

Tabla N° 10-2. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de agua. 361

Tabla N° 10-3. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de Sedimentos. 362

Tabla N° 10-4. Escala de tamaño de grano utilizada en base a Wentworth (1922). 362

Tabla N° 10-5. Resumen de metodologías de muestreo de componentes biológicos. 363

Tabla N° 10-6. Instrumentos de medición *in situ* de parámetros del agua 366

Tabla N° 10-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática. 366

Tabla N° 10-8. Fechas de muestreo de cada una de las variables evaluadas en las campañas de invierno 2024 y verano 2025. 367

Tabla N° 10-9. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2024. 380

Tabla N° 10-10. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2024. 381

Tabla N° 10-11. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine. Campaña Invierno 2024. 383

Tabla N° 10-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2024. 384

Tabla N° 10-13: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2024. 385

Tabla N° 10-14. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2024. 385

Tabla N° 10-15: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2024. 386

Tabla N° 10-16. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine. Campaña invierno 2024. 386

Tabla N° 10-17: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Peine. Campaña Invierno 2024. 387

Tabla N° 10-18. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (Invierno 2024). 388

Tabla N° 10-19. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (Campaña Invierno 2024). 390

Tabla N° 10-20. Comunidad fitobentos, Abundancia (cel/cm^2) y Riqueza en Sector Peine. Campaña Invierno 2024. 392

Tabla N° 10-21. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (Campaña Invierno 2024). 394

Tabla N° 10-22. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (Invierno 2024). 396

Tabla N° 10-23. Comunidad fitoplancton, Abundancia (cel/mL) y Riqueza en Sector Peine. Campaña Invierno 2024. 397

Tabla N° 10-24. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2024. 399

Tabla N° 10-25. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2024. 401

Tabla N° 10-26. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine. Campaña Invierno 2024. 402

Tabla N° 10-27. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m^2) y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2024. 404

Tabla N° 10-28. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m^2) y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2024. 405

Tabla N° 10-29. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m^2) y riqueza en Sector Peine. Campaña Invierno 2024. 406

Tabla N° 10-30. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (Invierno 2024). 408

Tabla N° 10-31. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (Campaña invierno 2024). 409

Tabla N° 10-32. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2025. 411

Tabla N° 10-33. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2025. 412

Tabla N° 10-34. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2025. 414

Tabla N° 10-35: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2025. 414

Tabla N° 10-36. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2025. 415

Tabla N° 10-37: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2025. 415

Tabla N° 10-38. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (Campaña Verano 2025). 417

Tabla N° 10-39. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (Campaña Verano 2025). 419

Tabla N° 10-40. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (Campaña Verano 2025). 421

Tabla N° 10-41. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (Campaña Verano 2025). 422

Tabla N° 10-42. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2025. 424

Tabla N° 10-43. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2025. 426

Tabla N° 10-44. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m^2) y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2025. 428

Tabla N° 10-45. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m^2) y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Verano 2025. 429

Tabla N° 10-46. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (Campaña Verano 2025). 431

Tabla N° 10-47. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura (Campaña Verano 2025). 432

Tabla N°11-1. Resumen de Componentes y Variables 436

Tabla N°11-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control. 437

Tabla N°11-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2024, 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. 442

Tabla N°11-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2024/2025, 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. 443

Tabla N°11-5. Características técnicas del sensor Pleiades - 1A. 456

Tabla N°11-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8. 459

Tabla N°11-7. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades - 1A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2024. 466

Tabla N°11-8. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades - 1A: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Agosto, 2024. 472

Tabla N°11-9. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Agosto, 2024. 472

Tabla N°11-10. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades - 1A: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Diciembre, 2024. 473

Tabla N°11-11. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Diciembre, 2024. 474

Tabla N°11-12. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades - 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2024 - 2025 (invierno y verano)..... 475

Tabla N°11-13. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2024 (invierno y verano). 475

Tabla N° 12-1. Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas 486

Tabla N° 12-2. Materiales y Equipos 488

Tabla N° 12-3. Fechas de Medición del Año 489

Tabla N° 12-4. Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava 490

Tabla N° 12-5. Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine 492

Tabla N° 13-1. Variaciones en la cantidad y tipología de formaciones descritas por monitoreo 495

Tabla N° 13-2. Rangos de variación de superficie relativa por tipo de vegetación desde la línea de base hasta el monitoreo de verano de 2024 496

Tabla N° 13-3. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación con los registros históricos de Landsat y alta resolución por sector, temporada de verano. 513

Tabla N° 13-4. Superficies de VA (verano) y comparación con registros históricos en formaciones con dominancia de *Schoenoplectus californicus* 515

Tabla N° 13-5. Lista Sistemática Acumulada de especies de fauna registradas a lo largo de las 18 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2025). Se indica, además, la presencia (X) en cada sector. 519

Tabla N° 13-6. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en 18 campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2025..... 528

Tabla N° 13-7. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 18 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2025). 539

Tabla N° 13-8. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2025. 541

Tabla N° 13-9. Comparación de la riqueza de especies (por clase) entre las campañas de estudio de Línea Base, con las campañas de invierno 2016, verano e invierno 2017, 2018, 2019, invierno 2020, verano e invierno 2021, 2022, 2023, 2024 y verano 2025. (En toda el área de estudio). 546

Tabla N° 13-10. 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 2025). 549

Tabla N° 13-11. 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 2025). 552

Tabla N° 13-12. 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. 554

Tabla N° 13-13. Comparación de la abundancia de aves en el sistema lagunar Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), para los periodos de Línea de Base y monitoreo. 559

Tabla N° 13-14. Comparación de la abundancia de aves en el sistema lagunar La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base y monitoreo. 563

Tabla N° 13-15. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña invierno, 2016 a 2024. 580

Tabla N° 13-16. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña invierno, 2016 a 2024. 581

Tabla N° 13-17. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña invierno, 2016 a 2024. 583

Tabla N° 13-18. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña invierno, 2016 a 2024. 584

Tabla N° 13-19. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña invierno, 2016 a 2024. 585

Tabla N° 13-20. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta. Campaña invierno, 2016 a 2024. 587

Tabla N° 13-21. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Brava. Campaña invierno, 2016 a 2024. 588

Tabla N° 13-22. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña invierno, 2016 a 2024. 590

Tabla N° 13-23. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo. Campaña invierno, 2016 a 2024. 591

Tabla N° 13-24. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, inviernos 2016 a 2022. 595

Tabla N° 13-25. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita, inviernos 2016 a 2024. 599

Tabla N° 13-26. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Interna, inviernos 2016 a 2024 600

Tabla N° 13-27. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, inviernos 2016 a 2022. 602

Tabla N° 13-28. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Saladita, inviernos 2016 a 2024 603

Tabla N° 13-29. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Interna, inviernos 2016 a 2024 604

Tabla N° 13-30. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Laguna Saladita, inviernos 2016 a 2024. 606

Tabla N° 13-31. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Laguna Interna, inviernos 2016 a 2024 607

Tabla N° 13-32. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campañas invierno 2016 a 2024. 611

Tabla N° 13-33. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña verano, 2017 a 2025. 618

Tabla N° 13-34. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña verano, 2017 a 2025. 619

Tabla N° 13-35. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña verano, 2017 a 2025. 621

Tabla N° 13-36. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña verano, 2017 a 2025. 622

Tabla N° 13-37. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña verano, 2017 a 2025. 623

Tabla N° 13-38. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna La Punta. Campaña verano, 2017 a 2025. 625

Tabla N° 13-39. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna La Brava. Campaña verano, 2017 a 2025. 626

Tabla N° 13-40. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2025. 627

Tabla N° 13-41. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña verano, 2017 a 2025. 630

Tabla N° 13-42. Resumen de especies detectadas en los sectores La Punta, La Brava, vegas de Tilopozo y Peine, en campañas de línea de base y monitoreo. 757

Tabla N°13-43. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales y datos obtenidos en el monitoreo 2024 (invierno y verano), respecto de los registros históricos (Adenda 5 RWL, 2015). 766

Tabla N°13-44. Consolidado de índices *Kappa* de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8. 798

Tabla N° 13-45. Valores Mínimos y Promedio de la Serie Sector LP-LB 801

Tabla N° 13-46. Valores Mínimos y Promedio de la Serie – Sector Peine 805

FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 6-1. Ejemplo de estaca en el punto inicial de las transectas de monitoreo en el área del Salar 86

Fotografía N° 6-2. Ejemplos de especies en estado fenológico vigoroso versus especies en estado latente y rastrojos 88

Fotografía N° 6-3. Ejemplos de condiciones de sustrato definidas para el muestreo en áreas desprovistas de vegetación 89

Fotografía N° 6-4. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en invierno 2024, en distintas transectas de estudio 121

Fotografía N° 6-5. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en invierno 2024, en transectas de estudio 121

Fotografía N° 6-6. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en invierno 2024, en transectas de estudio 122

Fotografía N° 6-7. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en invierno 2024, en transectas de estudio 122

Fotografía N° 6-8. Fisonomía de matorral de *Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa)* en invierno 2024, en transectas de estudio 123

Fotografía N° 6-9. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en invierno 2024, en transectas de estudio 123

Fotografía N° 6-10. Evidencias de alteración antrópica en herbazales de *Schoenoplectus californicus* en invierno 2024, en distintas transectas de estudio. 125

Fotografía N° 6-11. Vegetación en herbazal de *Schoenoplectus californicus* en invierno 2024, en transecta T19. 127

Fotografía N° 6-12. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en verano 2025, en distintas transectas de estudio 142

Fotografía N° 6-13. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en verano 2025, en transectas de estudio 142

Fotografía N° 6-14. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en verano 2025, en transectas de estudio 143

Fotografía N° 6-15. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en verano 2025, en transectas de estudio 143

Fotografía N° 6-16. Fisonomía de matorral de *Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa)* en verano 2025, en transectas de estudio 144

Fotografía N° 6-17. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en verano 2025, en transectas de estudio 144

Fotografía N° 7-1. Ambientes del área de estudio. A) humedal salar (arriba; izquierda); B) humedal pajonal (arriba, derecha); C) herbazal (centro, izquierda); D) matorral (centro, derecha); E) quebrada (abajo, izquierda) y F) área desprovista de vegetación costra salar (abajo, derecha). 174

Fotografía N° 7-2. Instalación de cámara trampa con atrayente olfativo. 180

Fotografía N° 7-3. Instalación de trampa tipo Sherman cebada. 180

Fotografía N° 7-4. Reptil del área de estudio: lagartija de Constanza (*L. constanzae*). Foto tomadas en la campaña de invierno 2024. 194

Fotografía N° 7-5. Aves del área de estudio: Caití (superior, izquierda), Parina grande y Flamenco chileno (superior, derecha), Bailarín chico (inferior, izquierda) y Chorlo de la puna (inferior, derecha). Fotos tomadas en campaña invierno 2024. 195

Fotografía N° 7-6. Macromamíferos en el área de estudio: Chinchilla de cola corta (arriba) y Zorro chilla (abajo). Fotos tomadas en campaña invierno 2024. 197

Fotografía N° 7-7. Micromamíferos del área de estudio: lauchón orejudo amarillo (izquierda) y ratón andino (derecha). Fotos tomadas en campaña invierno 2024. 198

Fotografía N° 7-8. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (arriba), lagartija de Constanza (abajo). Fotos tomadas en la campaña de verano 2025 (Marzo, 2025). 212

Fotografía N° 7-9. Aves del área de estudio: chorlo de la puna (superior, izquierda), caití (superior, derecha), flamenco chileno y parina grande (inferior, izquierda) y playero de Baird (inferior, derecha). Fotos tomadas en la campaña de verano 2025 (Marzo, 2025). 214

Fotografía N° 7-10. Macromamíferos en el área de estudio: zorro culpeo (cría y adulto, arriba) y zorro chilla (abajo). 216

Fotografía N° 7-11. Micromamíferos del área de estudio: ratón orejudo amarillento (arriba, izquierda), ratón andino (arriba, derecha) y chinchilla cordillerana (abajo). Fotos tomadas en la campaña de verano 2025 (Marzo, 2025). 217

Fotografía N° 8-1. Ejemplo de zonación de un Tapete microbiano. 233

Fotografía N° 8-2. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento; e. Presencia de microbialitos. Laguna La Punta, invierno 2024. 242

Fotografía N° 8-3. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de evaporitas. Laguna La Punta, invierno 2024. 245

Fotografía N° 8-4. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna La Brava, invierno 2024. 248

Fotografía N° 8-5. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, invierno 2024. 251

Fotografía N° 8-6. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimentos. Laguna La Brava, invierno 2024. 254

Fotografía N° 8-7. a. Estación de monitoreo S-11; b. Tapete microbiano; c. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2024. 260

Fotografía N° 8-8. a. Estación de monitoreo SA-25; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2024. 262

Fotografía N° 8-9. a. Estación de monitoreo I-11; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna Interna, invierno 2024. .. 265

Fotografía N° 8-10. a. Estación de monitoreo I-17; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano y d, Muestra sedimento. Laguna Interna, invierno 2024. 268

Fotografía N° 8-11. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento; e. Presencia de microbialitos. Laguna La Punta, verano 2025. 289

Fotografía N° 8-12. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Muestra de sedimento; f. Presencia de evaporitas. Laguna La Punta, verano 2025. 292

Fotografía N° 8-13. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna La Brava, verano 2025. . 295

Fotografía N° 8-14. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; Muestra de sedimento. Laguna La Brava, verano 2025. 299

Fotografía N° 8-15. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2025. 302

Fotografía N° 10-1. Ubicación de las estaciones TB-1 (izquierda) y TB-2 (derecha) de acuerdo al Plan de Manejo Biótico (PMB, 2015), sin presencia de cuerpos de agua.. 359

Fotografía N° 10-2. Estación LB-1. Campaña Invierno 2024. a. y b. Vista panorámica de la estación y Campaña Verano 2025 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas ni helófitas. 369

Fotografía N° 10-3. Estación LB-2. Campaña Invierno 2024 y Verano 2025. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y especie emergente (Helófita: *Triglochin concinna*) 370

Fotografía N° 10-4. Estación LB-3. Campaña Invierno 2024. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófita. Campaña Verano 2025. c. y d. Vista panorámica de la estación y Sustrato fino y presencia de hidrófita. 371

Fotografía N° 10-5. Estación LP-23. Campaña Invierno 2024. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche *Sarcocornia fruticosa* (helófita). Campaña Verano 2025. c. Vista panorámica de la estación y d. Sustrato fino y parche hidrófita (*Ruppia*). 372

Fotografía N° 10-6. Estación LP-24. Campaña Invierno 2024 y Verano 2025. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y evaporitas. 373

Fotografía N° 10-7. Estación TB-1. Campaña Invierno 2024 y Verano 2025 a y c. Vista panorámica de la estación b y d. Parche *Zannichellia palustris* (hidrófita) con lamas de microalgas bajo el agua. 374

Fotografía N° 10-8. Estación TB-2. Campaña Invierno 2024. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico sin agua superficial. b. Presencia de helófita *Schoenoplectus californicus*. Campaña Verano 2025. c. Vista panorámica de la estación 100% cubierta *de S. californicus* y d. Escurrimiento al costado de la estación de monitoreo. 375

Fotografía N° 10-9. Estación TB-3. Campaña Invierno 2024 a. Vista panorámica de la estación y b. presencia de lamas microalgales dentro de la poza y helófitas en la línea de costa y Campaña Verano 2025 c. Vista panorámica de la estación, presencia de *Schoenoplectus californicus* y *Baccharis linearis* en línea de costa. y d. Interior de la poza. 376

Fotografía N° 10-10. Estación S-10. Campaña Invierno 2024 a. Vista panorámica de la estación y b. Presencia de hidrófita sumergida (*Ruppia*). 377

Fotografía N° 10-11. Estación SA-25. Campaña Invierno 2024 a. Vista panorámica de la estación y b. Presencia de hidrófita sumergida (*Ruppia*). 377

Fotografía N° 10-12. Estación I-11. Campaña Invierno 2024 a. Vista panorámica de la estación y b. Sustrato fino. 378

Fotografía N° 10-13. Estación I-17. Campaña Invierno 2024 a. Vista panorámica de la estación y b. Sedimento fino..... 378

1 RESUMEN

El presente informe corresponde al Noveno Informe Anual de Monitoreo o Seguimiento **Plan de Manejo Biótico (en adelante PMB)**, comprometido en el Proyecto "**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta"** de Albemarle Limitada[1] (en adelante Albemarle o ALB), aprobado por Resolución de Calificación Ambiental (RCA) mediante **RCA Nº 21 de fecha 20 de enero del 2016**.

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

El presente Informe Anual N°9 da cuenta de las campañas de invierno 2024 y verano 2024-2025, las cuales se desarrollaron respectivamente durante el mes de agosto 2024 (**campaña invierno – M17**); en el mes de diciembre del 2024 (para seguimiento de superficies lagunares), y marzo-abril del 2025 (**campaña verano – M18**). La única variable que presenta datos mensuales corresponde a niveles freáticos, que se reporta desde abril 2024 a marzo 2025.

Las variables comprometidas corresponden a: Flora y Vegetación; Fauna Vertebrados Terrestres; Tapetes microbianos; Suelo o Sustrato; Limnología, Calidad de Aguas y Sedimento; Área de Lagunas; y Nivel Freático en Lagunas. El monitoreo para la mayoría de las variables es de frecuencia semestral y anual (vegetación NDVI) y mensual en el caso de niveles freáticos en lagunas.

Se indica a continuación las fechas efectivas de monitoreo en las que cada componente llevó a cabo sus actividades, cuya información se reporta en el presente informe de seguimiento, indicando a su vez en cada caso, aquellas restricciones o dificultades particulares ocurridas para cada componente en el marco de sus campañas de monitoreo.

La **campaña de monitoreo semestral de Invierno 2024 (M17)** para componentes bióticas fue realizada en 4 fases. Por una parte, la primera fase considera el componente de **Área de Lagunas** y **Fauna de Vertebrados Terrestres** cuya campaña efectiva de validación en terreno se realizó entre los días **06 al 09 de agosto 2025**. La segunda fase, corresponde a la campaña de monitoreo de **biota acuática (limnología, tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento)**, la que se desarrolló en terreno entre el **12 al 14 de agosto de 2024**. Por otra parte, la tercera fase considerando el componente **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas)**, fue llevada a cabo entre el **17 al 23 de agosto de 2024**. Finalmente, la cuarta fase fue realizada por el componente Suelos

[1] Rockwood Litio Limitada a partir del día 01 de noviembre de 2017 modificó su razón social a "Albemarle Limitada".

o Sustrato, con trabajo en terreno entre los días **26 al 29 de agosto de 2024**. En cuanto a **niveles freáticos en la zona de lagunas**, se reportan las mediciones desde abril a septiembre 2024. Cabe destacar, que en agosto y septiembre, se realizaron medidas quincenales por activación de PAT Sector de Alerta Núcleo **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**.

La **campaña de monitoreo semestral de Verano 2025 (M18)** de componentes bióticas fue realizada en 3 fases. Por una parte, la primera fase considera el componente de **Área de Lagunas** cuya campaña de validación en terreno se realizó entre los días **15 al 21 de diciembre de 2024**. La segunda fase, realizada durante del mes de marzo 2025 en estacionalidad de verano, corresponde a la campaña de monitoreo de **fauna de vertebrados terrestres y suelos o sustrato (10 al 14 de marzo); y biota acuática (limnología, tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento)** realizada en terreno entre el **18 y 21 de marzo de 2025**. Por otra parte, la tercera fase considerando el componente **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas)**, fue llevada a cabo entre los días **06 al 16 de abril de 2025** dentro de temporada de post-lluvias para el área de estudio. En cuanto al componente **niveles freáticos en la zona de lagunas**, se reportan las mediciones desde octubre 2024 a marzo 2025.

Durante al período asociado a este reporte (abril 2024 – marzo 2025), se produjo la activación del Plan de Alerta Temprana (PAT) en el Sector Alerta Núcleo del seguimiento de variables hídricas PSAH, en julio de 2024 (punto PN-08A), ubicado en el sector Núcleo. Lo anterior, fue informado a la SMA a través de la carta Ref. ALB-GMA-2024-SMA-048, y que se encuentra en el **Anexo Cartas y Prohibiciones** del presente Informe. Por lo anterior, es que en los meses de agosto, septiembre y octubre de 2024 existen medidas con frecuencia quincenal.

Además, se tuvieron medidas quincenales de medición de nivel desde diciembre 2024 a febrero 2025, debido a la aplicación preventiva de medidas por la activación del PAT en el sector Alerta Acuífero (por Punto BA-07), lo cual fue informado a la SMA a través de cartas ALB-GMA-2024-SMA-070 (ver **Anexo Niveles Freáticos y Anexo Cartas y Prohibiciones**), y ALB-GMA-2025-SMA-001.

En relación con las restricciones de acceso ocurridas en el marco de las labores de seguimiento del periodo reportado para el Año Nº9 de monitoreo, cabe indicar que para la **Campaña Semestral Invierno 2024**, respecto a los componentes **área de lagunas y fauna terrestre**, sus puntos de monitoreo ubicados en el sector de las lagunas de Peine (Salada y Saladita), no pudieron ser muestreados debido a la restricción de acceso hacia las lagunas por indicación de la Comunidad de Peine, argumentándola como medida para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua. Para el caso del componente **biota acuática (limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**), se restringió acceso por el mismo motivo, pero solo a laguna Salada. Por

esta razón, para esta campaña Invierno 2024, estos componentes presentan información de monitoreo parcial para el sector Peine en particular **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**.

Igualmente, para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, hubo imposibilidad de acceso a lagunas de Peine a partir de abril de 2024 para realizar mediciones en BA-21 y BA-22 hasta mayo 2024. Esto implica que se cuenta con sólo medición desde junio a septiembre para el análisis de niveles en esos barrenos (**ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

Por su parte, para la **campaña semestral Verano 2025**, respecto a los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, sus puntos de monitoreo ubicados en el sector de las lagunas de Peine, dada la época de reproducción de flamencos (Salada, Saladita e Interna), no pudieron ser muestreados debido a la restricción de acceso hacia las lagunas por indicación de la Comunidad de Peine, argumentándola como medida para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**. Por esta razón, para la campaña Verano 2025, estos componentes presentan información de monitoreo nula para el sector Peine en particular.

Respecto a la campaña de monitoreo del componente **Área de Lagunas**, cabe señalar igualmente que no fue posible realizar en su totalidad la validación *in situ* programada para diciembre 2024, ya que se presentaron por parte de la Comunidad de Peine medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y total acceso al sector de lagunas de Peine, dada la época de reproducción de flamencos, reduciendo las posibilidades de validación en estos sectores a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución (ver **Anexo Cartas y Prohibiciones**).

Por su parte los cuerpos de agua del sector La Punta – La Brava si pudieron ser completamente validados *in situ* mediante la toma de puntos de monitoreo con receptor GNSS/GPS, no obstante, en ninguno de los sectores fue posible realizar levantamiento aerofotogramétrico debido a que la DGAC cambió la normativa que permite operar aparatos dron establecida por dicho organismo (ver registro **Anexo Cartas y Prohibiciones**).

Para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, hubo imposibilidad de acceso a lagunas de Peine a partir de octubre[2] de 2024 para realizar mediciones en BA-21 y BA-22 hasta marzo 2025. Esto implica que se cuenta con escasa información para el análisis de niveles en esos barrenos (**ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

Se debe destacar que la información del monitoreo en el sector de lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), tanto para la campaña semestral Invierno 2023 y 2024, como

[2] En octubre sólo se presenta un dato de puntual de BA-21 en este sector.

para las campañas de verano 2021 a 2025, se encuentra incompleta debido a las restricciones de acceso por las mismas razones antes señaladas, situación que afecta significativamente los resultados del monitoreo PMB y los propios objetivos de seguimiento ambiental en este sector, debido a que la carencia estacional de datos redunda en que no sea posible comparar entre la condición de Línea de Base y la evolución de las componentes afectadas, debido al sesgo temporal cada vez mayor en la información levantada en los monitoreos respecto de sus parámetros de referencia, este caso especialmente para veranos. **Lo anterior resulta muy relevante puesto que estas limitaciones de acceso al área afectan la posibilidad de análisis de la evolución de la riqueza y abundancia de las especies en seguimiento por estos componentes, sobre todo para el sistema Peine, que es el que aporta los mayores valores de abundancia de aves en el salar, sobre todo para el monitoreo de las poblaciones de flamencos**.

Por otro lado, respecto de la componente Área de Lagunas, cabe indicar que es también un compromiso del Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH) del proyecto, el cual quedó establecido a realizarse en julio y diciembre, con un mes de desfase, por lo que también se cumple con el compromiso semestral de la misma en el PMB.

A modo de contexto, es importante tener en cuenta que la primera campaña del PMB del proyecto, se realizó en etapa de Construcción en agosto del 2016, previo al inicio de operaciones[3]. Desde diciembre 2016 a la fecha, se realizan las campañas en el marco de la etapa de Operación del proyecto.

En relación al Análisis de Estado Ecológico del Sistema (AEE), en el que se analizan las variables de "estado" *i) Vegetación azonal, ii) Superficies de las lagunas, y iii) Niveles freáticos*,definidas a partir del Modelo Ecológico Funcional), al igual que para el año 2024, este año 2025 se considera que el análisis de estado ecológico (AEE) como parte del Informe Anual N°9, requiere una mirada de detalle de las tres variables de estado, por lo que se presenta el AEE en un documento independiente, como un complemento de Análisis de Estado Ecológico al Informe Anual PMB N°9, el que será entregado posterior al presente informe

A continuación, se presentan los principales y más relevantes resultados, análisis y conclusiones del Informe Anual Nº9 del Plan de Manejo Biótico - PMB, según las subcomponentes o variables monitoreadas:

En relación con Flora y Vegetación:

El área de monitoreo de flora y vegetación corresponde a sectores del Salar que concentran las características representativas para el seguimiento de los subcomponentes señalados, éstos son: La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana. Con el fin de homologar

[3] Rockwood Lithium (Actualmente Albemarle Limitada) dio inicio formal a la etapa de operación del proyecto el 28 de septiembre 2016, mediante carta a la Superintendencia de Medio Ambiente una semana antes, fechada el 21 de septiembre de 2016.

la sectorización de todas las metodologías utilizadas para el seguimiento, respecto de lo establecido por el PMB, se distribuyó el área de estudio en cinco subsectores: (1) Tilopozo, (2) La Punta y La Brava, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana.

En relación con el monitoreo y caracterización de la flora y vegetación del área de estudio, el presente informe se enmarca entre los monitoreos realizados en el noveno año del plan de seguimiento, correspondiente al monitoreo de invierno 2024 (M17) y verano 2025 (M18), para el seguimiento de la vegetación (COT) y flora (composición y cobertura a través de transectas) y el análisis de la cobertura de vegetación activa (según el índice NDVI), realizado durante la temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo posterior a las precipitaciones estivales, de acuerdo a los objetivos planteados en el Plan de Manejo Biótico.

En cada subsector se realiza el monitoreo de la flora utilizando el método de “Intercepto de Puntos” para medir composición y cobertura de especies. Las ubicaciones de las transectas y la metodología se definieron en 2016, siguiendo los lineamientos del PMB y aprobaciones técnicas y ambientales correspondientes, para evaluar la situación preoperacional y hacer seguimientos semestrales. Esta metodología se aplica en las 31 transectas establecidas, georreferenciadas y estacadas en terreno. En paralelo, se evalúa la distribución y cobertura de la vegetación azonal mediante dos métodos: Carta de Ocupación de Tierras (COT) y el análisis de cobertura vegetal activa con imágenes satelitales de alta resolución (NDVI).

En relación con el monitoreo COT, se observa una estabilidad general en las formaciones vegetales tras nueve años de monitoreo, manteniéndose un número similar de unidades descritas (35 en invierno 2024 y verano 2025). Se observan ciertos cambios en la dominancia de especies, especialmente en las formaciones de matorrales azonales mixtos y vegas, sin grandes alteraciones en la distribución general de la vegetación.

En general, en la COT de **invierno 2024 (M17),** se identificaron tres tipos de recubrimiento de suelo, entre los cuales destaca la “superficie sin vegetación” representada por un 78,1% de superficie del área de estudio. Dentro de la superficie con vegetación (21,9%), el 8,7% está cubierto por vegetación zonal y el 13,2% por vegetación azonal. Además, se describieron cinco agrupaciones de formaciones de matorral zonal según dominancia; siete agrupaciones de formaciones vegetales azonales de humedal; y cuatro tipos de formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral – vega, y cinco agrupaciones de matorral hídrico – vega según dominancia.

Los matorrales zonales dominados por *Tessaria absinthioides* (1.625,1 ha) y *Atriplex atacamensis* (542,8 ha) son los más representativos, concentrados en Peine. En vegetación azonal, destacan las vegas de *Distichlis spicata* (952,3 ha) y *Juncus balticus* (170,9 ha), principalmente en Tilopozo. La vega dominada por *Distichlis spicata* es la formación con mayor número de unidades (47), mostrando una amplia variación en la cobertura vegetal, que va del 5% al 90%. Otras formaciones, como los matorrales de *Atriplex imbricata* o vegas

de *Triglochin concinna*, están representadas solo por una unidad cartográfica dentro del área de estudio.

En la COT de **verano 2025 (M18)**, se identificó que el 78,1% del área corresponde a suelo sin vegetación, mientras que el 21,9% presenta cobertura vegetal, dividida entre vegetación zonal (8,7%) y azonal (13,2%), al igual que lo registrado en invierno 2024 (M17). Se describieron diversas formaciones: cinco agrupaciones de matorral zonal según dominancia; seis agrupaciones de formaciones vegetales azonales de humedal; y tres tipos de formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral – vega, y cuatro agrupaciones de matorral hídrico – vega según dominancia.

Los matorrales zonales de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis* son las formaciones más representativas en Peine, mientras que en Tilopozo predominan las vegas de *Distichlis spicata* y *Juncus balticus*. Además, en varios sectores se encuentran matorrales–vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, así como matorrales hídricos de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa*). Estas formaciones presentan diferentes extensiones y distribuciones, reflejando la diversidad vegetal de la zona monitoreada. La vega de *Distichlis spicata* es la formación con más unidades (46) y muestra una cobertura vegetal muy variable, mientras que otras cuatro formaciones, como matorrales y vegas de especies específicas, están representadas solo por una unidad cartográfica en el área de estudio.

En particular para el sector de Soncor, desde los inicios del seguimiento PMB se destaca por tener la principal ocupación de áreas desprovistas de vegetación con 4.993,5 hectáreas (99,5% del sector), mientras que en la superficie restante existen formaciones vegetales azonales (0,5%; 24,8 hectáreas) que se encuentran en el borde Este del polígono monitoreado del sector, alejados del sistema de cuerpos lagunares del área, con cinco unidades de vega y una unidad de matorral-vega. Durante este año, la situación se mantiene en la misma condición, con casi todo el sector (99,5%) carece de vegetación, mientras que sólo un 0,5% presenta formaciones azonales (principalmente vegas y matorral-vega) ubicadas en el borde este, lejos de los cuerpos lagunares.

Descrito lo anterior, en el monitoreo de invierno 2024 y verano 2025 se identificaron 35 formaciones vegetales, cifra que se mantiene en el rango de la línea base de 2015 (33 formaciones). Los principales cambios se observan en las formaciones de matorrales mixtos azonales y vegas, donde la dominancia de ciertas especies varía según la transecta. En algunos casos, las especies herbáceas predominan, mientras que, en otros, arbustos como *Lycium humile* muestran mayor cobertura, transformando así algunas vegas en formaciones mixtas de matorral hídrico y vega.

En cuanto a las formaciones vegetales, el análisis de flora y vegetación a través del método de transectas, indica en términos generales que las comunidades con mayor

contenido de humedad del suelo son las que continúan presentando mayor cobertura vegetal, correspondiendo a las formaciones de *Schoenoplectus californicus* y algunas transectas en formaciones de herbazal de *Juncus balticus*, herbazal de *Triglochin concinna* y matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa)*, además de algunas transectas localizadas en cercanías a cuerpos de agua, en los sectores La Punta y Aguas de Quelana.

En términos generales, durante este periodo anual (año 9 de seguimiento), se observa una tendencia general a la disminución de la cobertura vegetal en el tiempo, aunque algunas transectas mostraron aumentos puntuales, y sobre todo un mayor contraste entre la cobertura de invierno 2024 (M17), que fue puntualmente más baja que otros años, y a un verano (M18) con mayores coberturas mostrando una recuperación parcial en varias transectas o sectores. La riqueza de especies se mantuvo estable en todos los sectores, con el registro de algunas especies adicionales de manera ocasional en ciertos monitoreos y sectores específicos.

Durante los monitoreos M17 y M18 se observó que el herbazal de *Schoenoplectus californicus* registró una de las coberturas vegetales más bajas en invierno, de todo el seguimiento para todas las transectas, tanto en sector Peine (menor a 30%) y en Tilopozo (menor a 35%), recuperándose en verano con un aumento de la cobertura vegetal parcial para las dos transectas de Tilopozo (50 a 80% de cobertura absoluta, aproximadamente) y un mayor aumento en las cuatro transectas de Peine (97 a 168%, aproximadamente), sobre todo con una recuperación en la transecta T04 con una cobertura de 168,2%.

En La Punta y La Brava, la cobertura vegetal tiende a disminuir a lo largo del seguimiento, con pequeñas recuperaciones puntuales, y un comportamiento distinto entre transectas, mostrando por una parte a la transecta T10 (herbazal de *T. concinna*) con los registros más bajos de cobertura vegetal en ambos monitoreos del año 9, respecto a monitoreos de verano e invierno anteriores, a diferencia de la transecta T11 en la misma formación, que muestra una estabilidad en la cobertura entre invierno y verano después de los mayores descensos en el año 2020-2021, por otro lado, la transecta T13 en un herbazal de *J. balticus* en el sector, muestra un contraste en la cobertura estacional de este año, con un mayor aumento en M18, inclusive presentando la mayor cobertura vegetal de verano de todo el seguimiento, mientras que la transecta T12 en un matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa)*, muestra en invierno M17 la menor cobertura vegetal y una leve recuperación en M18. En Aguas de Quelana la tendencia general de la cobertura vegetal es a la baja, mostrando diferencias entre transectas, las tres en matorrales de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa)*, donde T16 es la transecta con un mayor descenso en el tiempo registrando en M17 y M18 una de las menores coberturas del seguimiento, mientras que T15 muestra una mayor fluctuación entre monitoreos, manteniéndose estable en los últimos 3 años y estacionalmente en el año 9, a diferencia de la transecta T17 que muestra mayor estabilidad, y presentando en M17 y M18 un aumento de la cobertura.

Con respecto a otras variaciones, también destaca la estabilidad de la cobertura en el tiempo en las transectas T20, T21 y T27 en Tilopozo, en herbazales de *D. spicata*, inclusive con un aumento en T21 y T27 en M17 y M18. Por otro lado, el descenso de la cobertura en las transectas T18 y T30 en el herbazal de *J. balticus* en Tilopozo, sobre todo en M17 pero que aumentan levemente en M18, al igual que la transecta T28 y T29 en Tilopozo (herbazal de *D. spicata* y de *S. californicus*, respectivamente). Por último, en Peine se mantiene con menor cobertura la transecta T06 al año 9 (matorral de *T. absinthioides*), ya que T05 y T07 de la misma formación presentan un leve aumento de la cobertura con respecto al año anterior, sobre todo en M18.

Por otro lado, se observa en general, una riqueza similar de especies registradas entre monitoreos para todos los sectores, destacando dos registros adicionales para los monitoreos del Anual 9; en M17 *Nitrophila atacamensis* en T19 (herbazal de *S. californicus* de Tilopozo) y en M18 *Triglochin concinna* en T03 (herbazal de *S. californicus* de Peine*).*

En relación con la **evolución en el tiempo, desde MB0 a M18**, en general, al analizar la **cobertura promedio de la vegetación**, se ha observado una tendencia general a la disminución de la cobertura vegetal, especialmente en los herbazales de *Schoenoplectus californicus,* en sectores como Peine y Tilopozo. Sin embargo, existen fluctuaciones entre los diferentes monitoreos y ciertas áreas con mayor humedad mantienen mejor cobertura y vigor. Esto puede estar influenciado por el pastoreo y variaciones específicas por sector, ya que en algunas zonas, como Peine, la humedad se observa estable en el último año, pero igualmente se ha visto el decaimiento de la actividad biológica en el área, pero en lugares específicos de Tilopozo que ha presentado mayor presión de ganado (zona de T19 y T29) se ha visto inclusive erosión del suelo en algunos parches cercanos a las transectas, además del ramoneo y menor humedad en ciertas zonas, que no es homogénea para toda el área.

La cobertura vegetal en La Punta y La Brava ha mostrado una tendencia general a la baja, pasando de un 39,1% a un 17,5% en invierno 2024, aunque en el último verano la cobertura promedio suma un 22,7% en M18, una cobertura mayor a lo registrado desde el 2021. En el sector de Aguas de Quelana, la cobertura vegetal ha mostrado fluctuaciones desde el inicio del monitoreo, con valores que han ido disminuyendo en el tiempo. Se registró una cobertura del 40,5% en el monitoreo inicial (MB0) y similar de 40,6% en M1, ambos inviernos de 2016, y que descendió paulatinamente hasta alcanzar su punto más bajo en el invierno de 2023 (M15), con un 23,9% de cobertura promedio, donde posteriormente muestra valores que se mantienen constantes, entre un 26,3% en M16 a 26,6% en M17 y 26,7% en M18.

Se observa que la cobertura promedio de rastrojos o materia vegetal muerta ha aumentado moderadamente en la mayoría de los sectores en el tiempo, con la excepción de algunas transectas como es el caso de T31 y T20 en zonas de las Vegas de Tilopozo en el último

año y en el caso de La Punta y La Brava destaca la disminución del rastrojo en T13 en M18, y también que se mantiene una baja o nula cobertura en T10 en todos los monitoreos. Por otro lado, los mayores niveles de rastrojo se registraron en M17 en sectores de Peine y Tilopozo, con coberturas sobre el 80% en transectas T01, T02, T03 y T04 de Peine y sobre un 70% en T19 y T29 en Tilopozo, todas transectas en herbazales de *S. californicus*, además para el mismo monitoreo, se presentan altas coberturas de rastrojo en las transectas de Tilopozo T30 (22,6%), T28 (30,8%) y T24 (39,6%) y en las transectas de Peine T08 (41,2%) y T09 (32,0%). En M18, en general baja la cobertura de rastrojo para todas las transectas respecto a M17, donde el mayor registro es de 55,0% en T29, seguido de 54,0% en T02, seguido de un 26,0% y 24,6% en matorrales de *T. absinthioides* en Tilopozo (T25 y T24, respectivamente) y un 25,8% en T28.

Es importante mencionar, que la cobertura de rastrojos no necesariamente implica una cobertura muerta, respecto de lo que se registraba activo en monitoreos anteriores, hay variaciones de su origen, como los rastrojos observados por quemas durante los monitoreos y que en Peine especialmente, éstos fueron registrados por más tiempo a pesar de la recuperación de la cobertura vegetal, o bien, hay variaciones estacionales donde las especies más efímeras tienden a secarse y después desaparecen.

En relación con la categoría “otros recubrimientos”, muestran alta cobertura de costra salina en todos los sectores, siendo el recubrimiento dominante y variando según la saturación y terrosidad, dependiendo del sector. La presencia de agua superficial es característica de La Punta y La Brava y Aguas de Quelana, destacando para el Año 9 una de las más altas coberturas de agua superficial en T10 en M17 (61,8%) y T11 (18,8%), además de registrar en M17 agua superficial en cuatro transectas del herbazal de *S. californicus* (T01, T02 y T03 en Peine y T29 en Tilopozo) la cual se mantiene en el verano-M18 para T01, T02 y T03.

Con respecto a las variaciones estacionales, los matorrales presentan una mayor diferencia, presentando una mayor cobertura en invierno que en verano, aunque solo dos transectas presentan variaciones significativas, las transectas T23 y T25 en matorrales de *T. absinthioides* en Tilopozo según registros hasta el 2024-2025 (M17 y M18). Para los herbazales, solo la transecta T31 del sector Tilopozo, en un herbazal de *Juncus balticus* registra una mayor variación entre estaciones y con una variación significativa, también indicando una mayor cobertura vegetal en invierno que en verano.

Es importante señalar que, con el objetivo de poder estudiar en mejor detalle la cobertura de la vegetación en sectores de interés y que permitan realizar un mejor diagnóstico de la vegetación, es que Albemarle ha dispuesto esfuerzos de monitoreo de frecuencia semestral adicionando transectas (17), a las cuales se les ha denominado **Monitoreo de Transectas Complementarias (MTC)**. Estas transectas MTC se han realizado a partir de la campaña

de verano 2022 (M12), equivalente al MTC0, y hasta la fecha, se han realizado 6 campañas MTC de manera paralela al levantamiento de las transectas del PMB.

La información complementaria correspondiente a las 17 transectas nuevas, se presenta en el **Anexo Vegetación y Flora MTC**. Estas transectas se encuentran distribuidas en todos los sectores y formaciones vegetales de la siguiente manera: 13 en la zona cercana a las Vegas de Tilopozo, 1 en Peine, 1 en La Brava y 2 en Aguas de Quelana.

Respecto a los resultados del MTC, **Anexo Vegetación y Flora MTC,** estos permiten confirmar la evolución que se observa en las coberturas de los sectores antes señalado.

Por su parte, considerando el método de análisis de distribución y cobertura de la vegetación azonal con el uso del índice NDVI en imágenes de alta resolución, y considerando todas las áreas de los 4 sectores analizados (La Punta-La Brava, Peine, Tilopozo, Soncor y Quelana), se puede señalar que la superficie de vegetación activa para los sectores de Tilopozo - La Punta - La Brava y Peine se encuentran dentro del rango de los registros históricos (obtenidos desde Landsat), tanto para el monitoreo de verano de 2017, como el de verano de 2018 a 2025. Cabe señalar que los sectores Soncor y Aguas de Quelana no tienen registros históricos Landsat de cobertura de vegetación activa ya que está fuera del alcance del compromiso de seguimiento.

En cuanto a los resultados de alta resolución, la superficie de vegetación activa para los sectores Tilopozo – La Punta y La Brava, Peine y Aguas de Quelana superan los valores mínimos históricos en los nueve monitoreos de verano. En cuanto al sector Soncor, en verano 2025 el resultado de superficie de vegetación activa con NDVI (9,6 ha), resulta en el mismo rango de valores de los veranos anteriores y similar al verano 2024, pero al igual que todos los años del seguimiento resulta menor a la superficie mínima histórica (21,2 ha). Cabe recordar que estas diferencias se deben al mayor detalle definido por la COT en las campañas del PMB, de verano 2017 a verano 2025, además del mejoramiento en el algoritmo de corrección de imágenes, lo que permitió detectar con mayor precisión la reflectancia del vigor de la vegetación en función de su cobertura.

En comparación con el monitoreo del verano de 2024, se observa un ligero aumento en la superficie activa en los sectores de Peine y la vegetación zonal de La Punta-La Brava en el verano de 2025, similar cobertura en los sectores Soncor y azonal de La Punta-La Brava y un descenso en Tilopozo en este verano. En general, las superficies de vegetación activa se mantienen dentro de los rangos establecidos en el (PMB) entre 2017 y 2025.

En particular, en cuanto a las superficies de vegetación activa (NDVI) para las formaciones de vega (herbazal) de *Schoenoplectus californicus* en el sector de Tilopozo – La Punta y La Brava en verano 2025, continúa por debajo del rango histórico (desde el verano 2024), registrando los valores más bajos del periodo evaluado. El sector de Peine aunque también permanece por debajo del mínimo histórico, presenta un leve aumento respecto al valor

más bajo registrado durante el verano de 2024, lo que representa una recuperación parcial en relación con el monitoreo anterior. Recordar que en Peine siempre se ha registrado una cobertura bajo el mínimo histórico para esta formación. Anexo **Vegetación y Flora Vol.1** se entrega análisis de vegetación activa para la temporada invernal (invierno 2016 a invierno 2024) en base a las imágenes de alta resolución utilizadas en cada monitoreo.

En relación con Fauna Vertebrados Terrestres:

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este componente y que son objeto de seguimiento, corresponden a la composición, la riqueza y la abundancia, según los parámetros a monitorear establecidos en la RCA del Proyecto. Los parámetros utilizados son a) número e identidad de especies, para la riqueza y composición, y b) número de ejemplares, para la abundancia (absoluta y relativa) y frecuencia (absoluta y relativa). Los parámetros se expresan además para cada tipo de ambiente predefinido y estandarizados por el número de puntos o transectos realizados por cada ambiente.

Dentro de la componente de Fauna, se evalúan los grupos de las aves acuáticas, las aves terrestres, los mamíferos, los reptiles y los anfibios.

Hay que destacar que, para efectuar el presente monitoreo descrito a continuación, se cuenta con el permiso sectorial de captura de animales de especies protegidas de fauna silvestre, a través de la Resolución Exenta N°420/2017 y su correspondiente ampliación en la Resolución Exenta N.º 551/2024 del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Antofagasta (ver acápite 1.1 **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**).

En la campaña de monitoreo, invierno 2024 (en adelante M17), se muestrearon 22 de 25 puntos de muestreo, debido al cierre de las lagunas de Peine (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**), con la metodología de transectos (en los 22 puntos) y muestreos complementarios: trampeos de micromamíferos (en nueve puntos), 11 estaciones con trampas cámara, cinco muestreos de aves nocturnas y dos muestreos nocturnos de anfibios.

En invierno 2024 se registró una riqueza total de 28 especies, identificándose una especie de reptil, 18 especies de aves y nueve especies de mamíferos. Del total, 12 de estas especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación (de ellas, cinco se consideran amenazadas). En detalle, estas especies en categoría de conservación corresponden a una especie de reptil, cinco especies de aves y seis especies de mamíferos. En esta campaña de inverno 2024, no se registraron especies nuevas para el monitoreo.

En relación con la riqueza por sector, se registraron 19 especies en el sector Tilopozo, 11 especies en Peine y nueve especies en La Punta y La Brava, predominando en los tres sectores el registro de especies de aves.

En cuanto a la composición por ambientes, se destaca que el ambiente de humedal pajonal en Tilopozo posee la mayor riqueza con 14 especies (un reptil, siete aves y seis mamíferos); le siguen con nueve especies los ambientes de humedal salar en La Punta y la Brava y humedal salar en Peine junto con el matorral de Tilopozo, con seis especies.

En la campaña de monitoreo semestral de fauna vertebrada terrestre, verano 2025 (en adelante M18), se realizaron 19 de los 25 puntos de muestreo de las campañas previas, debido al cierre de las lagunas de Peine (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**, limitando por séptima vez (campaña) en el marco del PMB, el acceso parcial al sector de lagunas de Peine (cinco en época estival, dos en invierno), debido a que es un área con poblaciones de flamencos en fase reproductiva en dicha estación del año. Lo anterior afecta significativamente los resultados, sobre todo en lo que respecta al análisis de la evolución de la abundancia de aves acuáticas (y en particular, de los flamencos) en los sistemas lagunares, lo que dificulta la comparación con la serie histórica del monitoreo.

Dentro de la componente de Fauna, se evalúan los grupos de las aves acuáticas, las aves terrestres, los mamíferos, los reptiles y los anfibios.

Se registró una riqueza total de 24 especies, identificándose dos especies de reptiles, 13 especies de aves y nueve especies de mamíferos. Del total, 13 de estas especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación (de ellas, siete se consideran amenazadas). En detalle, estas especies en categoría de conservación corresponden a dos especies de reptiles, cinco aves y seis mamíferos.

En esta campaña PMB de verano 2025 se registró una especie nueva, no observada en los monitoreos de verano (la chinchilla cordillerana, aunque si se había registrado en invierno). Esta especie no se había registrado en la Línea de Base del PMB (2015).

En relación con la riqueza por sector, se registraron 14 especies en el sector Tilopozo, 10 especies en La Punta y La Brava y tres especies en Peine, predominando en los tres sectores el registro de especies de aves.

En cuanto a la composición por ambientes, se destaca que los humedales registraron la mayor riqueza en los distintos grupos (reptiles, aves y mamíferos), con 11 especies en el humedal pajonal de Tilopozo, y 10 especies en el humedal salar de La Punta y La Brava.

En el área de estudio, y en relación con la riqueza acumulada en las 18 campañas de monitoreo, ésta asciende a un total de 68 especies, identificándose una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 49 especies de aves y 16 especies de mamíferos.

En relación con la evolución de la fauna, en el caso de la única especie de anfibio, ésta fue registrada sólo en verano 2018, con un ejemplar detectado en un punto de muestreo (FT01, en el ambiente humedal pajonal del sector de Tilopozo).

Además de la caracterización de fauna, y en relación con las abundancias y frecuencias, las dos especies de reptiles registradas presentan abundancias y frecuencias notoriamente diferentes, siendo mayor en las campañas de invierno 2020, y menor en invierno 2024. En todas las campañas, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, dominando sobre la lagartija de Constanza, a excepción de verano 2022 e invierno 2023 y 2024, en el cual no se pudieron completar los muestreos de salares por restricciones de acceso. En relación a las aves, la abundancia fue mayor en invierno 2021 y menor en verano 2023, destacando la parina grande y el flamenco chileno como las especies más abundantes en las campañas, excepto en los veranos de 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, en que no tuvieron muestreos completos de los sistemas lagunares, debido a las restricciones totales (2021, 2023, 2024 y 2025) y parciales (2022 e invierno 2023 y 2024) para acceder a las lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), para no interferir con la época reproductiva de los flamencos. Este impedimento de los muestreos de verano no permite analizar adecuadamente la evolución de la fauna, ya que en dichos sectores es donde se presenta la mayor riqueza y abundancia de aves en general, y de flamencos en particular.

Comparando las 18 campañas realizadas, y en cuanto a la abundancia relativa por ambiente (estandarizando por el número de transectos), los reptiles presentan la mayor abundancia relativa en el ambiente de humedal pajonal, seguido por el humedal salar, la quebrada, el herbazal y el matorral.

En el caso de las aves, y para todas las campañas, claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar, seguido por el matorral, el humedal pajonal y la quebrada. Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal y el área desprovista de vegetación costra salar.

En el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las cuatro especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en los seis ambientes, y con un IDR que varió entre 0,8% a 13,3%. En cambio, el ratón andino fue registrado en cuatro ambientes, variando entre un IDR de 0,8% a un 21,7%.

En una primera escala gruesa de comparación con la Línea de Base, las 68 especies registradas en total para las 18 campañas de monitoreo (de 2016 a 2025[4]) sobrepasan la riqueza acumulada de 62 especies observadas en varias campañas estacionales y de varios años (línea base del proyecto desde 2006 a verano 2015), detalladas en el PMB (2015, presentado en el Anexo 2, Adenda 5). Además, hay 22 especies nuevas

[4] A la fecha se han ejecutado 6 campañas estivales efectivas de terreno, que corresponden a 2017, 2018, 2019, 2021, 2022 y 2023. La campaña verano 2020 no pudo efectuarse por COVID, sin embargo, para efectos de generalizar las campañas del PMB se consideran 6 campañas en verano (además de las 7 de invierno), dado que sí se logró hacer otras componentes.

(principalmente aves) que se han ido incorporando al registro dentro del monitoreo, que no se habían registrado en la Línea de Base.

Comparando con los valores y criterios especificados en el Plan de Manejo Biótico (PMB), en general, a las distintas escalas de análisis (cualitativo y cuantitativo) y comparaciones con la línea de base (campañas previas), las variaciones observadas en las campañas de monitoreo, en: la riqueza, la composición y sobre todo la abundancia de fauna, **se concluye para la evolución y seguimiento para este año N°9 que se encuentran dentro de los registros históricos (comparadas con Línea de Base)**. En particular, para las aves (y excepto en veranos de 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, junto con inviernos 2023 y 2024, con menor monitoreo, debido a las restricciones de acceso a lagunas de Peine), los parámetros son mayores en el Monitoreo del PMB que en la Línea de Base, como por ejemplo, mayor riqueza de especies, mayores valores de abundancia absoluta, mayor número de flamencos, con amplias variaciones estacionales naturales, las cuales se explican fundamentalmente por el comportamiento natural “móvil” en algunas especies esporádico y sobre todo, migratorio de las especies de aves, como la de los flamencos y pollito de mar.

En general, para todos los monitoreos desde 2016 a 2025, la composición de las especies y el patrón de dominancia numérica de los flamencos en los sistemas acuáticos se mantiene. Esto se cumple tanto para los sistemas lagunares considerados en conjunto, como para el Sistema lagunar Peine (el que aporta la mayor abundancia absoluta de aves, con centenares de ejemplares). Analizando el sistema lagunar de La Punta y La Brava, con menor abundancia absoluta de aves, con algunas decenas de ejemplares, si bien la riqueza de aves es mayor en el monitoreo que en la Línea de Base, las abundancias de aves acuáticas muestran resultados disímiles: esto es, que son relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo y la Línea de Base, pero no ocurre lo mismo en el caso particular de los flamencos en La Punta y La Brava, con menores valores en el monitoreo que en la Línea de Base, lo que está dado particularmente por la parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*).

Cabe recalcar que, de las 18 campañas programadas, en verano 2020 no se efectuó muestreo por la pandemia Covid-19 y en los veranos 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, además de invierno 2023 y 2024 se efectuaron entre 19 y 22 de los 25 puntos de muestreo (faltando todos o parte de los puntos de monitoreo de las lagunas de Peine), por lo que las comparaciones que se obtienen de la evolución y comportamiento de la fauna en el tiempo, deben considerarse con dichas restricciones (sobre todo, para aves acuáticas en general, y flamencos en particular).

Comparando con los valores y criterios especificados en el Plan de Manejo Biótico (PMB), en general, a las distintas escalas de análisis (cualitativo y cuantitativo) y comparaciones

con la línea de base (campañas previas), las variaciones observadas en las campañas de monitoreo, en la riqueza, composición y sobre todo, abundancia de fauna, se concluye que se encuentran dentro de los registros históricos (comparadas con Línea de Base).

En relación con Tapetes microbianos:

El presente informe caracteriza las comunidades microbianas extremófilas de los sistemas lagunares ubicados en el Sector Peine, conformado por laguna Salada, laguna Saladita y laguna Interna; y en el Sector La Punta-La Brava conformado por las lagunas La Brava, laguna La Punta; y Sector Tilopozo. Durante invierno 2024, el Sector Peine conformado por la laguna Salada, laguna Saladita y laguna Interna, fue muestreado parcialmente (Laguna Saladita e Interna), sin la posibilidad de acceder a Laguna Salada, mientras que en verano 2025 no hubo acceso a ninguna de las lagunas de dicho sector (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**). Asimismo, cabe recordar que no se cuenta con información de la campaña verano 2020 para ningún sector, debido a que no pudo ser realizada por inicio de la contingencia COVID19. En las campañas de verano 2021 y verano 2023 no se muestreó el Sector Peine, debido al cierre de acceso a las lagunas debido a la fase reproductiva de flamencos. En campaña de verano 2022, las estaciones de las lagunas Salada (S-9) y Saladita (SA-25) tampoco pudieron ser muestreadas por las mismas razones expuestas anteriormente.

Considerando lo anterior, del total de 16 estaciones que contempla el monitoreo de Tapetes microbianos, dado que 3 de ellas no se pudieron muestrear (Laguna Salada, sector Peine), de los 13 puntos restantes, los resultados del monitoreo invierno 2024, indican para este periodo la presencia de tapetes microbianos en 9 de las 13 estaciones monitoreadas (69,2%) en los Sectores de Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Lo anterior, se ha evidenciado desde los inicios del seguimiento. Por otro lado, del total de 16 estaciones que contempla el monitoreo de Tapetes microbianos de verano 2025, dado que 8 de ellas no se pudieron muestrear (Peine), de los 8 puntos restantes, los resultados indican la presencia de tapetes microbianos en 5 de las 8 estaciones monitoreadas (62,5%) en los sectores de La Punta-La Brava y Tilopozo. Considerando el total de 16 estaciones de monitoreo y el muestreo llevado a cabo, el 31,3% de las estaciones presentaron tapetes microbianos.

Las características macroscópicas de los tapetes microbianos analizados durante invierno 2024 y verano 2025, exhibieron tapetes con estructura de pigmentación en la que se distinguieron tres macro-zonas (Tipología 1), tapetes con pigmentación conformada por dos macro-zonas (Tipología 2), y con sólo una macro-zona (Tipología 3). En ambas campañas, la Tipología 1 fue predominante. Los tapetes presentaron en la macrozona Subsuperficial, capas comunes de tonalidad verde y naranja. Respecto a las capas de la macrozona Intermedia, generalmente presentaron tonalidades color púrpura y/o rosada. Las capas

siguientes, en la macrozona Profunda, presentaron pigmentación de tonalidad predominantemente marrón.

El espesor máximo de los tapetes observados en invierno 2024, fue 16 mm, registrado en el Sector Peine, específicamente en Laguna Interna (I-17), mientras que en verano 2025, el mayor espesor se observó en el sector La Punta-La Brava, específicamente Laguna La Brava (LB-2) con 7,8 mm.

El sector Tilopozo en las campañas invierno 2024 y verano 2025, nuevamente y por noveno año consecutivo no registró presencia de tapetes microbianos. Cabe resaltar, que sólo se hallaron tapetes microbianos en la campaña Invierno 2016. Para el caso del sector Tilopozo, pese a que el PMB no lo solicita, la variable Tapetes Microbianos fue incorporada con 3 puntos de monitoreo adicionales por parte del Titular, a fin de robustecer la caracterización de las zonas.

Por otro lado, a través de la identificación visual, se sugiere, para la campaña invierno 2024, la presencia de evaporitas en La Punta (LP-24) y de microbialitos en laguna Interna (I-11), La Brava (LB-1) y en La Punta (LP-23). En verano 2025, se sugiere la presencia de evaporitas en La Punta (LP-24). No se observan este tipo de estructuras en el sector Tilopozo, al igual que en todas las campañas anteriores.

En relación con la evolución de los cambios observados en las campañas de monitoreo de invierno 2016, verano e invierno 2017, verano e invierno 2018, verano e invierno 2019, invierno 2020, verano e invierno 2021, verano e invierno 2022, verano e invierno tardío 2023, verano e invierno 2024 y verano 2025, se destacan los siguientes aspectos:

En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos, se observó la presencia de tapetes Tipología 1 en las dieciséis campañas semestrales en el Sector Peine (cuando pudo ser muestreado) y Sector La Punta-La Brava. Los tapetes de Tipología 1 predominaron en 2016, 2017, 2018, sin embargo, disminuyeron desde invierno 2019 hasta verano 2021, a razón de una mayor detección de tapetes Tipología 2. No obstante, a partir de invierno 2021 y hasta la última campaña realizada (verano 2025), la Tipología 1 volvió a ser predominante.

En general, los tapetes Tipología 1 durante las dieciséis campañas de monitoreo se caracterizaron por presentar en la macrozona Subsuperficial capas de tonalidad verde y naranja, en la macrozona Intermedia capas de tonalidad rosado y/o púrpura. Respecto a la macrozona Profunda, se observó variación en las capas pigmentadas según sector (Peine, La Punta-La Brava) y entre puntos de monitoreo de un mismo sector, siendo las capas más

comunes correspondientes a tonalidades marrón y en menor medida, negro y/o verde claro, entre otras.

Se destaca en el Sector Peine, la variabilidad entre Tipología 1 y 2 de los tapetes microbianos sumergidos en SA-25, los cuales se han registrado principalmente en verano 2017, invierno 2017, verano 2018. Sin embargo, este sector no se ha podido volver a evaluar, en campañas de verano desde 2019 y en campañas de invierno desde invierno 2022, debido a razones anteriormente expuestas.

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, se sugiere la presencia de microbialitos en el Sector Peine (I-11) y La Punta - La Brava (LB-1, LP-23) en las dieciséis campañas de monitoreo (excepto en los casos donde Peine no pudo ser muestreado). Respecto a las evaporitas, se sugiere la presencia de estas estructuras en invierno 2017, e invierno 2018 para el Sector Peine en Laguna Interna (I-11). En relación con el Sector La Punta-La Brava, en Laguna La Punta (LP-24) estas estructuras se observaron en invierno 2017, verano e invierno 2018, verano 2019, invierno 2020, verano e invierno 2021, verano e invierno 2022, verano e invierno tardío 2023, verano e invierno 2024 y verano 2025.

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia mayoritaria de Tipología 1 en los tapetes microbianos, se podrían atribuir a las fluctuaciones de las variables conductividad, la salinidad, oxígeno disuelto y la turbiedad en las lagunas. Otras variables de importancia que podrían estar modulando la presencia de tipologías corresponden a la alcalinidad, el potencial redox, y el nivel y la disponibilidad de agua en las lagunas (Cabestrero et al., 2018; Prieto-Barajas et al., 2018). Sin embargo, no se ha establecido una correlación directa entre dichos parámetros y las conformaciones tipológicas de los tapetes microbianos.

En relación Suelo o Sustrato:

El presente informe de seguimiento ambiental corresponde al Informe Anual N°9, y se indican las actividades y resultados obtenidos en el monitoreo semestral de invierno 2024 (M17) y verano 2025 (M18), para el subcomponente ambiental suelo – sustrato. Además, se presenta la evolución de los parámetros fisicoquímicos de suelo estudiados entre los monitoreos de verano precedentes[5]: 2017 (M2), 2018 (M4), 2019 (M6), 2021 (M10), 2022 (M12), 2023 (M14), 2024 (M16) y el actual monitoreo estival 2025 (M18) y los respectivos monitoreos de invierno: 2016 (M1), 2017 (M3), 2018 (M5), 2019 (M7), 2020 (M9), 2022 (M13), 2023 (M15) y el actual monitoreo invernal 2024 (M17).

[5] La campaña estival 2020 (M8) no pudo ser realizada para el componente debido a las restricciones impuestas por la situación sanitaria a nivel nacional (COVID-19), al igual que la campaña invernal 2021 (M11), cancelada por razones de seguridad de Albemarle.

El área de estudio comprende los sectores de La Punta-La Brava y Peine, con cuatro puntos de muestreo en cada sector (dos muestras por cada punto de muestreo) y el sector de Tilopozo con seis puntos de muestreo (dos muestras por punto), lo que se traduce en un total de 28 muestras desde los 14 puntos de muestreo. Los parámetros que se reportan son: conductividad eléctrica (CE), salinidad, pH, materia orgánica, nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio), conductividad hidráulica, textura, humedad y nivel freático.

Respecto a los laboratorios encargados de los análisis de las muestras de suelo, es necesario señalar que hasta verano 2019 (M6), SGS estaba a cargo de los análisis de materia orgánica, humedad y macronutrientes (fósforo, nitrógeno y potasio). A partir de invierno 2019 (M7), el laboratorio ANAM se hace cargo de la determinación de materia orgánica y humedad hasta verano 2022 (M12), los que son realizados desde invierno 2022 (M13) hasta el verano de 2024 por el laboratorio ALS, y finalmente, para los monitoreos actuales (invierno 2024 y verano 2025) fueron realizados nuevamente por el laboratorio ANAM.

Además, desde invierno 2019 (M7) hasta el monitoreo actual el laboratorio encargado de la determinación de nitrógeno disponible fue AGROLAB. La determinación de fósforo estuvo a cargo de los laboratorios AGROLAB (M7 a M13), ALS (M14 a M16) y actualmente HIDROLAB (M17 y M18). Por su parte, la evaluación del potasio fue realizada por AGROLAB (M7 a M13), ALS (M14 y M16) y finalmente por ANAM para los monitoreos actuales (M17 y M18). Por otro lado, los parámetros pH y conductividad eléctrica fueron determinados históricamente por el laboratorio ALS (M2 a M16) y en el monitoreo actual por ANAM (M17 y M18).

Por último, el parámetro Salinidad ha sido determinado históricamente por el laboratorio Agrolab, mientras que la Conductividad Hidráulica ha sido determinada desde M1 hasta M18 por el Laboratorio de Física de Suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile; y finalmente la Textura fue determinada hasta M12 por Agrolab, y desde M13 hasta la actualidad (M18) por ALS.

El seguimiento de la conductividad eléctrica en los sectores La Punta - La Brava, Peine y Tilopozo, revela incrementos en varios puntos, con algunas muestras superando los máximos históricos; por ejemplo, en el sector La Punta - La Brava, se observaron alzas de hasta el 490% en el punto S 6-1 durante el invierno. La salinidad exhibe un comportamiento más diverso, con incrementos en ciertos puntos y descensos en otros, generalmente dentro o ligeramente por encima de los rangos históricos. En general, los resultados son coherentes con las características químicas de suelos en entornos de humedales salinos, y se recomienda un seguimiento continuo para validar las tendencias observadas y cualquier anomalía.

El monitoreo del pH revela una notable estabilidad en los valores durante los monitoreos de invierno y verano. En general, los resultados se mantienen dentro de los rangos históricos

usuales con baja variabilidad entre muestreos, y se observa una tendencia a presentar valores de pH ligeramente mayores en superficie durante el verano, lo cual es consistente con el balance evapotranspirativo y el ascenso capilar de sales que elevan el pH en superficie. Los valores de pH registrados son normales y acordes a la ubicación de estos suelos en las proximidades de cuerpos lagunares salinos.

El monitoreo del nitrógeno disponible en los suelos de los tres sectores reveló una tendencia general de disminución en los valores para los monitoreos de invierno (M17) y verano (M18) en comparación con los monitoreos inmediatamente anteriores (M13 y M15), con porcentajes de baja que oscilan entre el 31% y el 89%. Los valores actuales de M17 se encuentran más cercanos a tendencias históricas como las de M7 y M9. Aunque la mayoría de las muestras se mantienen dentro del rango histórico de variación, se observaron excepciones puntuales, como aumentos por sobre los máximos históricos en dos muestras de Peine en verano (S 11-1 y S 11-2) y descensos por debajo de los mínimos históricos en dos muestras de Tilopozo en verano (S 2-1 y S 2-2). La variabilidad en los contenidos de nitrógeno se atribuye solo parcialmente a la diversidad del material parental, siendo influenciada significativamente por factores como la ocurrencia de lluvias (aporte atmosférico), la fijación de nitrógeno (simbiótica y no simbiótica), y la mineralización de materia orgánica, que dependen a su vez de la humedad, temperatura, pH y presencia de micorrizas. Se enfatiza la necesidad de continuar el seguimiento para definir de manera más clara el rango de variación natural de los suelos.

Por otro lado, el monitoreo del fósforo disponible en los suelos de los tres sectores reveló una tendencia de incrementos importantes en los niveles durante el invierno, con varias muestras superando los máximos históricos. Entre estas, se incluye un aumento del 726% en S 3-2 de La Punta - La Brava, un 433% en S 11-1 de Peine y un 268% en S 9-2 de Tilopozo, representando estos valores una dispersión importante que requiere validación en futuros monitoreos. En contraste, los valores de fósforo disponible en verano se mostraron más variables; generalmente dentro de la tendencia histórica, pero con algunas muestras por debajo de los mínimos (La Punta) o con aumentos moderados (Tilopozo), y alta variabilidad entre monitoreos. La disponibilidad de fósforo se explica parcialmente por la variabilidad del material parental, y está fuertemente influenciada por factores como el pH (mayor alcalinidad, mayor disponibilidad), el contenido de materia orgánica y los niveles de humedad del suelo. La posibilidad de re-transporte de material parental con distintos contenidos de fósforo por lluvias intensas en temporadas anteriores se plantea como una causa adicional a investigar. Es crucial continuar el seguimiento para confirmar tendencias y definir el rango de variación natural de este nutriente.

El monitoreo del potasio disponible en los suelos de los tres sectores revela que, en el monitoreo de invierno (M17), los valores se encuentran consistentemente en el rango alto del periodo de seguimiento total, aunque dentro de la variación histórica para cada punto. Una observación recurrente es que los valores de M15 en invierno presentan un incremento

por sobre otros registros en todos los sectores. Los valores del monitoreo estival (M18) se presentan generalmente dentro de la tendencia histórica, con algunas muestras puntuales por debajo de los mínimos históricos (La Punta, Peine), y una constante identificación de M14 y M16 como los valores más elevados para registros de verano en La Punta y Tilopozo. La disponibilidad de potasio está influenciada parcialmente por la variabilidad del material parental (tipo de arcillas), y una mayor humedad y contenido de materia orgánica tienden a correlacionarse con una mayor disponibilidad. Se enfatiza la importancia de futuros monitoreos para confirmar posibles tendencias al alza y explorar causas adicionales, como el re-transporte de material parental rico en potasio por lluvias intensas.

La conductividad hidráulica de los suelos monitoreados en La Punta - La Brava, Peine y Tilopozo exhibió una marcada variabilidad temporal, lo que resalta la complejidad de este parámetro en el área de estudio. Durante el invierno, si bien la mayoría de los valores se situaron en la parte baja del rango histórico, se observó una dispersión significativa en La Punta - La Brava, con incrementos extremos (por ejemplo, hasta un 3439% en S 4-1) y descensos importantes en algunas muestras, mientras que Peine y Tilopozo presentaron muestras puntuales que superaron los máximos históricos. En los monitoreos de verano, también se registraron variaciones considerables, con muestras que excedieron los valores máximos históricos (por ejemplo, hasta un 486% en S 6-2 de La Punta - La Brava) y otras muestras que cayeron por debajo de los mínimos históricos. La conductividad hidráulica, que depende intrínsecamente de las características del suelo y las condiciones de compactación, no mostró una correlación clara con la textura del suelo en algunos casos, y no se registraron intervenciones antrópicas sobre la compactación que pudieran explicar estas fluctuaciones. Dada esta alta variabilidad natural, es fundamental continuar evaluando la serie histórica de datos para identificar tendencias y robustecer el análisis para entender mejor la variabilidad inherente del sistema.

En los tres sectores monitoreados (La Punta - La Brava, Peine y Tilopozo), se observó una transición general hacia texturas más gruesas (predominantemente areno francosas y arenosas) en los monitoreos recientes (M17 y M18) en comparación con registros inmediatamente anteriores. Es importante destacar que este cambio sitúa las clases texturales actuales más cerca de los valores modales o más comunes de la serie histórica de datos. La diversidad y variabilidad textural registrada entre monitoreos se atribuye parcialmente a la heterogeneidad natural del material parental y a la dispersión geográfica entre puntos. Una causa complementaria y recurrente propuesta para explicar estas variaciones es el re-transporte de material parental con clases texturales diferenciales desde cotas superiores, posiblemente afectado por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

El monitoreo de la humedad del suelo revela que, en general, los valores se mantienen dentro de los rangos de variación históricos, con una gran consistencia interna en las muestras. Las variaciones observadas están fuertemente ligadas a factores como la textura

del suelo y la presencia o profundidad del nivel freático. Por ejemplo, suelos con texturas más gruesas o niveles freáticos profundos (como en ciertos puntos de Peine y Tilopozo) presentaron consistentemente menor humedad, mientras que las zonas de vega con nivel freático presente (como algunos puntos en Tilopozo) mostraron los niveles más altos. A pesar de esta coherencia general, se identificaron casos de alta variabilidad local y ausencia de correlaciones directas claras entre la humedad y el nivel freático en ciertos puntos de La Punta - La Brava, así como algunas muestras extremas en Tilopozo. Esta complejidad subraya la necesidad de un monitoreo continuo y a largo plazo para establecer patrones de variación natural más robustos y discernir anomalías puntuales de tendencias significativas.

Los registros de nivel freático en los tres sectores muestran que, en general, las profundidades se mantienen dentro del rango de variación histórica y son consistentes con lo esperado para puntos de muestreo ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos. Se observa una variabilidad espacial característica, con algunos puntos consistentemente más superficiales (como S 5 en La Punta - La Brava) y otros más profundos o sin nivel freático detectable (como S 6 en La Punta - La Brava, S 12 en Peine, y S 1 y S 2 en Tilopozo). Aunque la mayoría de los valores se sitúan dentro de los rangos usuales, se destaca la particularidad del punto S 7 en Tilopozo, que en invierno se presentó más profundo que en monitoreos anteriores. Cabe aclarar que los casos sin datos corresponden a niveles freáticos más profundos que la excavación realizada, y que la metodología y los resultados de este registro de nivel freático, aunque útiles como información complementaria para la caracterización del suelo, no forman parte de los compromisos ante la SMA.

Los monitoreos recientes de suelo en La Punta - La Brava, Peine y Tilopozo confirman que la mayoría de los parámetros se mantienen, principalmente, dentro de su rango de variación histórica. Esto es esperable dada la naturaleza de los suelos analizados. Si bien se observaron variaciones entre monitoreos, excluyendo la estabilidad general del pH y la humedad, incrementos en la conductividad eléctrica, fósforo y potasio, y fluctuaciones en el nitrógeno, conductividad hidráulica y clases texturales, la mayor parte de estos cambios se asocian a la variabilidad natural intrínseca del material parental. También influyen la dinámica hídrica y los procesos biogeoquímicos propios de los humedales salinos, como el re-transporte de material. En algunos casos, la magnitud de ciertas variaciones dentro de la serie de datos sugiere la necesidad de continuar con los monitoreos para establecer el rango de variación natural del sistema.

En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos):

El presente informe consolidado da cuenta del monitoreo del noveno año de la componente de biota acuática, calidad de aguas y sedimento, es decir Limnología, y su relación con la Línea de Base del Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar – SDA Minera Albemarle – Planta Salar, presentada en el documento

Plan de Manejo Biótico (PMB) y el monitoreo posterior a las etapas de construcción y operación de las obras de emplazamiento de Minera Albemarle. El Plan de Manejo Biótico, corresponde a la línea base del Proyecto y constituye la referencia con la cual comparar los resultados obtenidos en el Monitoreo.

A la fecha de este informe, el monitoreo de Limnología cuenta con 18 campañas semestrales en las cuales se evalúan los subcomponentes biota acuática, calidad de aguas y sedimentos, realizadas en los periodos de agosto-noviembre de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 correspondiente a la época de invierno, y marzo-abril de 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, correspondientes a la época de verano post lluvias. Cabe señalar que la campaña verano 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Para el sector de Peine en particular, tampoco se cuenta de las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, verano e invierno 2023, verano 2024, parte de invierno 2024 y el verano 2025, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones).**

El área estudiada se encuentra dividida en tres sectores: Sector La Punta-La Brava, que consta de cinco estaciones; Sector Tilopozo que presenta tres estaciones; y Sector Peine, que consta de seis estaciones. Las variables del subcomponente calidad de agua y sedimento, fueron evaluadas *in situ* y por un laboratorio de análisis ambientales, a través de la toma de una muestra en cada estación. Mientras que, para la biota acuática, se tomó muestras de las distintas comunidades a evaluar y se identificó y cuantificó los *taxa in situ* o por un laboratorio de análisis taxonómico, según el subcomponente biótico.

- Calidad de Agua

En este noveno informe consolidado, los resultados del componente agua de las campañas de monitoreo de invierno 2024 y verano 2025, presentan la temporalidad de los parámetros, así como algunas diferencias respecto a su evolución en el tiempo y comparación con el registro del Línea de Base, las cuales se resumen a continuación.

La calidad de agua en el sector La Punta y La Brava en ambas campañas, presentó una alta salinidad y conductividad, asociadas a las altas concentraciones de cloruro y sulfato, junto con un pH moderadamente alcalino relacionado con los altos valores de bicarbonato y alcalinidad total. En laguna La Brava, las estaciones LB-1 y LB-2 presentaron las mayores conductividades (>103.000 µS/cm en la campaña de verano) y en la estación LB-3, se registran los menores valores de conductividad, salinidad, cloruros y sulfatos del sector. En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades altas (>30.000

µS/cm en conductividad), pero menores que en LB-1 y LB-2. Las temperaturas en general fueron altas, acorde con la baja profundidad de los cuerpos de agua, registrándose los mayores valores en LB-3 (>30°C en verano en esa estación). Históricamente se distinguen las estaciones LB-1 y LB-2 con comportamiento distinto a los demás puntos del sector, con mayores fluctuaciones principalmente en invierno. Durante estos períodos (invierno), los mayores valores para la conductividad eléctrica, el cloruro y sulfato del sector se registraron en invierno 2019 e invierno 2023, mientras que, los menores registros fueron detectados en invierno 2020 e invierno 2022. En laguna La Punta las variaciones han sido menores, tanto en invierno como en verano, solo en verano 2019 se registraron altos valores referidos a sales, para posteriormente mostrar fluctuaciones moderadas. En LB-3 después del año 2021 se ha observado una disminución de las concentraciones, tanto en invierno como en verano, pero dentro de los límites de la LB.

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo, muestran un sistema con menor conductividad (entre 3.336 y 4.733 µS/cm), salinidad y sulfato en comparación con los otros sectores de estudio, además de un pH de neutro a moderadamente alcalino, condición esperable dada las características propias de un sistema de vegas y de su lejanía del núcleo del salar. Históricamente, los valores registrados en las estaciones TB-1 y TB-2 han sido estables, tanto en invierno como en verano, a diferencia de TB-2 que tuvo un registro más variable. Si bien las estaciones del sector se encuentran cercanas entre sí, éstas presentan diferencias, observándose valores similares en TB-1 y TB-3, a diferencia de la estación TB-2, en relación con la temperatura, pH, conductividad específica, oxígeno disuelto, alcalinidad total, bicarbonato, sulfato, nitrato, clorofila “a” y turbiedad. Esto se relaciona con que TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de aproximadamente 2 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial con condiciones estables y TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad. Cabe mencionar que en las campañas de verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, verano 2021 e invierno 2021, la estación TB-2 se encontró sin agua superficial.

Con los resultados obtenidos al noveno año de monitoreo, se puede señalar que respecto de esta variable no existen cambios en los parámetros evaluados que puedan ser asociados al Proyecto. Si bien, hubo diferencias en algunos parámetros respecto a los registros de LB, tales diferencias pueden deberse a cambios propios de la variación natural de estos sistemas acuáticos salinos, dados tanto por el proceso de evapotranspiración diario, como por el aporte de agua por las precipitaciones en el Salar.

- Calidad de Sedimentos

La calidad de sedimentos contó con sólo una campaña de LB previa de referencia (verano 2015) para los sectores de Peine y La Punta y La Brava; mientras que para el sector de

Tilopozo no hubo registros de LB respecto a la calidad de sedimentos, por lo que se cuenta con los monitoreos de verano del PMB (2017 a 2025). Estos muestran sedimentos relativamente ricos en carbono orgánico total y materia orgánica, siendo esta última aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica, además de concentraciones de fósforo variables, sin una tendencia clara de aumentar o disminuir los valores de estos parámetros, tanto temporal como espacialmente dentro de cada sector, aunque Tilopozo mostró las mayores concentraciones de fósforo. El potencial redox presentó características reductoras con valores negativos en todas las estaciones y monitoreos, exceptuando en la campaña de verano 2023 en La Punta y La Brava, donde se registraron valores positivos que indican sedimentos que favorecen reacciones oxidativas. Las diferencias entre el actual registro y la LB estarían sujetos a la variación natural de los sistemas acuáticos que contienen sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos y yeso.

- Biota Acuática

Respecto de las variables de riqueza y abundancia de las componentes de biota acuática estas en general se encontraron dentro del rango establecido por la Línea de Base del Plan de Manejo Biótico o a la comparación entre campañas de monitoreo, exceptuando por algunos casos puntuales que se comentan a continuación. Como se mencionó en el Sector Peine, solo fue posible monitorear algunas estaciones durante la campaña invierno 2024, mientras que en verano 2025, no fue posible acceder al sector, debido al cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos.

Cabe destacar que, en invierno 2024 y verano 2025 se observó diferencias en la abundancia, presentando altas abundancias para el fitobentos en periodo de verano e invierno las que han ido aumentando desde el verano 2021, obteniendo en invierno 2023 y verano 2024 registros que se han sostenido o aumentado en todas las estaciones de monitoreo. Mientras que, para fitoplancton se detectaron, abundancias bajas en ambas campañas en comparación con el fitobentos, incluso con valores por debajo del límite mínimo consignado previamente en la LB, dichos registros en general fueron observados en todas las estaciones de La Punta y La Brava. Por otra parte, para el sector La Punta y La Brava, la riqueza para fitobentos en invierno 2024 estuvo dentro del rango de variación de la LB del PMB, mientras que para fitoplancton estuvo por debajo de dicho rango (salvo LB-2). En verano 2025, en tanto, las microalgas fitobentónicas registraron riquezas dentro del rango de variación de la LB, al igual que el fitoplancton, con excepción de la estación LP-23.

Para las vegas de Tilopozo, la abundancia del fitobentos desde la campaña de invierno 2020, ha ido en aumento en todas las estaciones de monitoreo y campañas, obteniendo en

invierno 2024 y verano 2025 un aumento sostenido a la fecha. Para fitoplancton, la abundancia se ha mantenido dentro del rango de variación en relación con los monitoreos de invierno y verano anteriores.

En general, para los dos sistemas La Punta y La Brava y vegas de Tilopozo entre periodos invierno y verano se reportó la alta frecuencia y dominancia en el fitobentos y el fitoplancton de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas), seguido de Cyanobacteriia (Cyanophyceae). Respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados en invierno 2024 y verano 2025, para ambos componentes, correspondieron a las diatomeas *Denticula*, *Halamphora*, *Nitzschia* y *Cocconeis*, todos correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes hipersalinos (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009). Cabe mencionar la presencia de cianófitas en el presente monitoreo anual el cual estuvo representado principalmente por los géneros *Gloeocapsa*, *Oscillatoria*, *Gomphosphaeria* y *Chroococcus*. Los que son cosmopolitas, y han sido determinados para el Salar de Atacama, estos *taxa* pueden colonizar variados ambientes entre ellos los halófilos, además de estar en estrecha relación con los denominados tapetes microbianos (Mirande &Tracanna 2015).

Respecto al zooplancton encontrado, las riquezas se mantuvieron bajas en el área (≤4), similar a monitoreos anteriores, tanto en La Punta y La Brava, en Peine y como en Tilopozo. Las abundancias totales para invierno 2024 presentaron algunos valores por sobre el rango establecido por la línea base del PMB en La Punta y La Brava, y en el sector de Tilopozo en general fueron bajas. Las abundancias totales en verano 2025 fueron en general bajas, incluso bajo la LB de referencia para Peine, no así en La Punta y La Brava donde la mayor abundancia fue de *Tigriopus* sp. En el sector de Tilopozo hubo bajas abundancias y el zooplancton registrado correspondió a fauna compuesta por organismos bentónicos que eventualmente se encuentra en la columna de agua, entre ellos *Heleobia atacamensis*.

Las fluctuaciones de la conductividad y la salinidad en estos sistemas, atribuibles a las variaciones de precipitación y alta evaporación propias del salar, podrían estar repercutiendo en la abundancia microalgal y zooplanctónica.

Respecto de la comunidad de zoobentos, las riquezas fueron bajas en invierno 2024, en algunos casos menores a los registros de la LB y las abundancias fueron en general bajas respecto a monitoreos de invierno anteriores, tanto en La Punta-La Brava, en Peine, como en Tilopozo, exceptuando por las estaciones LB-1 (La Brava) y S-10 (Saladita). En verano 2025 las riquezas fueron variables y en un caso mayor a los registros de la LB (>3). Las abundancias respecto a monitoreos de verano anteriores tendieron a ser bajas en La Punta-La Brava y altas en Tilopozo.

La especie de gasterópodo *H. atacamensis* encontrado en Tilopozo en las últimas campañas y en campañas anteriores en altas abundancias, está descrita en la literatura de forma particular para ese sector. Tal especie se encuentra en categoría “En peligro Crítico” según el DS 52/2014 (MMA).

Respecto de las plantas vasculares acuáticas, en los dos sectores evaluados en las campañas de invierno 2024 y verano 2025, fueron detectadas 9 especies, las que correspondieron a *Ruppia filifolia* y *Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus*, *Sarcocornia fruticosa,* las gramíneas *Puccinellia frigida* y *Distichlis spicata*, *Triglochin concinna* y *Baccharis linearis*. En relación con el origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación. Las especies *Potamogeton pectinatus* (hidrófita) y la helófita *Patosia clandestina* sólo han sido reportadas en campañas de línea de base de invierno.

En invierno 2024 y verano 2025, los sectores de La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza. Cabe destacar que, en esta ocasión en Peine solo fue posible monitorear algunas estaciones en invierno 2024, y en verano 2025 no fue posible acceder al sector. Históricamente, se ha observado en los sectores de Peine y La Punta - La Brava la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en porcentajes intermedios. Solo en las orillas de la laguna La Punta se reportó la presencia de la helófita emergente *S. fruticosa*, además de *P. frígida*, mientras que, *T. concinna* ha sido reportada desde verano 2018 a la fecha en las lagunas La Punta (LP-23) y La Brava (LB-2).

En términos temporales inviernos y veranos, el Sector de vegas de Tilopozo, se detectó la presencia de la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* en altos porcentajes de cobertura. Otras especies detectadas en inviernos y veranos correspondieron a las helófitas emergentes *Schoenoplectus californicus*, *Baccharis linearis*, *Juncus balticus* y *Distichlis spicata*. Cabe destacar que, *Z. palustris* durante invierno y verano cubrió buena parte de la superficie del espejo de agua de las estaciones ubicadas en las pozas, además que sus hojas constituyen una buena base para el asentamiento de algunas lamas de microalgas, aumentando la cobertura, además de servir de ambientes refugiales y de desove para invertebrados y peces.

Por último, cabe señalar, que las plantas vasculares acuáticas se mantuvieron más bien estables en el tiempo (periodos invierno y verano), en cuanto a riqueza y abundancias. Además, las plantas vasculares acuáticas reportadas en los sectores estudiados (Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo), correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria.

En relación con Área de las Lagunas:

Este análisis se desarrolla en cumplimiento a los compromisos ambientales y procedimientos asumidos en marco del Plan de Manejo Biótico, en adelante PMB, correspondientes a la RCA N°21/2016 que aprueba el Proyecto "**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta – Rockwood Lithium"** (en adelante Albemarle o ALB), para el monitoreo de "Superficie Cubierta por Lagunas".

El propósito es realizar el seguimiento de la cobertura de los cuerpos de agua, a través de imágenes satelitales, en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama que conforman el área de estudio de los Sistemas Lagunares: (1) La Punta - La Brava y (2) Peine. Para tal fin, se utilizan imágenes de alta resolución del sensor Pleiades - 1A y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8, obtenidas en invierno y verano, correspondientes a los meses de agosto y diciembre 2024.

Las etapas metodológicas empleadas durante la campaña y análisis correspondieron a:

i) Trabajo de revalidación estacional (*in situ* o fotointerpretativas) de puntos de monitoreo registrados en la campaña de invierno 2024 y verano de 2024/2025, y anteriores, clasificando el recubrimiento de suelo en dichos puntos como "*cuerpos de agua*" u "*otros recubrimientos*";
ii) Obtención y procesamiento de las imágenes satelitales en forma paralela a las campañas de terreno;
iii) Desarrollo y validación del modelo de clasificación supervisada, para determinar umbrales de clasificación de los parámetros espectrales NDWI, NDVI, NIR, Transformación *Tasseled Cap "Wetness"* y Algebra de bandas espectrales en alta resolución; seguido por una depuración cartográfica, obteniendo de esta forma las coberturas de lagunas por sector.

Los valores de ajuste **se obtuvieron mediante el índice** ***Kappa***[6], este índice tuvo una variación entre 0,53 y 0,46 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y desde 0,75 y 0,41 para imágenes de resolución media Landsat 8 en agosto de 2024. Respecto de diciembre de 2024, este índice tuvo una variación entre 0,79 y 0,41 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y desde 0,62 y 0,56 para imágenes de resolución media Landsat 8. Todos los valores antes indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación

[6] El Índice *Kappa* corresponde a una medida estadística que ajusta el efecto del azar en la proporción de la concordancia observada para elementos cualitativos (variables categóricas). Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderado a considerable*[7].

Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de alta resolución, en invierno de 2024 correspondieron a: (1) 40,7 ha en La Punta - La Brava, (2) 31,4 ha en Peine; y para verano de 2024/2025 las superficies son: (1) 24,4 ha en La Punta - La Brava, (2) 27,5 ha en Peine.

Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de media resolución, en invierno de 2024 correspondieron a: (1) 40,0 ha en La Punta - La Brava, (2) 42,4 ha en Peine; y para verano de 2024/2025 las superficies son: (1) 34,0 ha en La Punta - La Brava, (2) 22,8 ha en Peine.

En relación con el análisis comparativo entre las imágenes satelitales, la correlación entre las superficies calculadas a partir de imágenes de alta resolución (Pleiades 1-A) y de media resolución (Landsat), evaluada mediante el coeficiente de correlación de Pearson, revela una relación positiva en los sectores. Los valores de *p* indican que hay evidencia estadística significativa de la asociación entre las superficies asociadas a Pleiades y Landsat. Este análisis indica que en los sectores existe una conexión entre los resultados obtenidos de imágenes de alta resolución y media resolución. Las principales disparidades se atribuyen a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, estas generan modelos con bordes menos definidos en comparación con los modelos de alta resolución, que presentan una mayor nitidez en los contornos de los recubrimientos debido a la mejora del contraste y la respuesta espectral. A pesar de las diferencias en la magnitud de los valores, se observa una relación directa, es decir, valores altos en una variable se corresponden con valores altos en la otra, y viceversa para valores bajos.

En relación con la evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie semestral PSAH), superficies históricas serie Adenda 5 RWL (1972 – 2014) y serie complementaria 2016 – 2024, *se tiene que* las superficies calculadas con imágenes de media resolución Landsat (de frecuencia semestral) durante el monitoreo 2016 a 2024, como parte del PMB, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos previos medidos según el análisis de variación del índice NDWI, en los sectores de estudio, tanto en las superficies de invierno y verano. En ambos sectores de estudio se observa que la máxima extensión de la superficie de los cuerpos de agua se presenta en los meses de invierno, con registros más bajos en verano. En general, se observa una tendencia histórica al descenso de las superficies en la condición de invierno, donde por ejemplo en el sistema

[7] Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

La Punta – La Brava, las diferencias entre superficies de inviernos y veranos ha disminuido y se ven acortadas hasta la fecha actual.

Existen diferencias metodológicas entre la serie histórica NDWI – Landsat y los resultados obtenidos en el seguimiento semestral también con imágenes de media resolución Landsat, relacionadas principalmente con mejoras implementadas en este último. De este modo, las principales diferencias entre ambas series, en el contexto del PMB, se atribuyen a diversos factores relacionados con lo indicado, entre los que se pueden mencionar: el fortalecimiento de la metodología de procesamiento de imágenes; la incorporación de otros índices espectrales para abordar zonas con combinación de recubrimientos, como la intersección entre vegetación y agua; la validación en terreno; a la calibración efectiva del modelo de clasificación, basándose en las observaciones de campo; y al análisis visual, que sin duda desempeña un papel importante al contribuir a la depuración precisa de los límites de los cuerpos de agua.

En particular, la validación en terreno implementada en el marco del PMB ha permitido, por ejemplo, mejorar la delimitación en el subsector Laguna Interna, un proceso que no fue considerado en la metodología NDWI-Landsat histórica. Esto explica la detección de áreas de transición que no son captadas en su totalidad por la metodología NDWI-Landsat, generando diferencias en la estimación de las superficies entre ambos métodos.

En relación con la evolución y variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución, se observan cambios importantes en las superficies lagunares para el sector La Punta – La Brava, especialmente durante los meses de verano, donde hasta diciembre de 2019, las superficies superaron los valores históricos, pero a partir de 2020, se han situado por debajo. El análisis de las series de registros Landsat 8 de frecuencia quincenal, ha mostrado que el efecto de los eventos de precipitaciones intensas en la superficie lagunar, normalmente se extiende por un mes o menos luego de dichos eventos. Por este motivo, los registros del seguimiento semestral no dan cuenta de cambios en la superficie lagunar, asociados a las precipitaciones, al ser medidos regularmente con varios meses de desfase en relación a estas. En Peine, se observa variabilidad estacional en las superficies lagunares, con diferencias entre áreas de invierno y verano. Las precipitaciones no siempre se correlacionan con variaciones en las superficies, aunque el efecto de estas se extiende por mayor tiempo que lo que se ha verificado en La Punta – La Brava, y la evapotranspiración influye en la respuesta del sistema.

En general, la variabilidad estacional de las lagunas se ve influida por múltiples factores, y la relación entre precipitaciones y superficies no es directa en los sectores. La

evapotranspiración emerge como un factor importante en la dinámica de estos sistemas lagunares.

Durante la campaña de invierno de 2024, no fue posible llevar a cabo la validación *in situ* debido a las medidas de restricción de movilidad aplicadas por la Comunidad de Peine; estas medidas limitaron el traslado y acceso a los sectores de Peine (Salada y Saladita, solo con acceso a laguna Interna). En cuanto a la campaña de verano de 2024-2025, la validación *in situ* no pudo llevarse cabo el sector de Peine en todos sus subsectores (Interna, Salada y Saladita). En ambas campañas las posibilidades de revalidación de los puntos de muestreo en los sectores restringidos, fue realizada mediante fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución (ver registros en **Anexo Área de Lagunas**).

En relación con Nivel Freático en Lagunas:

Se realizó la medición del nivel freático en los cinco (5) puntos distribuidos en los Sistemas Lagunares La Punta - La Brava (3) y Peine (2), que conforman el monitoreo de niveles del PMB, con una frecuencia de medición mensual, para el periodo comprendido entre los meses de **abril 2024 a marzo 2025.**

La metodología continúa siendo la misma descrita en los informes anuales previos: en cada punto de monitoreo se mide la profundidad del agua manualmente, utilizando un pozómetro. La medición se realiza desde un punto de referencia prefijado para cada piezómetro somero (barrenos BA), que corresponde al collar del brocal del mismo. La obtención de la cota del nivel de agua en cada piezómetro se obtiene restando la profundidad medida a la cota de referencia del punto.

En el caso del monitoreo del Sistema Peine (pozos BA-21 y BA-22), no fue posible medir en el mes de mayo de 2024 debido a prohibición de acceso por parte de la comunidad Peine respaldado en hoja de campo, y en el mes de abril 2024 y en el periodo de noviembre de 2024 a marzo de 2025 (ambas fechas inclusive), debido a que la Comunidad de Peine cerró el ingreso a las lagunas, dada la época de reproducción de flamencos. Adicionalmente, en octubre de 2024 solamente se pudo monitorear en pozo BA-21. Lo anterior se encuentra respaldado mediante la carta N°18/2023 del 2 de noviembre de 2023, hoja de campo del 3 de mayo de 2024, acta de terreno del 14 de octubre de 2024 y la carta N°94/2024 del 28 de octubre de 2024 de la comunidad Peine, documentos que se adjuntan en el Anexo **Cartas y Prohibiciones**.

Respecto a los resultados obtenidos del análisis de la variación del nivel freático en los pozos del **Sistema La Punta - La Brava**, los tres (3) pozos evaluados (BA-05, BA-07 y BA-16) presentan una dinámica coincidente, mostrando variación estacional, con registros máximos en invierno y mínimos en verano, y una tendencia al descenso al considerar todo el período con información (2013 – 2025). Sin embargo, se verifica la existencia de una diferencia en las tasas de descenso de los tres pozos, las que han sido superiores en BA-

07, mientras que el pozo BA-16 ha presentado registros relativamente estables durante los últimos 4-5 años. Si bien la tasa de profundización del nivel freático se ha reducido en los últimos años en los pozos BA-05 y BA-07, durante enero de 2025 se registraron los valores mínimos de todo el período con información en el pozo BA-07, mientras que en el pozo BA-05 se ha presentado un aumento en sus valores mínimos durante el verano de 2025, en relación al verano anterior. En el caso del pozo BA-16, los registros fueron similares a los del año anterior, y su valor mínimo fue superior a los medidos en los años previos, desde 2019 en adelante.

Para el **Sistema Peine**, no se cuenta con información para el período de evaluación anual, debido a que en los meses de abril y mayo de 2024 y entre los meses de octubres de 2024 y marzo de 2025, a excepción de un monitoreo en el mes de octubre de 2024 para el pozo BA-21, no hubo autorización por parte de la Comunidad de Peine para ingresar a realizar mediciones en los pozos del sector (BA-21 y BA-22). Esto limita el análisis temporal, en particular de la variabilidad de los registros del período de verano (para los que no se cuenta con información desde al año 2021), el que debe ser realizado con los registros obtenidos entre junio y octubre de 2024 en el caso del pozo BA-21 y entre junio y septiembre de 2024 para el caso del pozo BA-22. Sin perjuicio de la falta de información, cabe destacar que los escasos datos medidos en el período, para ambos pozos, se encuentran dentro del rango de variación de los registros previos (mayo 2013 a marzo de 2024), mientras que los registros del pozo BA-22 se encuentran dentro del rango de registros históricos previos (mayo 2013 a abril de 2016).

Finalmente, es importante tener en consideración que el período con registros previos al inicio del Proyecto se extiende por solamente 3 años (mayo 2013 – marzo 2016), en dos de los cuales se presentaron eventos de alta intensidad de precipitación (2013 y 2015). De este modo, el nivel freático de dicho periodo, considerado como referencia, está influenciado y podría ser representativos de dichas condiciones particulares.

2 INTRODUCCION

El presente informe corresponde al Noveno Informe Anual de Monitoreo o Seguimiento del **Plan de Manejo Biótico (PMB)**, comprometido en el Proyecto "**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta"** de Albemarle, aprobado por Resolución de Calificación Ambiental (RCA) mediante **RCA Nº 21 de fecha 20 de enero del 2016**.

El proyecto, se encuentra ubicado en Región de Antofagasta, Provincia de El Loa, comuna de San Pedro de Atacama, en el borde sur del Salar de Atacama, a 27 kilómetros al oriente de la localidad de Peine, a una altura geográfica aproximada de 2.300 m s.n.m. en el área denominada Núcleo del Salar, la cual corresponde a un cuerpo salino formado de costras duras de cloruro de sodio y depósitos minerales. Esta es el área de estudio para el seguimiento de las componentes Biota, Agua y Suelo declaradas en la RCA 21/2026.

Albemarle inició sus campañas del PMB en agosto de 2016, en etapa de Construcción, previo al inicio de operaciones[8]. A partir de diciembre 2016, se realizan las campañas semestrales en etapa de operación del proyecto, las cuales se continúan ejecutando a la fecha. El objetivo de este Informe es entregar los resultados del Monitoreo Biótico Anual N°9, para cada una de las variables o subcomponentes que involucra el PMB, en su frecuencia y métodos correspondientes de medición, para con ello realizar el análisis de este seguimiento de cada una de las variables bióticas involucradas. Junto con lo anterior, como objetivo también está el detectar tempranamente cualquier cambio en su estado ecológico, como consecuencia de fenómenos locales, regionales y/o globales.

El área de estudio del PMB se presenta en la **Figura N° 2-1** se incluye para todas las variables, los sectores de:

1) Sistema La Punta y La Brava, conformado por las lagunas La Punta y La Brava.
2) Sistema Peine, constituido por las lagunas Salada, Saladita e Interna, y
3) Sistema Tilopozo, constituido por las vegas de Tilopozo.

Sólo para la componente vegetación y flora, abarca además de los anteriores, otros 2 sectores ubicados en la zona Norte y Este del Salar (sectores de Soncor y Quelana):

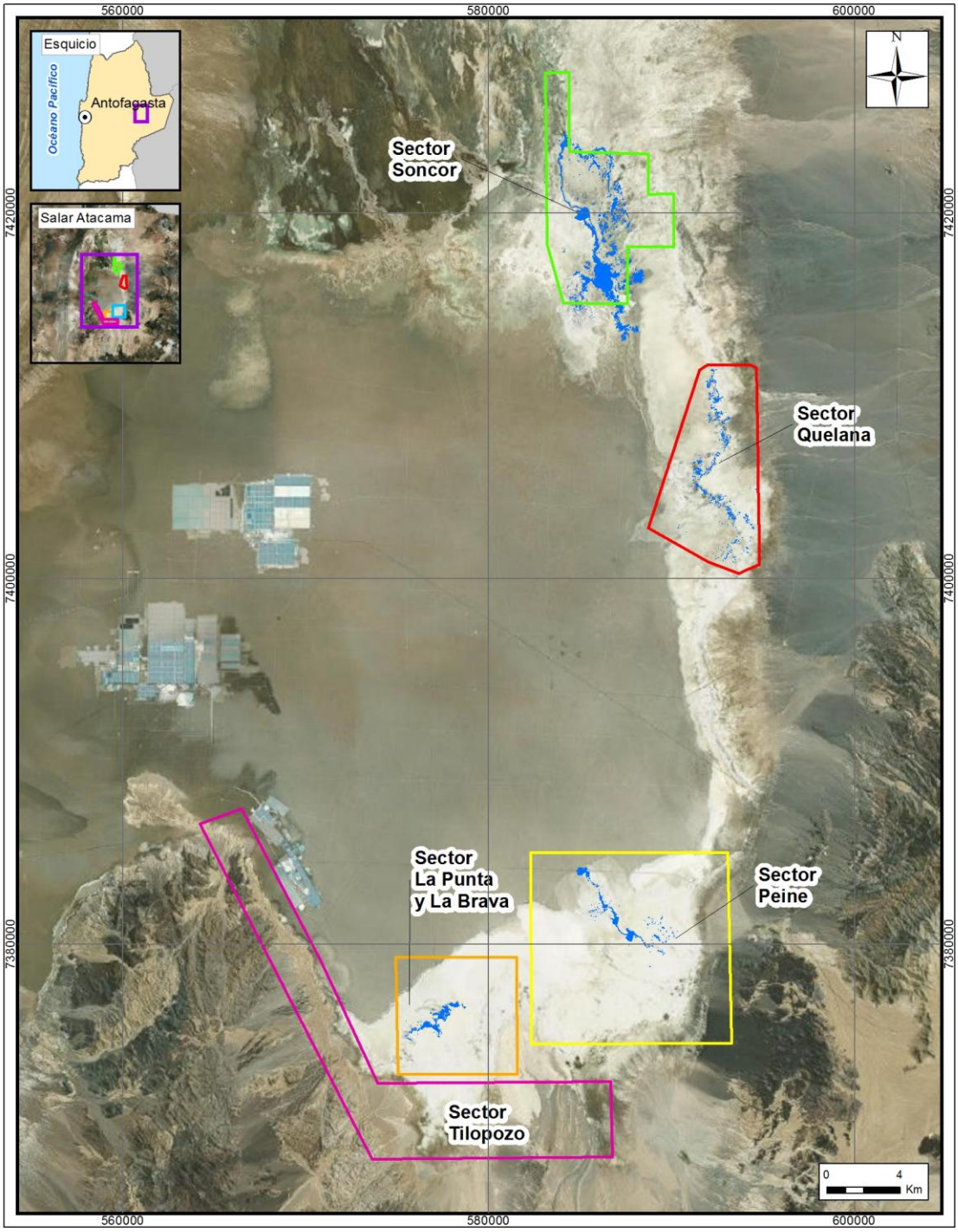
4) Sistema Soncor (*), constituido por las lagunas Barros Negros y Chaxa; y
5) Quelana (*), Aguas de Quelana (ubicadas ambas 4 y 5 en la Reserva Nacional Los Flamencos).

(*) Los sectores de Soncor y Quelana, obedecen a lo indicado en el informe de Monitoreo de Vegetación, "Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016", aprobado a través de Ord. SAG

[8] Rockwood Lithium (Actualmente Albemarle Limitada) dió inicio formal a la etapa de operación del proyecto el 28 de septiembre 2016, mediante carta a la Superintendencia de Medio Ambiente una semana antes, fechada el 21 de septiembre de 2016.

N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL; y el cual determina las transectas y su metodología para la evaluación pre-operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

Figura N° 2-1. Delimitación de las Áreas de Estudio del Plan de Manejo Biótico



Fuente: Elaboración Propia

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

El presente Informe Anual N°9 da cuenta de las campañas de invierno 2024 y verano 2024-2025, las cuales se desarrollaron respectivamente durante el mes de agosto 2024 (**campaña invierno – M17**); en el mes de diciembre del 2024 (para seguimiento de superficies lagunares), y marzo-abril del 2025 (**campaña verano – M18**). La única variable que presenta datos mensuales corresponde a niveles freáticos, que se reporta desde abril 2024 a marzo 2025.

Las variables comprometidas corresponden a: Flora y Vegetación; Fauna Vertebrados Terrestres; Tapetes microbianos; Suelo o Sustrato; Limnología, Calidad de Aguas y Sedimento; Área de Lagunas; y Nivel Freático en Lagunas. El monitoreo para la mayoría de las variables es de frecuencia semestral y anual (vegetación NDVI) y mensual en el caso de niveles freáticos en lagunas.

Se indica a continuación las fechas efectivas de monitoreo en las que cada componente llevó a cabo sus actividades, cuya información se reporta en el presente informe de seguimiento, indicando a su vez en cada caso, aquellas restricciones o dificultades particulares ocurridas para cada componente en el marco de sus campañas de monitoreo.

La **campaña de monitoreo semestral de Invierno 2024** para componentes bióticas fue realizada en 4 fases. Por una parte, la primera fase considera el componente de **Área de Lagunas** y **Fauna de Vertebrados Terrestres** cuya campaña efectiva de validación en terreno se realizó entre los días **06 al 09 de agosto 2025**. La segunda fase, corresponde a la campaña de monitoreo de **biota acuática (limnología, tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento)**, la que se desarrolló en terreno entre el **12 al 14 de agosto de 2024**. Por otra parte, la tercera fase considerando el componente **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas)**, fue llevada a cabo entre el **17 al 23 de agosto de 2024**. Finalmente, la cuarta fase fue realizada por el componente Suelos o Sustrato, con trabajo en terreno entre los días **26 al 29 de agosto de 2024**. En cuanto a **niveles freáticos en la zona de lagunas**, se reportan las mediciones desde abril a septiembre 2024. Cabe destacar, que en agosto y septiembre, se realizaron medidas quincenales por activación de PAT Sector de Alerta Núcleo **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**.

La **campaña de monitoreo semestral de Verano 2025** de componentes bióticas fue realizada en 3 fases. Por una parte, la primera fase considera el componente de **Área de Lagunas** cuya campaña de validación en terreno se realizó entre los días **15 al 21 de diciembre de 2024**. La segunda fase, realizada durante del mes de marzo 2025 en estacionalidad de verano, corresponde a la campaña de monitoreo de **fauna de vertebrados terrestres y suelos o sustrato (10 al 14 de marzo); y biota acuática**

(limnología, tapetes microbianos, calidad de aguas y sedimento) realizada en terreno entre el **18 y 21 de marzo de 2025**. Por otra parte, la tercera fase considerando el componente **vegetación (COT-NDVI) y flora (composición y cobertura a través de transectas)**, fue llevada a cabo entre los días **06 al 16 de abril de 2025** dentro de temporada de post-lluvias para el área de estudio.

En cuanto al componente **niveles freáticos en la zona de lagunas**, se reportan las mediciones desde octubre 2024 a marzo 2025. Cabe destacar, que, en octubre de 2024 hubo medidas quincenales por la activación del PAT Núcleo en Fase II realizada en julio (aumento de frecuencia entre agosto y octubre 2024), y entre diciembre y febrero, se realizaron también medidas quincenales debido a que Albemarle adoptó las medidas preventivas de activación de PAT Sector de Alerta Acuífero. Durante el mes de marzo también existieron medidas quincenales en los puntos del Sistema La Punta La Brava con la finalidad de recolectar más información.

En relación con las restricciones de acceso ocurridas en el marco de las labores de seguimiento del periodo reportado para el Año Nº9 de monitoreo, cabe indicar que para la **Campaña Semestral Invierno 2024**, respecto a los componentes **área de lagunas y fauna terrestre**, sus puntos de monitoreo ubicados en el sector de las lagunas de Peine (Salada y Saladita), no pudieron ser muestreados debido a la restricción de acceso hacia las lagunas por indicación de la Comunidad de Peine, argumentándola como medida para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua. Para el caso del componente **biota acuática (limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**), se restringió acceso por el mismo motivo, pero solo a laguna Salada. Por esta razón, para esta campaña Invierno 2024, estos componentes presentan información de monitoreo parcial para el sector Peine en particular **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**.

Igualmente, para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, hubo imposibilidad de acceso a lagunas de Peine a partir de abril de 2024 para realizar mediciones en BA-21 y BA-22 hasta mayo 2024. Esto implica que se cuenta con sólo medición desde junio a septiembre para el análisis de niveles en esos barrenos (**ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

En la **Tabla N° 2-1** se presenta un resumen con las fechas de monitoreo de cada componente y las restricciones de acceso para cada una de las variables durante la Campaña PMB de Invierno 2024.

Tabla N° 2-1. Fechas de Campañas PMB Invierno 2024, señalando restricciones de acceso al territorio Peine. Se indican entre paréntesis restricciones puntuales durante las campañas.

Componentes /	1era fase	2da fase	3era fase	4ta fase
Terrenos	**06/09 ago 2024**	**12/14 ago 2024**	**17/23 ago 2024**	**26/29 ago 2024**
Superficie Lagunas	✓ (Con restricción de acceso a lagunas Peine)	-	-	-
Fauna de Vertebrados Terrestres	✓ (Con restricción a lagunas de Peine)	-	-	-
Biota acuática (limnología, calidad de aguas y sedimento)	-	✓ (Con restricción a lagunas de Peine) ✓	-	-
Tapetes microbianos	-	✓ (Con restricción a lagunas de Peine)	-	-
Niveles Freáticos en Lagunas	✓ (Con restricción a lagunas de Peine periodo abril a mayo sólo con datos desde junio a septiembre en Sector Peine)	-	-	-
Vegetación (COT-NDVI) y flora (Transectas)	-	-	-	-
Suelos o sustrato	-	-	-	-

Por su parte, para la **campaña semestral Verano 2025**, respecto a los componentes **fauna terrestre, limnología, tapetes microbianos y calidad de aguas y sedimentos**, sus puntos de monitoreo ubicados en el sector de las lagunas de Peine, dada la época de reproducción de flamencos (Salada, Saladita e Interna), no pudieron ser muestreados debido a la restricción de acceso hacia las lagunas por indicación de la Comunidad de Peine, argumentándola como medida para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**. Por esta razón,

para la campaña Verano 2025, estos componentes presentan información de monitoreo nula para el sector Peine en particular.

Respecto a la campaña de monitoreo del componente **Área de Lagunas**, cabe señalar igualmente que no fue posible realizar en su totalidad la validación *in situ* programada para diciembre 2024, ya que se presentaron por parte de la Comunidad de Peine medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y total acceso al sector de lagunas de Peine, dada la época de reproducción de flamencos, reduciendo las posibilidades de validación en estos sectores a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución (ver **Anexo Cartas y Prohibiciones**).

Por su parte los cuerpos de agua del sector La Punta – La Brava si pudieron ser completamente validados *in situ* mediante la toma de puntos de monitoreo con receptor GNSS/GPS, no obstante, en ninguno de los sectores fue posible realizar levantamiento aerofotogramétrico debido a que la DGAC cambió la normativa que permite operar aparatos dron establecida por dicho organismo (ver registro **Anexo Cartas y Prohibiciones**).

Para el caso del componente **Nivel Freático en Lagunas**, hubo imposibilidad de acceso a lagunas de Peine a partir de octubre[9] de 2024 para realizar mediciones en BA-21 y BA-22 hasta marzo 2025. Esto implica que se cuenta con escasa información para el análisis de niveles en esos barrenos (**ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

En la **Tabla N° 2-2** se presenta un resumen con las fechas de monitoreo de cada componente y las restricciones de acceso para cada una de las variables durante la Campaña PMB de Verano 2025.

Tabla N° 2-2. Fechas de Campañas PM Verano 2025, señalando restricciones de acceso al territorio Peine. Se indican entre paréntesis restricciones puntuales durante las campañas.

Componentes	1era fase	2da fase		3era fase
Terrenos	**15-21 dic 2024**	**10-14 mar 2025**	**18-21 mar 2025**	**06-16 abr 2025**
Superficie Lagunas	✓ (Con restricción de acceso a lagunas Peine y sin vuelo Drone)	-	-	-
Fauna de Vertebrados Terrestres	-	✓ (Con restricción a lagunas de Peine)	-	-

[9] En octubre sólo se presenta un dato de puntual de BA-21 en este sector.

Componentes	1era fase	2da fase		3era fase
Terrenos	**15-21 dic 2024**	**10-14 mar 2025**	**18-21 mar 2025**	**06-16 abr 2025**
Biota acuática (limnología, calidad de aguas y sedimento)	-	-	✓ (Con restricción a lagunas de Peine)	-
Tapetes microbianos	-	-	✓ (Con restricción a lagunas de Peine)	-
Suelos o sustrato	-	✓	-	-
Niveles Freáticos en Lagunas	✓ (Con restricción a lagunas de Peine periodo oct 2024 – mar 2025; sólo con datos puntual para el mes de octubre 2024 en Sector Peine)	-	-	-
Vegetación (COT-NDVI) y flora (Transectas)	-	-	-	✓

Se debe destacar que la información del monitoreo en el sector de lagunas de Peine (Salada, Saladita e Interna), tanto para la campaña semestral Invierno 2023 y 2024, como para las campañas de verano 2021 a 2025, se encuentra incompleta debido a las restricciones de acceso por las mismas razones antes señaladas, situación que afecta significativamente los resultados del monitoreo PMB y los propios objetivos de seguimiento ambiental en este sector, debido a que la carencia estacional de datos redunda en que no sea posible comparar entre la condición de Línea de Base y la evolución de las componentes afectadas, debido al sesgo temporal cada vez mayor en la información levantada en los monitoreos respecto de sus parámetros de referencia, este caso especialmente para veranos. **Lo anterior resulta muy relevante puesto que estas restricciones de acceso al área afectan la posibilidad de análisis de la evolución de la riqueza y abundancia de las especies en seguimiento por estos componentes, sobre todo para el sistema Peine, que es el que aporta los mayores valores de abundancia de aves en el salar, sobre todo para el monitoreo de las poblaciones de flamencos**.

Cabe complementar a lo anterior, a modo de recordatorio, que el Monitoreo N°8 de verano 2020, no fue posible realizarlo dadas las condiciones excepcionales establecidas por la

autoridad de salud, en el marco del inicio de la Pandemia Covid-19. Por este motivo, en los análisis comparativos de estaciones de verano del presente informe semestral, no figura información para dicha campaña estival, con excepción de las componentes Área de Lagunas (que se hace a través de imágenes satelitales); Nivel Freático en Lagunas; y para la variable Superficie de Vegetación Activa NDVI del componente Vegetación y Flora.

En relación con lo anteriormente señalado, es muy relevante destacar que la imposibilidad de acceso a los sectores establecidos por RCA21/2016 para el monitoreo del PMB, afectan la posibilidad de análisis de la evolución de las variables evaluadas a nivel de especies al contribuir con un sesgo en los resultados producto de la falta de información. Se considera muy importante poder contar con el acceso a todas las zonas del área de estudio, por un lado, para poder realizar todos los puntos comprometidos, y por otro, para poder justamente hacer seguimiento de manera adecuada de la evolución de las componentes bióticas en el tiempo.

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

La **Tabla N° 2-3** presenta resumidamente todos los componentes y subcomponentes de las variables comprometidas, así como frecuencia y estaciones a monitorear en cada campaña, de acuerdo con los establecido en el PMB y en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto de fecha 20 de enero del 2016, RCA 21/2016.

Tabla N° 2-3. Detalle de las componentes, variables y estaciones reportadas de acuerdo con el Plan de Manejo Biótico, y al numeral 7 Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el EIA y sus Adendas de la RCA 21/2016.

Compo-nente	Subcomponente	Frecuencia	Variables generales	Número Estaciones PMB	Estaciones adicionales	Número de Estaciones Totales
Biota	Flora terrestre	Semestral	Composición y cobertura de especies	**31***	17**	48
	Vegetación terrestre	Semestral/ Anual (******NDVI)	Distribución y cobertura de la vegetación azonal	**59**	9	68***
	Fauna Terrestre	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia	16	9	25
	Flora y Fauna acuática (****Limn)	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia Coberturas plantas acuáticas	12	2	14
	Tapetes microbianos	Semestral	Caracterización de tapetes / Presencia	10	6	16

Compo-nente	Subcomponente	Frecuencia	Variables generales	Número Estaciones PMB	Estaciones adicionales	Número de Estaciones Totales
			evaporitas y microbialitos			
Suelo	Sustrato	Semestral	Físicas y Químicas	14	-	14
	Sedimento (*****Limn)	Semestral	Físicas y Químicas	12	2	14
Agua	Calidad de agua (***Limn)	Semestral	Físicas y Químicas	12	2	14
	Lagunas	Mensual	Nivel freático lagunas	5	-	5
	Lagunas	Semestral	Superficie cuerpos de agua	No aplica	No aplica	No aplica

*: Definición de puntos de transectas en levantamiento inicial de Monitoreo Base 0 (RWL-Cedrem agosto 2016), como cumplimiento al acápite 10.2 de la RCA 21/2016. Modifica código, cantidad y ubicación de puntos de monitoreo establecidos originalmente para componentes vegetación-suelos en PMB (2015).

**: Puntos de transectas adicionales al PMB, asociadas al Muestreo Complementario de Transectas implementado de modo interno por Albemarle desde el 2022 (MCT0-verano 2022) con la finalidad de robustecer el plan de seguimiento (17 transectas), y que a partir de este monitoreo PMB Invierno 2024 se incorporan e integran al análisis del componente como Anexo a este informe.

***: Estos 68 puntos de monitoreo corresponden a puntos de validación semestral de la COT del área de estudio en campaña Invierno 2024. El número efectivo de puntos de monitoreo para validación COT corresponde al total de 59 puntos de monitoreo COT previamente definidos en campañas anteriores, más 9 puntos adicionales de monitoreo COT (un punto adicional que se levantó en el monitoreo M7 en invierno de 2019; y ocho puntos adicionales incorporados a partir del monitoreo M12 de Verano 2022 para actualizar la cartografía de vegetación, los que se han replicado en el seguimiento de la vegetación hasta este monitoreo). Para la Campaña Verano 2025 (M18), se indican 67 puntos de monitoreo debido a que no fue posible realizar monitoreo COT del punto RPV015, ubicado en la RNLF Sector Soncor (no obstante, es área desprovista de vegetación y sin registros florísticos). .

**** Limn = variables que se reportan dentro de capítulo de Limnología. Flora y fauna acuática, aun cuando corresponden a la componente Biota se reportan dentro del capítulo de Limnología, que abarca tanto la biota acuática, como calidad de agua y sedimentos.

*****: Sedimentos si bien pertenece al componente Suelo, éste se reporta en capítulo de Limnología, que abarca tanto la biota acuática, como calidad de agua y sedimentos.

******: Para el seguimiento de la distribución y cobertura de vegetación activa a través de índice NDVI, se presenta esta sección en este Informe Anual Nº9 en frecuencia semestral incorporando análisis en estación de inviernos serie 2016 – 2024 (Ver Anexo Vegetación y Flora Vol.1).

Dentro de las variables establecidas en el PMB, algunas de éstas fueron definidas durante la evaluación del proyecto como variables de estado, esto es, elementos indicadores de cambio del estado ecológico de los ecosistemas terrestres (azonal) y acuáticos.

Estos sistemas están constituidos por lagunas; en dichos sistemas, ciertas condiciones de humedad en el área circundante permiten el desarrollo de ecosistemas de vegas. Por tanto, las lagunas y los ecosistemas azonales, cuya estructura está determinada principalmente por el desarrollo de vegetación azonal dependiente de los niveles de humedad y salinidad del suelo, son el foco de seguimiento de este Plan de Manejo Biótico, por su condición de dependencia de los niveles de agua de los acuíferos, constituyendo así, elementos importantes de dar seguimiento para detectar tempranamente cualquier cambio.

El estado ecológico, de acuerdo con lo establecido en el PMB, se evalúa en términos de tres variables de estado: (1) nivel freático, (2) vegetación azonal[10], y (3) superficie de las lagunas, las cuales se analizan en el **capítulo 13.8** de este informe.

Cabe indicar que al igual que para el año 2024 (Informe Anual N°8), este año 2025 se considera que el análisis de estado ecológico (AEE) como parte del Informe Anual N°9, requiere una mirada de detalle de las tres variables de estado, por lo que se presenta el AEE en un documento independiente, como un complemento de Análisis de Estado Ecológico al Informe Anual PMB N°9, el que será entregado posterior al presente informe.

Adicionalmente a lo establecido en el PMB y en la RCA, y con el objetivo de dar cumplimiento a cabalidad a la detección temprana de algún potencial cambio en las distintas variables del seguimiento, **se han sumado al monitoreo del PMB voluntariamente nuevas estaciones que permitan mejorar la representatividad,** por ejemplo, de hábitats**.** Dichas incorporaciones han sido realizadas por el equipo experto que apoya la ejecución de estas campañas de seguimiento y ya han sido reportadas e informadas previamente desde el Informe Anual Nº1 del PMB en adelante (**Tabla N° 2-3**, campo estaciones voluntarias).

Igualmente, se ha incorporado a partir de este Informe Anual Nº9 información complementaria y voluntaria para el componente Vegetación y Flora, correspondiente a 17 transectas de vegetación azonal distribuidas en los sectores y formaciones vegetales en seguimiento: 13 transectas en Tilopozo, 1 en Peine, 1 en La Brava y 2 en Aguas de Quelana. Estas transectas son parte de un Monitoreo Complementario de Transectas (MCT) levantado semestralmente a partir de la campaña de verano 2022 durante el monitoreo M12, equivalente a un MCT0, y de ahí en adelante junto al levantamiento de las transectas del PMB se han realizado seis monitoreos complementarios de transectas a la fecha (Ver detalles en **Anexo Vegetación y Flora MCT**).

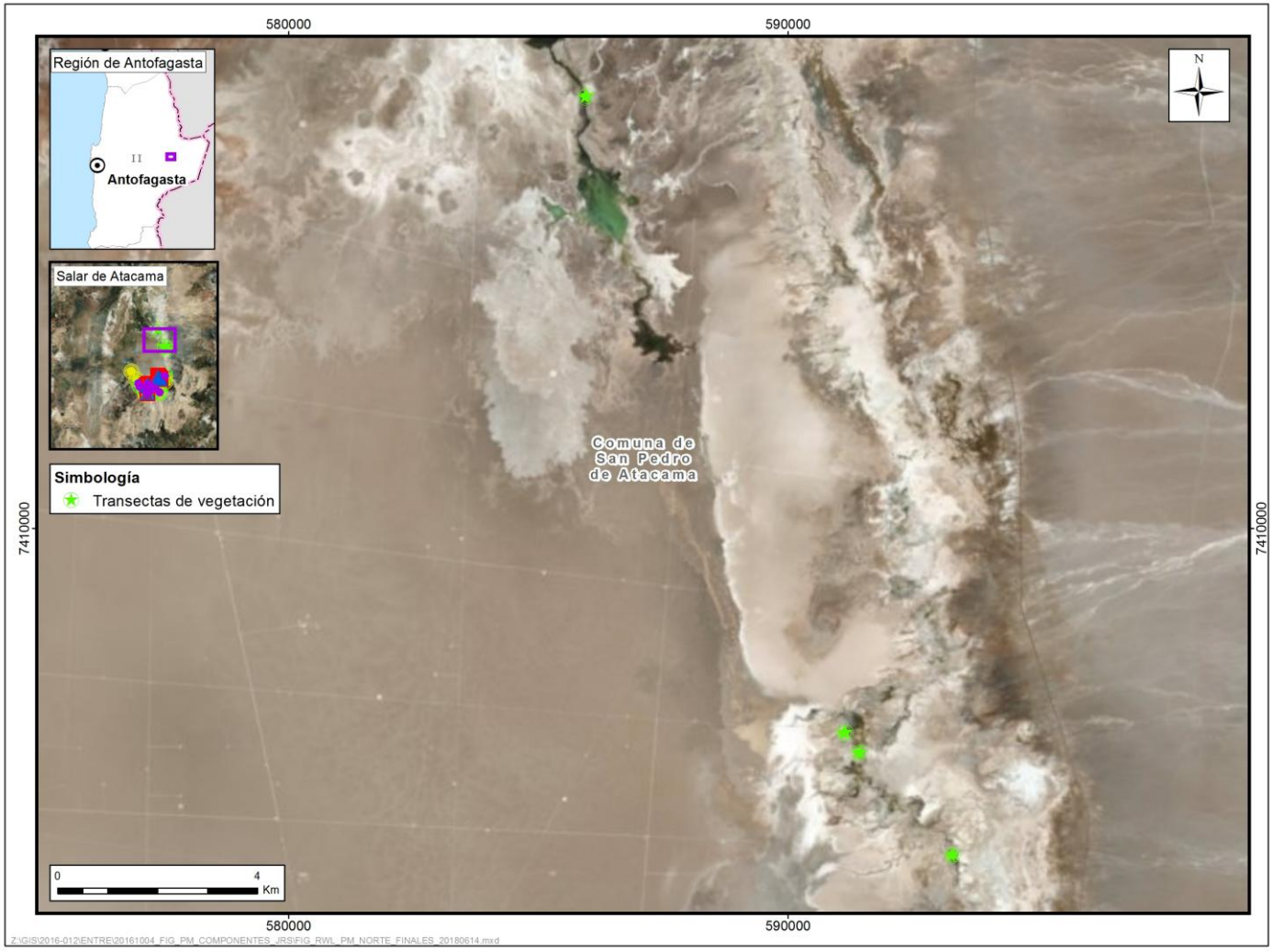
Cabe indicar que de acuerdo con lo establecido en el Anexo N°2 de la Adenda 5 RWL (2015), el **seguimiento de la distribución y cobertura de la cobertura de vegetación activa mediante índice NDVI en el marco del Plan de Manejo Biológico (PMB)** se realiza prioritariamente durante el periodo estival (verano post lluvias), dado que corresponde a la temporada de máxima expresión de cobertura vegetal. No obstante, con el objetivo de complementar dicho análisis y profundizar en la comprensión de la dinámica estacional de las formaciones vegetales sujetas a monitoreo, en este Informe Anual Nº9 se presentan los

[10] La definición de puntos de transectas de vegetación azonal, para la subcomponente de flora terrestre, se realiza en levantamiento previo realizado en terreno en el mes de julio de 2016, denominado en adelante “Monitoreo Base 0 – MB0” (RWL-Cedrem agosto 2016), como cumplimiento al acápite 10.2 de la RCA 21/2016, según lo establecido por el informe de “Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016), el cual fue aprobado por el SAG a través de Ord. SAG N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL.

resultados de cobertura de vegetación activa obtenidos para la **temporada de invierno entre los años 2016 y 2024**. El análisis se realizó mediante imágenes satelitales y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), lo que permite representar la cobertura vegetal y su grado de vigorosidad, es decir, la vegetación activa. Al igual que en el análisis estival, los resultados se agruparon por sector del Salar: (i) Tilopozo, (ii) La Punta y La Brava, (iii) Peine, (iv) Soncor y (v) Aguas de Quelana.

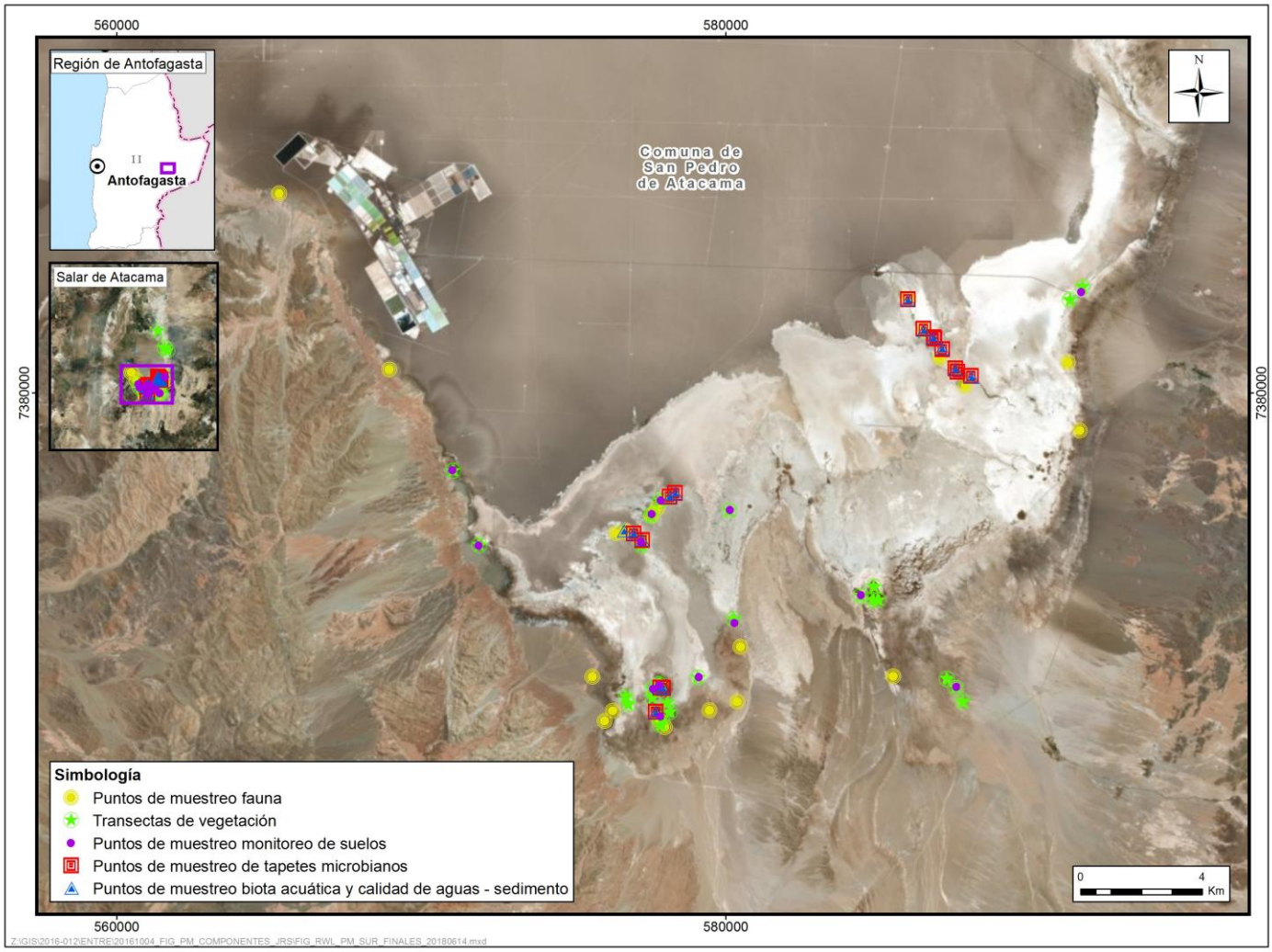
En la **Figura N° 2-2** y **Figura N° 2-3,** se puede observar la distribución final de los puntos de monitoreo por cada subcomponente en el área de estudio.

Figura N° 2-2. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Área Norte. Sector Soncor y Quelana (Transectas de vegetación azonal)



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2-3. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Área Sur. Sector La Punta y La Brava, Peine y Tilopozo



Fuente: Elaboración Propia

Es importante indicar que, como estructura de informe, **cada subcomponente con sus variables se presenta en un capítulo específico,** reportando las fechas de campaña, el área de estudio particular, estaciones, parámetros de evaluación, entre otros, siguiendo el formato establecido en la **Resolución Exenta 223/2015** de la Superintendencia de Medio Ambiente.

En la **Tabla N° 2-4** se identifican los responsables y ejecutores de las mediciones, muestreo y/o análisis realizados en las campañas de invierno 2024 y verano 2024-2025 reportadas en el presente informe consolidado anual, de acuerdo con las variables y/o parámetros

correspondientes. En **Anexo Responsables y Participantes de las actividades de muestreo** se presenta los responsables de cada componente.

Tabla N° 2-4. Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis

Subcomponente	Variable	Medición	Muestreo	Análisis
Flora terrestre	Composición y cobertura de especies	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	No aplica
Vegetación terrestre	Distribución y cobertura de la vegetación azonal	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	No aplica
Fauna terrestre	Composición, Riqueza y Abundancia	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	No aplica
Flora y fauna acuática	Composición, Riqueza y Abundancia Coberturas plantas acuáticas	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Limnológica Estudios Ambientales EIRL
Tapetes microbianos	Caracterización de tapetes	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Limnológica Estudios Ambientales EIRL
Sustrato	Físicas y químicas	Cedrem Consultores/ ETFA ANAM S.A	Cedrem Consultores/ ETFA ANAM S.A	Laboratorios acreditados como ETFA: Laboratorio acreditado como ETFA • ANAM S.A. • HIDROLAB • ALS Life Sciences Chile S.A. Laboratorios análisis de parámetros no autorizados en ETFAs por SMA: • Laboratorio de Física de Suelos. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile • AGROLAB
Sedimentos	Físicas y Químicas	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)
Calidad de agua	Físicas y Químicas	Laboratorio acreditado como ETFA	Laboratorio acreditado como ETFA	Laboratorio acreditado como ETFA

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

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N° 2-5** se transcriben los Considerandos de la RCA que dan origen al presente Informe semestral.

Tabla N° 2-5. Identificación de Considerando de la RCA reportada en base a numeral 7.- Plan de Seguimiento Ambiental propuesto en el EIA y sus Adendas.

RCA y Adendas	Considerando	Transcripción
21/2016	7.- BIÓTICO Flora (pág.56)	Monitoreo: Composición y Cobertura de Especies, en 14 puntos. Parámetros: Composición y cobertura de especies. Procedimiento de medición: Point Cuadrat, con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos: mantención dentro de su variación histórica.
	7.- BIÓTICO Vegetación (pág.56, 57)	Monitoreo: Distribución y cobertura de la vegetación azonal, en 14 puntos. Procedimiento: método de imágenes satelitales y método de Carta de Ocupación de Tierras (COT). ambas de frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos: mantención dentro de su variación histórica.
	7.- FÍSICO Sustrato (pág. 57)	Parámetros fisicoquímicos del suelo, en 14 puntos. Procedimiento de medición: de parámetros *in situ* y análisis en laboratorio, con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos: mantención dentro de su variación histórica.
	7.- BIÓTICO Fauna Vertebrados Terrestres (pág. 57, 58)	Composición, Riqueza y Abundancia de Flamencos y Aves acuáticas, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Puntos censales. Composición, Riqueza y Abundancia de Aves terrestres, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Transectas. Composición, Riqueza y Abundancia de mamíferos, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Transectas, Trampas cámaras, Trampas Sherman. Composición, Riqueza y Abundancia de Reptiles, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Transectas.

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

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

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

3 OBJETIVO

El objetivo de este Informe es presentar los resultados del monitoreo correspondiente al **Informe Anual N°9** del Plan de Manejo Biótico del proyecto RWL, comprometido en la RCA 21/2016, los que involucran las componentes y variables de medición de frecuencia Semestral, correspondientes a la temporada de invierno 2024 y a la estación de verano 2024-2025, de tal manera de poder verificar tempranamente el comportamiento de las variables y cualquier cambio en su estado ecológico.

4 ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME

Para cada subcomponente o agrupación de éstas se presenta un capítulo específico, indicando las fechas específicas de muestreo, medición o análisis de la campaña, el área de estudio, ubicación de los puntos de muestreo, metodologías específicas, materiales y métodos, parámetros de evaluación, los resultados de las campañas y límites considerados en la evaluación, siguiendo para cada una de estas variables el formato establecido en la **Resolución Exenta SMA Nº223/2015 de la Superintendencia de Medio Ambiente**.

Para las subcomponentes de calidad de aguas y niveles, este informe entrega como Anexos, adicionales a todos los Anexos que se entregan, las planillas Excel con la información histórica del monitoreo (M1 – M18), en los formatos establecidos en la **Resolución Exenta SMA 894 del 24.06.19** que Dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Agua.

Igualmente para los subcomponentes Flora y Vegetación, Fauna y Limnología (microbiota acuática, fauna íctica y plantas macrófitas) se hace entrega de las planillas Excel con la información histórica de seguimiento del PMB (M1 – M18) de las componentes de Biodiversidad requeridas en el marco de la **Resolución Nº343/20221 de la SMA**, que dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Ambiental Biodiversidad para los Proyectos que Cuentan con Resolución de Calificación Ambiental.

Para cada capítulo, como bien señala la resolución citada en el párrafo anterior, se indican los límites comprometidos por el Plan de Seguimiento, a saber: Mantención dentro de su variación histórica (numeral 7 Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el EIA y sus Adendas de la RCA 21/2016), por tanto, cada variable es analizada con los registros establecidos en el Anexo 2 de la Adenda 5, línea de base y además con el monitoreo MB0 para Flora y Vegetación.

No obstante, a la particularidad y profundización de los resultados de cada capítulo en su temática, al final del presente informe, en el Capítulo Discusión se desarrolla una evaluación integral de las componentes monitoreadas para dar cuenta de la evolución que se pudiera haber percibido en este tercer año de mediciones.

Igualmente, en el Capítulo Discusión, se evalúa la evolución de las variables de estado definidas por el PMB (i.e. nivel freático, vegetación azonal, y superficie de las lagunas), como elementos indicadores de cambio del estado ecológico de los ecosistemas terrestres (azonal) y acuáticos, cuya relevancia radica en que son variables que tienen la propiedad de mantener funcionalmente la trama trófica presente en el área de estudio.

De acuerdo con lo señalado por el Plan de Manejo Biótico (Anexo 2, Adenda 5), la evaluación de la condición de cambio de las variables de estado señaladas se realizará por sector de manera independiente (Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo), mediante un análisis de tendencia, cuyos contenidos son incorporados en el Capítulo Estado Ecológico del Sistema del presente informe. Estos cambios de estado ecológico son evaluados principalmente analizando su tendencia promedio en los 3 últimos años (2022 – 2025) y comparando dicha evolución de las variables de estado versus su comportamiento previo (línea de base y registros históricos) junto con la mirada completa de todos los monitoreos realizados hasta la fecha. A partir del numeral siguiente, se presenta el detalle de cada componente, como un capítulo específico con los lineamientos establecidos en la Resolución de SMA 223/2015.

5 GLOSARIO

- PMB: Plan de Manejo Biótico Albemarle correspondiente al plan de monitoreo de variables bióticas comprometidas en la RCA 21/2016 del Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta” de Albemarle Limitada.

- PSAH: Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos comprometido en la RCA 21/2016 del Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta” de Albemarle Limitada.

- MB0: Monitoreo Base 0 de Transectas de Vegetación Azonal. Campaña realizada en Invierno 2016.

- M1: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2016.

- M2: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2017.

- M3: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2017.

- M4: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2018.

- M5: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2018.

- M6: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2019.

- M7: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2019.

- M8: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2020. Campaña sin actividades de terreno por inicio de pandemia Covid-19.

- M9: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2020.

- M10: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2021. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.

- M11: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2021. Campaña con información faltante de monitoreo para los componentes Vegetación y Flora y Suelos, debido a suspensión de campaña por razones de seguridad (Cortes de caminos por ocurrencia de huelga en Planta Salar Albemarle).

- M12: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2022. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.

- M13: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2022. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Administración CONAF de la Reserva Nacional Los Flamencos (Sector Soncor – Quelana).

- M14: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2023. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.

- M15: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2023. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.

- M16: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2024. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.

- M17: Campaña de Monitoreo PMB Invierno 2024. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.

- M18: Campaña de Monitoreo PMB Verano 2025. Campaña con información parcial de monitoreo debido a restricciones de acceso al área de estudio por parte de la Comunidad Atacameña de Peine.

6 FLORA Y VEGETACIÓN

En el presente informe anual de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos correspondiente a invierno 2024 y verano post lluvias 2025, de frecuencia semestral y anual, para el subcomponente ambiental Flora y Vegetación. Asimismo, se entrega un análisis de tendencias con la evolución histórica de los resultados de este componente en los nueve años de monitoreo, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Manejo Biótico comprometido en la RCA RE N°21/2016 del Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama” de la empresa actual Albemarle, ubicado en la Región de Antofagasta, en adelante el Proyecto.

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este subcomponente y que son objeto de seguimiento, corresponden a las formaciones vegetales azonales del área de estudio, según los parámetros a monitorear establecidos en la RCA del Proyecto.

Este monitoreo de la vegetación activa se realiza en el periodo posterior a las precipitaciones estivales (marzo – abril 2025), tal como se establece en el marco del PMB, así como durante el invierno 2024, con el fin de captar posibles expresiones secundarias o remanentes de actividad vegetativa asociadas a condiciones hídricas. El periodo reportado en el presente informe consolidado anual de vegetación se enmarca entre los días 08 al 15 de abril de 2025, fechas en que se realizó la campaña estacional de verano de 2025 (Monitoreo 18 o M18). En cuanto al monitoreo semestral de invierno 2024, llamado en adelante Monitoreo 17 (M17), se enmarca entre los días 17 al 23 de agosto de 2024.

El objetivo del seguimiento de la variable “Flora y Vegetación” es monitorear y caracterizar la situación de la flora y vegetación azonal en el área de estudio, a través de las metodologías establecidas en la RCA 21/2016, éstas son: seguimiento a la carta ocupación de tierras (COT), seguimiento de transectas de vegetación con el método de intercepto de puntos en base a la metodología *point quadrat* y seguimiento de la vegetación activa a través del índice NDVI a partir de imágenes satelitales, con el fin de contrastar los resultados del monitoreo con la situación pre operacional del proyecto y de línea base y su evolución en el tiempo.

Cabe señalar que, con el objetivo de poder estudiar en mejor detalle la cobertura de la vegetación en sectores de interés, Albemarle a dispuesto esfuerzos de monitoreo de frecuencia semestral adicionando transectas (17), a las cuales se les ha denominado Monitoreo de Transectas Complementarias (MTC). Estas transectas MTC se han realizado a partir de la campaña de verano 2022 (M12), equivalente al MTC0, y hasta la fecha, se han realizado 6 campañas MTC de manera paralela al levantamiento de las transectas del PMB. La información complementaria correspondiente a las 17 transectas, se presenta en el **Anexo Vegetación y Flora MTC**. Estas transectas se encuentran distribuidas en todos

los sectores y formaciones vegetales de la siguiente manera: 13 en la zona cercana a las Vegas de Tilopozo, 1 en Peine, 1 en La Brava y 2 en Aguas de Quelana.

Los objetivos específicos del presente informe anual de vegetación y flora son:

- Monitorear la distribución y la cobertura de la vegetación (zonal y azonal), en su estructura comunitaria horizontal y vertical, en resultados semestrales a través del método de carta de ocupación de tierras (COT).

- Determinar la cobertura, riqueza, abundancia, y composición vegetal en las transectas de vegetación azonal, en resultados de los monitoreos de frecuencia semestral (invierno y verano).

- Estimar la cobertura (superficie) de vegetación activa mediante el índice NDVI, priorizando las áreas con presencia de formaciones hidrófilas y/o halófitas, sensibles a cambios en la disponibilidad hídrica, en campañas invernales y estivales posteriores a lluvias.

- Comparar los valores de vegetación activa de cada sector (superficie), obtenidos a partir del índice NDVI en temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo posterior a las precipitaciones estivales con los registros históricos de la línea de base y los monitoreos realizados a la fecha.

6.1 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1.1 COBERTURA Y VEGETACIÓN (COT)

6.1.1.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se sitúa en el Salar de Atacama, en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa, II Región de Antofagasta. Se encuentra a 280 kilómetros al oriente de Antofagasta, y a 27 kilómetros al oriente de Peine, a una altura geográfica aproximada de 2.300 m.s.n.m. El área coincide con el denominado Núcleo del Salar, que corresponde a un cuerpo salino formado de costras duras de cloruro de sodio y depósitos minerales.

Específicamente, el área de estudio corresponde a aquellos sectores del Salar que, con relación a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), concentran la vegetación: La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana. Con el fin de mantener la sectorización establecida por el PMB, se distribuyó el área de estudio en cinco subsectores: (1) Tilopozo, (2) La Punta y La Brava[11], (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana[12] (**Figura N° 6-1**).

Sólo para la componente Flora y Vegetación, se incorporaron posteriormente a la RCA 21/2016 que aprobó el proyecto, los sectores de Soncor y Quelana, según lo indicado en el informe de Monitoreo de Vegetación, "*Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016, aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016*", "Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL"; y en la cual se determinaron las transectas y su metodología para la evaluación pre-operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales del Plan de Seguimiento Biótico del Proyecto (PMB).

En consecuencia, aquellos sectores del Salar que, con relación a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), concentran la vegetación son: La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana. Con el fin de mantener la sectorización establecida por el PMB, se distribuyó el área de estudio en cinco subsectores: (1) Tilopozo, (2) La Punta y La Brava, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana (**Figura N° 6-1**). Es importante mencionar que para la transecta localizada en Soncor (T14), no se ha tenido acceso desde el primer monitoreo, principalmente por daños en el camino de acceso vehicular, e inundaciones en el acceso a la transecta, siendo validada a distancia en los monitoreos que se ha accedido a la Reserva.

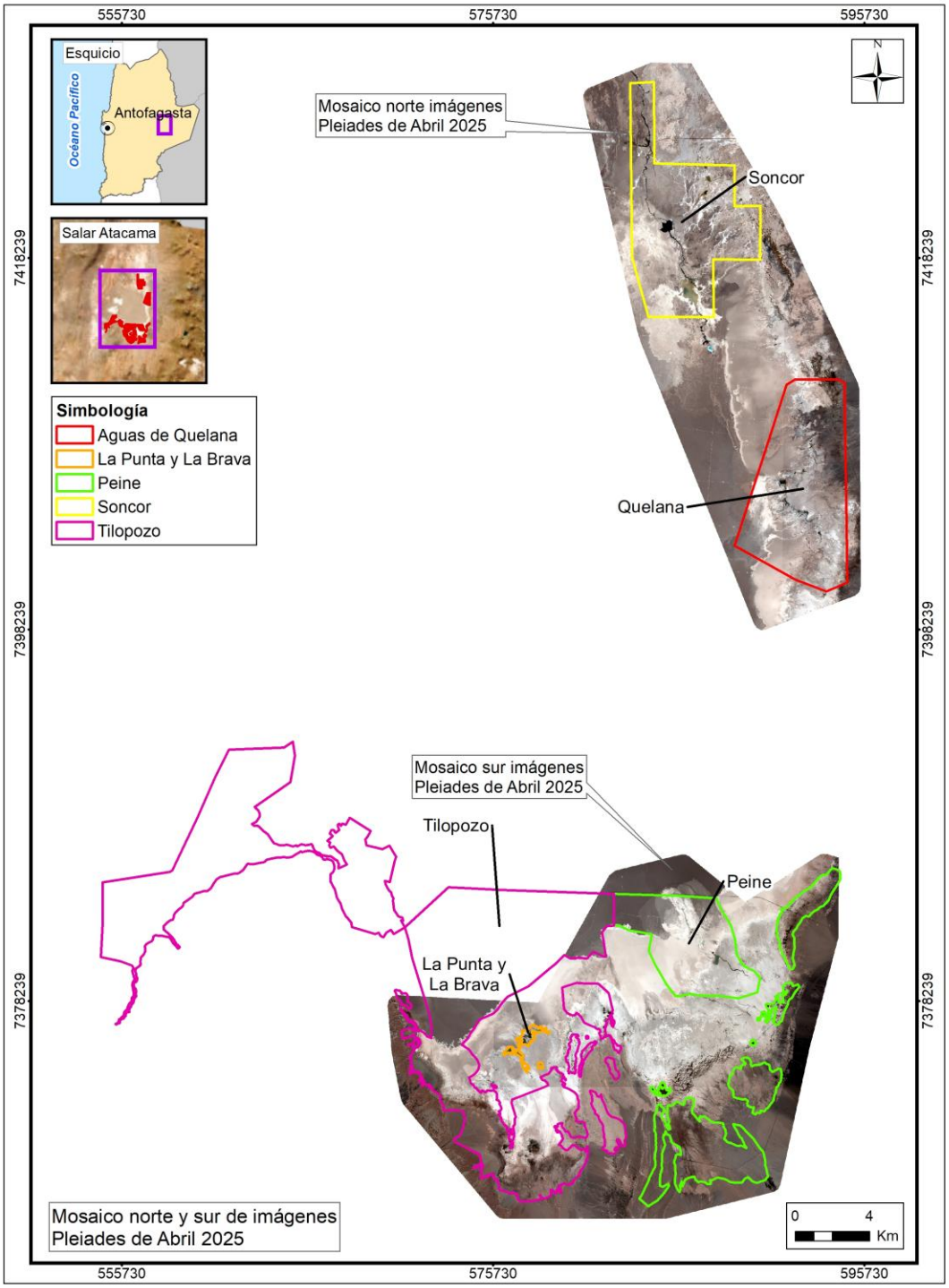
En cuanto a la vegetación del Salar, según lo descrito por Gajardo (1993), el territorio se encuentra inserto en la Región del Desierto, específicamente en el área que corresponde a la formación del Desierto del Salar de Atacama. Esta formación abarca la cuenca completa del Salar de Atacama, la que exhibe un paisaje muy homogéneo. Presenta grandes

[11] Con el fin de homologar la sectorización a la establecida por el PMB, se decidió seccionar el área de Tilopozo en dos subsectores: *La Punta y La Brava,* y *Tilopozo*.
[12] En Quelana, el área de estudio de la COT se extendió con el fin de lograr describir de forma integral este ecosistema y por lo mismo, los límites del estudio se asimilaron a los contemplados en el monitoreo de cuerpos de agua en este sector.

extensiones carentes de vegetación, salvo en los bordes Este y hacia el Sur, en que se encuentran algunas comunidades esteparias desarrolladas. Estas comunidades son: de *Atriplex atacamensis* – *Tessaria absinthioides* (Cachiyuyo – Brea), de *Acantholippia punensis* – *Franseria meyeniana*, de *Atriplex atacamensis* – *Acantholippia trifida* y la de *Prosopis chilensis* – *Geoffroea decorticans*.

Por otro lado, considerando los pisos vegetacionales de Luebert y Pliscoff (2017), el área del Salar se encuentra ubicada en el llamado Matorral Desértico Tropical Interior de *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides*: se manifiesta como un matorral alto, freatófilo, dominado por los arbustos *Atriplex atacamensis*, *Tessaria absinthioides* y la gramínea *Distichlis spicata*. Su presencia asociada a los salares, estaría determinada por la existencia de una napa freática que proporciona la humedad suficiente para compensar el déficit hídrico provocado por la escasez de precipitaciones, a pesar de lo cual se ha considerado como una unidad independiente. Ocasionalmente es posible observar la presencia de los árboles espinosos *Prosopis alba* y *Geoffroea decorticans*. Debido a estar edáficamente condicionada no es posible reconocer comunidades zonales e intrazonales.

Figura N° 6-1. Área de estudio Vegetación y Flora



Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.2 Ubicación de puntos muestreo

En la **Tabla N° 6-1** se muestra el listado de los puntos de muestreo de esta componente con sus coordenadas geográficas. Cabe señalar que, para el seguimiento de la COT, no se contaba previamente en el marco del PMB con puntos de muestreo establecidos para su seguimiento semestral en terreno, por lo que se definieron a partir del monitoreo base MB0 en julio de 2016. Para dicha definición, se consideraron como primera referencia los puntos de inicio de las transectas (**ver sección 6.1.2.1)**, a los cuales se les aplicó la metodología COT de manera de poder obtener una cobertura más robusta y representativa del sistema a caracterizar. Todos estos puntos originales y adicionales ya han sido informados y analizados desde el en el Informe Anual Nº1 (2016-2017), hasta el Informe Anual N°8[13] (2023-2024) y también en los Informes Semestrales.

Para este monitoreo, correspondiente al noveno año de seguimiento, se levantó información de 68 puntos de monitoreo en invierno 2024 y 67 puntos de monitoreo en verano 2025, correspondientes a cada polígono sujeto a seguimiento definido en la COT y comprometidos para el seguimiento. Estos puntos COT corresponden a 30 puntos de transectas, más 30 puntos de monitoreo de vegetación, previamente definidos en campañas anteriores, más 8 puntos de monitoreo COT adicionales que fueron levantados en la campaña de verano 2022 (M12) para actualizar la cartografía de vegetación y se ha replicado el seguimiento hasta este monitoreo (**Figura N° 6-1** y **Anexo Vegetación y Flora: Cartografía COT (Invierno 2023-Verano 2024)**).

Es importante señalar que los puntos monitoreados son representativos de polígonos de las formaciones vegetales comprometidas en el Anexo 2, Adenda 5 RWL: Herbazal de *Schoenoplectus californicus*, Herbazal de *Juncus balticus*, Herbazal de *Distichlis spicata*, Matorral de *Salicornia neei*[14] (ex *Sarcocornia fruticosa)*, donde se incorporó el polígono con codominancia de *Nitrophila atacamensis* (Formaciones Azonales); y el Matorral de *Tessaria absinthioides* (Formación Zonal); y que los puntos seleccionados hayan sido muestreados anteriormente en las campañas de validación COT (trazabilidad).

Considerando la extensión del área de estudio, se realizó el recorrido en vehículo y en forma pedestre, las unidades cartográficas designadas para el monitoreo, que incluye el criterio de accesibilidad a los distintos subsectores.

[13] Se incluye nueva versión de Informe Anual N°8 asociado a esta entrega. Ya que el año 2024, cuando se entregó el Informe Anual N°8, hubo un error de compilación en la componente vegetación y se entregó por error el consolidado de vegetación de las campañas previas de invierno 2022 (M13) y de verano 2023 (M14). Sin perjuicio de aquello, se entregaron todos los datos en los Anexos y Planillas correspondientes a las campañas anuales correctas de invierno 2023 (M15) y verano 2024 (M16).

[14] Esta especie es identificada como *Sarcocornia fruticosa* desde la línea de base del Proyecto (2015) y así en informes posteriores asociados al PMB. Para efectos de actualizar el estatus taxonómico de la especie se cambia con su nombre actual *Salicornia neei*, de acuerdo a la revisión taxonómica sobre la subfamilia Salicornioideae en América del Sur (Brignone *et al* 2021).

Tabla N° 6-1. Puntos de validación COT, campaña de invierno 2024 y verano 2025

SUBSECTOR	CÓDIGO PUNTOS COT	CÓDIGO ASOCIADO A TRANSECTAS/COT	Coordenadas UTM (WGS84)	
			Este (m)	Norte (m)
Peine	PE010	CAC024	587738	7371289
	PE014	CAC028	591508	7378099
	PE015	CAC029	592690	7383248
	PE016	CAC030	591901	7383155
	PE017	CAC031	591476	7383136
	PE020	JLS023	585013	7373509
	PE022	JLS025	585727	7372392
	PE030	MPC001	584860	7373157
	PE029	RPV026	591440	7383173
	PE026	T01	584979	7373198
	PE025	T02	584864	7373653
	PE003	T03	584870	7373199
	PE004	T04	584450	7373358
	PE027	T05	587784	7369847
	PE028	T06	587249	7370627
	PE007	T07	587538	7370322
	PE008	T08	591329	7383068
	PE009	T09	591730	7383499
	PE024	VPR003	585149	7373376
Tilopozo	TL015	CAC001	575683	7372556
	TL016	CAC002	574559	7372618
	TL022	CAC008	571517	7376668
	TL024	CAC010	576632	7370652
	TL025	CAC011	576303	7370302
	TL027	CAC013	576506	7370061
	TL029	CAC015	577770	7369319
	TL033	CAC021	579309	7373995
	TL036	JLS001	575742	7371469
	TL039	JLS004	572401	7374900
	TL044	JLS009	577604	7370528
	TL047	JLS012	577553	7369903
	TL051	JLS016	579936	7369678
	TL052	JLS020	580977	7375826
	TL001	T18	576735	7370058
	TL056	T19	577853	7370416
	TL003	T20	577581	7370304
	TL004	T21	579122	7370660
	TL005	T22	578107	7369841

SUBSECTOR	CÓDIGO PUNTOS COT	CÓDIGO ASOCIADO A TRANSECTAS/COT	Coordenadas UTM (WGS84)	
			Este (m)	Norte (m)
	TL006	T23	578198	7369527
	TL057	T24	577922	7369310
	TL058	T25	577901	7369109
	TL009	T26	571909	7375029
	TL010	T27	571081	7377447
	TL011	T28	580249	7372583
	TL012	T29	577865	7370468
	TL013	T30	577602	7369977
	TL014	T31	576807	7369755
	TL060*	TA40	573523	7373535
	TL061*	TA41	578122	7370461
	TL062*	TA42	573384	7373565
	TL063*	TA43	577800	7369498
	TL064*	TA44	577761	7369861
	TL065*	TA45	577773	7369621
	TL066*	TA46	577733	7369710
	TL054	VPR001	575790	7371575
	TL055	VPR002	577758	7370522
La Punta y La Brava	LB003	T10	577230	7374967
	LP001	T11	577546	7375994
	LP002	T12	577872	7376446
	TL059	T13	580099	7376130
	LB004*	TA33	576411	7375393
Aguas de Quelana	QE005	CAC032	594640	7401839
	QE006	CAC034	594624	7402441
	QE008	CAC036	594578	7403454
	QE001	T15	593317	7403472
	QE002	T16	591112	7405899
	QE003	T17	591450	7405511
Soncor	SO001**	RPV015	585849	7418685

* Puntos COT nuevos, levantados en Monitoreo M12 para actualizar la cartografía de vegetación como parte del levantamiento del Monitoreo de Transectas Complementarias (MTC[15]) y repetidos en M17 y M18.

**Sin muestreo en verano 2025 en el subsector de Soncor debido a coordinaciones con CONAF y las comunidades para acceder a los sectores de Aguas de Quelana y Soncor y en el área de la Reserva Nacional Los Flamencos durante la campaña.

Fuente: Elaboración propia.

[15] Revisar detalles del levantamiento de Monitoreo de Transectas Complementarias (MTC) en *Anexo Vegetación y Flora, MTC, PMB, Anual N9*.

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

El parámetro de seguimiento utilizado en el análisis de vegetación en cumplimiento a lo dispuesto por la RCA, corresponde a la **distribución y cobertura de vegetación azonal**, a través del método de carta de ocupación de tierras (en adelante COT) y los parámetros de **composición, riqueza y cobertura,** orientado a la **caracterización florística** de cada una de las transectas y por sector**.** Los parámetros analizados equivalen a la condición semestral estimada por sector, en base al seguimiento en invierno 2024 y verano 2025.

El levantamiento de la información y la clasificación de las formaciones vegetales, a través de la COT, describe la vegetación desde una perspectiva fisionómica, para lo cual se determinaron los siguientes elementos: especies dominantes, estratificación de especies según su altura, cobertura total de la formación y de especies dominantes, la posición topográfica y el grado de alteración de la vegetación, en cada punto COT relevado.

Para la estratificación se usan los cuatro tipos biológicos definidos por Godron *et a*l. (1968) como base (herbáceo, leñoso bajo, leñoso alto y suculento) y sobre éstos se suma la información de las especies dominantes, las cuales se codificaron de acuerdo con la metodología de COT, como muestra la **Tabla N° 6-2**, la cual sintetiza el modo de codificación de los tipos biológicos detectados en terreno.

Tabla N° 6-2. Estratificación por tipos biológicos y codificación de especies dominantes

TIPO BIOLÓGICO	GÉNERO	ESPECIE	EJEMPLO
Herbáceo	Minúscula	Minúscula	*Baccharis juncea*: bj
Leñoso Bajo	Mayúscula	Minúscula	*Tessaria absinthioides*: Tb
Leñoso Alto	Mayúscula	Mayúscula	*Polylepis tarapacana:* PT
Suculento	Minúscula	Mayúscula	*Maihueniopsis boliviana:* mB

Fuente: Elaboración en base a Etienne & Prado (1982)

La altura de los estratos se codificó de acuerdo con los valores señalados en la **Tabla N° 6-3**.

Tabla N° 6-3. Categorías de altura empleadas para la vegetación

TIPO BIOLÓGICO	RANGO DE ALTURA (M)	CÓDIGO
Suculentas (S) Herbáceas (H) Arbustos (Leñoso Bajo: LB)	0 – 0,05	1
	0,05-0,25	2
	0,25 -0,50	3
	0,5 – 1	4
	1 - 2	5
	> 2	6
Árboles (Leñoso Alto: LA)	< 2	5

TIPO BIOLÓGICO	RANGO DE ALTURA (M)	CÓDIGO
	2 - 4	6
	4 - 8	7
	8 - 12	8
	12 – 20	9
	20 - 32	10
	> 32	11

Fuente: Elaboración en base a Etienne & Prado (1982)

La cobertura de las especies se estima visualmente en terreno. Para cada unidad vegetal se registran las especies dominantes, la **Tabla N° 6-4** resume la codificación de las medidas de cobertura de acuerdo con la metodología empleada.

Tabla N° 6-4. Rango de valores para la cobertura vegetal

COBERTURA %	DENSIDAD	CÓDIGO	ÍNDICE
1 – 5	Muy escasa	me	1
5 – 10	Escasa	e	2
10 – 25	Muy clara	mc	3
25 – 50	Clara	c	4
50 – 75	Poco densa	pc	5
75 – 90	Densa	d	6
90 – 100	Muy densa	md	7

Fuente: Etienne & Prado (1982).

La caracterización de la posición topográfica de la vegetación se efectúa siguiendo el procedimiento utilizado para la generación del Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile (CONAF – CONAMA –BIRF, 1999). La **Tabla N° 6-5** presenta las diferentes categorías de posición topográfica utilizadas para los sectores monitoreados.

Tabla N° 6-5. Categorías de posición topográfica

CÓDIGO	POSICIÓN TOPOGRÁFICA
1	Terreno plano
2	Terraza
3	Cumbre escarpada
4	Cumbre redondeada
5	Alto ladera
6	Media ladera
7	Bajo ladera
8	Ladera escarpada
9	Depresión abierta
10	Depresión cerrada
11	Ladera
12	Lomajes
13	Dunas

Fuente: CONAF-CONAMA-BIRF (1999).

El grado de alteración de las formaciones vegetales, se determina visualmente en terreno de acuerdo con los criterios semicuantitativos establecidos en la **Tabla N° 6-6.**

Tabla N° 6-6. Caracterización del grado de alteración de la vegetación en las formaciones vegetales

GRADO DE ALTERACIÓN	CARACTERÍSTICAS	CÓDIGO
Vegetación en estado natural	Estructura primaria no modificada. Composición florística autóctona y con individuos mayoritariamente sin daños por agentes bióticos o abióticos. Sin signos evidentes de intervención antrópica.	1
Vegetación alterada	Estructura primaria modificada. Composición florística principalmente autóctona. La vegetación puede presentar daños en los individuos (bióticos, abióticos y/o antrópicos) o evidencias de intervención antrópica hasta en un 30% de su cobertura. (Ej.: Explotación, corta, descepado; movimientos de tierra, presencia de caminos u otras interrupciones en la continuidad de las formaciones vegetales).	2
Vegetación deteriorada	Estructura primaria y composición florística modificada, con probable presencia de especies de origen alóctono. La vegetación puede presentar daños en los individuos (bióticos, abióticos y/o antrópicos) o evidencias de intervención antrópica, en más de un 30% de su cobertura.	3
Vegetación muerta	Sectores donde la cobertura vegetal (≥ 50%) se encuentra muerta (deterioro importante de los tejidos que impide una recuperación de los individuos), por lo que existe una pérdida de las características propias de la formación vegetal original.	4

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.4 Materiales y equipos utilizados

Los implementos utilizados para el muestreo de vegetación son:

- Un navegador Garmin 20X ETREX en invierno y verano, para localizar los puntos de muestreo en el área de estudio. Además, se georreferenciaron con este GPS las coordenadas en UTM (Universal Transversal de Mercator), en Datum WGS 84 19S, de cada formación descrita.
- Un formulario tipo y cartografía de terreno.
- Cámara fotográfica. Se realizó un registro fotográfico de la formación vegetal, sistematizando la toma fotográfica con cuatro fotografías orientadas según los puntos cardinales.
- Imágenes satelitales. Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio provienen del sensor Pleiades-1A y 1B, y en su conjunto conforman dos mosaicos, el primero en el sector norte que comprenden los sistemas lagunares de Soncor y Aguas de Quelana, y el segundo en el sector sur que corresponde a los sistemas de Tilopozo, La Punta y La Brava y Peine. En el caso del monitoreo de invierno 2023 se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución del sensor Pleiades-1A y 1B de agosto de 2024 y para el monitoreo de verano las imágenes del sensor Pleiades-1B de abril de 2025.

6.1.1.5 Metodología de muestreo

6.1.1.5.1 Diseño y tipo de muestreo

El tipo de muestreo utilizado corresponde al diseño estratificado-dirigido. Los estratos corresponden a los tipos de formaciones vegetales definidos por la COT. En estos estratos se localizaron los puntos de muestreo, cuya distribución espacial se realizó de manera dirigida por el especialista a cargo, de acuerdo a sus conocimientos y los criterios descritos continuación.

En primer término, los puntos de muestreos se distribuyeron de modo de abarcar la mayor diversidad vegetal del área, intentando interpretar, con al menos un muestreo, la mayor proporción de las unidades (polígonos) vegetales descritos en la línea de base del proyecto, con prioridad en las unidades azonales objeto de seguimiento.

6.1.1.5.2 Trabajo en terreno

El trabajo de terreno tiene como propósito ejecutar el diseño de muestreo preparado en gabinete para recabar los registros de vegetación en los sectores de estudio.

El relevamiento, según este método considera el siguiente procedimiento para el catastro de información:

- Validación en terreno de la delimitación de unidades cartográficas (realizada mediante fotointerpretación en gabinete, sobre los polígonos descritos en la COT de este periodo);
- En cada unidad cartográfica, estratificación de la comunidad vegetal según tipo biológico y determinación en cada estrato de las especies dominantes, definidas como aquellas especies que presentan el mayor porcentaje de cobertura (Etienne & Prado 1982);
- Caracterización en términos estructurales de cada unidad cartográfica con vegetación: registro de la cobertura por tipo biológico y, para las especies dominantes, de su altura y cobertura vegetal;
- Reconocimiento de la composición florística de cada unidad descrita;
- Determinación cualitativa del relieve y la topografía de la unidad.
- Reconocimiento de los atributos que describen el estado de la vegetación, orientado a determinar su grado de alteración en cada unidad cartográfica.

Considerando la extensión del área de estudio, se recorrieron en vehículo y en forma pedestre, las unidades cartográficas más representativas de las formaciones vegetales presentes en el área de estudio, que estuvieran ubicadas en lugares accesibles y/o libres de peligros.

6.1.1.5.3 Delimitación y atributación de formaciones vegetales

Para fines del monitoreo, desde la información COT se ajusta la escala de trabajo de línea de base, a una escala con mayor nivel de detalle, necesaria para el seguimiento del subcomponente, de manera de percibir adecuadamente la variabilidad ambiental a lo largo del monitoreo.

Este proceso de aumento en el detalle de la COT incluye la delimitación de las unidades homogéneas de vegetación (polígonos) mediante fotointerpretación a la escala de trabajo 1:2.000. Esta escala permite reconocer con mayor precisión los límites naturales disminuyendo cortes abruptos en el análisis cartográfico. Luego se realiza la clasificación/atributación de dichas unidades, según los tipos de recubrimiento de suelo, los que se subdividen a su vez de acuerdo con el tipo de formación vegetal según se listan en la **Tabla N° 6-7**.

El proceso inicial de fotointerpretación se realiza a través de la plataforma SIG, en el software ArcGIS versión 10.8, usando imágenes multiespectrales de alta resolución, las cuales provienen del satélite Pleiades-1A y 1B (píxel de 2 metros).

Los polígonos resultantes son atributados según la nomenclatura que se define en la **Tabla N° 6-7** y **Tabla N° 6-8,** para obtener una caracterización acorde al análisis de la vegetación azonal hídrica. Esta nomenclatura, se basa en la metodología de la COT (Etienne & Prado 1982).

En relación a la atributación de las unidades cartográficas de la COT a continuación, se describen los distintos niveles de análisis, los cuales se utilizan para las clasificaciones de recubrimiento de suelo y sus tipos de vegetación:

I. **Unidad cartográfica (UC)**: corresponde a un polígono de la cartografía COT. Su código identificatorio es único.
II. **Unidad vegetal (UV)**: conjunto de unidades cartográficas que tienen atributos comunes en términos de la COT, referido al tipo de formación vegetal u otro recubrimiento del suelo, coberturas por tipo biológico y especies dominantes.
III. **Formación vegetal**: conjunto de plantas, de una o varias especies, que comparten características de forma y comportamiento (Godron, Daget & Emberger, 1968; Etienne & Prado, 1982). Estas características incluyen aspectos estructurales de abundancia, estratificación y cobertura, es decir, es la expresión de la flora en un área determinada, más la dimensión de abundancia, estratificación y dominancia, entre otras. Este enfoque, de tipo fisonómico, está basado en los conceptos de estratificación (referido a la disposición vertical de la vegetación) y cobertura, lo cual permite dar una imagen de la disposición vertical y horizontal de las especies en terreno (*in situ*).

IV. **Tipo de formación vegetal**: conjunto de formaciones vegetales reunidas en base a la representatividad de sus tipos biológicos en términos de dominancia. Esta clasificación se realiza con el fin de hacer un análisis con enfoque ecológico a la vegetación y se diseñó a partir de las categorías del uso de suelo definidas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF 1999) y de la clasificación de la vegetación de Chile según distintos autores (Gajardo 1994; Luebert & Pliscoff 2017). La **Tabla N° 6-7** lista los tipos de formaciones utilizados.

V. **Recubrimiento de suelo**: zonificación de los tipos de formaciones vegetales y otras coberturas de la superficie terrestre. Esta clasificación fue realizada a partir de las categorías de uso de suelo[16] definidas para el Catastro y Evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF 1999). La **Tabla N° 6-8** lista las categorías usadas en el presente estudio.

VI. **Tipo de recubrimiento de suelo**: conjunto de tipos de recubrimientos de suelo clasificados como vegetación u otros recubrimientos. Además, para los tipos "con vegetación", ésta se divide en dos tipos según sus patrones de distribución:

a) *vegetación zonal*, cuando las formaciones vegetales presentan una distribución espacial que responde a elementos característicos de la zona, donde las condiciones climáticas regionales están plenamente expresadas.

b) *vegetación azonal*, cuando las formaciones vegetales presentan una distribución local y/o particular, independiente de las condiciones climáticas regionales, ya que responden a elementos específicos del sitio, como el tipo de suelo, sustrato o humedad (Luebert & Pliscoff 2006; Font-Quer 1965). Esta cobertura de vegetación está controlada fundamentalmente por el aporte de agua subterránea y condiciones climáticas regionales, los que las hace particularmente frágiles (MMA, 2011).

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

[16] Uso de suelo: Categorías en base a la planificación, estado y regulaciones del uso de la tierra en Chile, que comprenden Áreas urbanas e industriales, Terrenos agrícolas, Bosques, Humedales, Áreas desprovistas de vegetación, Nieves y glaciares, Aguas continentales y Áreas no reconocidas (CONAF 1999).

Tabla N° 6-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno

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

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

Tabla N° 6-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio

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

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

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

6.1.1.6 Metodología de cálculo y análisis

6.1.1.6.1 Análisis de vegetación

Toda la información recogida en el muestreo es ordenada y almacenada digitalmente en una base de datos de consulta, sobre la información ya recogida para el componente en la línea de base del proyecto.

Posteriormente, se desarrolla un trabajo de revisión y sistematización de la información, comparando la información proveniente de los formularios con los registros de COT y de flora para las especies dominantes con nombres científicos verificados, y las fotografías de terreno. Esto, en conjunto con las observaciones provenientes de terreno, permitió validar o reclasificar las distintas unidades homogéneas catastradas en los tipos de recubrimiento de suelo y los tipos de formaciones vegetales, señalados anteriormente en la **Tabla N° 6-7**.

A partir de los registros relevados en las unidades cartográficas, se construye una base de datos y una cobertura digital en formato *shape* de la cartografía COT. De esta manera, se caracterizó la vegetación (u otro recubrimiento si correspondiese), incluyendo los siguientes aspectos y atributos:

- *Información de referencia*: código punto de muestreo, coordenadas UTM y altitud, sector del proyecto;
- *Atributos de caracterización de la vegetación:* recubrimiento del suelo, tipo de formación, formación vegetal, especies dominantes y rango de cobertura por tipo biológico; rangos de altura y cobertura por especie dominante;
- *Atributos topográficos de sitio*: altitud, posición topográfica, exposición y pendiente;
- *Atributos ambientales*: grado de alteración.

A continuación, se describen los procesos llevados a cabo para analizar la información en gabinete, y así describir en los sectores de muestreo, los atributos de la vegetación recientemente listados:

a) Codificación de las unidades vegetales y cartográficas

La Unidad Vegetal (UV) corresponde al conjunto de unidades cartográficas homogéneas, que comparten los mismos atributos de recubrimiento de suelo, tipo de formación, estructura y composición según nomenclatura COT. En formaciones vegetales, específicamente comparten valores de coberturas por tipo biológico y especies dominantes.

La codificación UV corresponde a un código mixto de letras y números: las primeras letras aluden al proyecto (ALB) las que, además, van acompañadas por un número identificador de la UV (ver ejemplos en la **Tabla N° 6-9**).

El segundo codificador identifica, con un código único, a cada una de las Unidades Cartográficas (UC) que componen una UV. Este código se encuentra en función del código UV al que pertenecen, acompañado de un número correlativo asociado al número de polígonos presentes en cada sector (ver ejemplos en la **Tabla N° 6-9**).

Tabla N° 6-9. Ejemplos de codificación de las unidades vegetales homogéneas según análisis de recubrimiento de suelo y tipo de formación según nomenclatura COT

Ejemplo	Recubrimiento de Suelo	Tipo Formación	Atributos COT		Ejemplo Codificación	
			Tipo biológico / Cobertura	Especies dominantes	UV	UC
1	Humedales	Vega	H2	sca	ALB-031	ALB-031-163
2	Humedales	Vega	H2	dp	ALB-030	ALB-031-161
3	Humedales	Vega	H2	dp		ALB-031-162
4	Matorral - Humedal	Matorral - Vega	LB3 H5	Tb dp	ALB-055	ALB-055-113
5	Matorral - Humedal	Matorral - Vega	LB4 H3	Tb dp	ALB-046	ALB-046-90

Dónde: COT: Carta de Ocupación de Tierras; Tipos biológicos: (LB): Leñoso bajo, (H): Herbáceo, (S) Suculento. Coberturas: (3): muy clara (10-25 %), (6): densa (75-90 %), (7) muy densa (90-100 %). Especies dominantes: sca: *Schoenoplectus californicus*, dp: *Distichlis spicata*, Tb: *Tessaria absinthioides*.
Fuente: Elaboración propia

b) Denominación de las formaciones vegetales

De las distintas UV identificadas, fueron agrupadas aquellas homogéneas en cuanto a la cobertura por tipo biológico y a las especies dominantes. Estas agrupaciones corresponden a las diferentes formaciones vegetales en el área de estudio, determinadas así por la representatividad del tipo biológico y las especies dominantes en cada estrato. En la **Tabla N° 6-10,** se observan algunos ejemplos de cómo se denominan finalmente las formaciones vegetales, siguiendo los ejemplos de codificación de la UV que fueron presentados en la **Tabla N° 6-9.**

Tabla N° 6-10. Ejemplos de la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la codificación de las unidades vegetales (UV)

Ejemplo	Código UV	Descripción UV	Formación Vegetal
1	ALB-033	Vega muy clara	Vega de *Juncus balticus*
2	ALB-020	Vega clara	
3	ALB-021		
4	ALB-052	Matorral escaso -Vega muy claro	Matorral - Vega de *Lycium humile* y *Juncus balticus*
5	ALB-056	Matorral muy claro -Vega claro	

Fuente: Elaboración propia

Se consideró esta denominación con el objeto de facilitar la comprensión de los análisis e interpretación de los resultados, por lo que sólo se traduce en una adaptación de la

propuesta metodológica original de la COT, ya que establece la denominación de la formación por el uso del tipo biológico dominante seguido por su estratificación y cobertura (ej. formación leñosa alta muy escasa), de manera que su comprensión es más directa, y facilita la interpretación para fines del seguimiento de las formaciones vegetales. En la **Tabla N° 6-11** se muestran algunos ejemplos comparativos.

Tabla N° 6-11. Ejemplos comparativos para la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la nomenclatura COT

Ejemplo		Definición
1	*Nomenclatura COT*	Formación herbácea muy clara (H3).
	Nomenclatura Proyecto	Vega de *Distichlis spicata* (H3)
2	*Nomenclatura COT*	Formación leñosa baja muy clara (LB3) - Formación herbácea baja muy clara (H3).
	Nomenclatura Proyecto	Matorral - Vega de *Lycium humile* y *Distichlis spicata* (LB3 H3)

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se definió una segunda categoría denominada “agrupación”, la cual asocia algunas formaciones vegetales identificadas en el área de estudio en función de sus especies dominantes. Esta agrupación se relaciona a lo comúnmente llamado comunidad vegetal en descripciones bibliográficas. El objetivo de esta clasificación es simplificar la descripción al lector y revisor del componente, ya que formaciones vegetales similares tienden a dividirse en muchas unidades debido a características específicas de su composición florística, a la escala de trabajo de la fotointerpretación y a la delimitación de las unidades homogéneas de la vegetación del sector.

En la **Tabla N° 6-12** presentan ejemplos referenciales para entender a qué se refiere esta agrupación de formaciones vegetales. Cabe señalar, que siempre que estas formaciones se encuentren dentro de una agrupación, las mismas se nombran “con dominancia de” para diferenciarlas de aquellas no incluidas en esta categoría.

Tabla N° 6-12. Ejemplo de agrupación de formaciones vegetales

Nombre de la agrupación	Nombre de la Formación vegetal
Matorral -Vega con dominancia de *Lycium humile*	Matorral - Vega de *Lycium humile* y *Distichlis spicata* Matorral - Vega de *Lycium humile*, *Distichlis spicata,* y *Schoenoplectus californicus* Matorral - Vega de *Lycium humile* y *Juncus balticus*
	Matorral - Vega de *Lycium humile*, *Juncus balticus, y Distichlis spicata* Matorral - Vega de *Lycium humile*, *Schoenoplectus californicus,* y *Juncus balticus* Matorral - Vega de *Lycium humile,* Matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa), Distichlis spicata*, y *Baccharis juncea*

Fuente: Elaboración propia.

c) Interpretación de las alturas y coberturas por tipo biológico

Sobre las denominaciones y descripciones de la vegetación, es importante recordar que cada formación vegetal o agrupación de formaciones vegetales está constituida de una a varias unidades cartográficas. Es por esto, que una formación vegetal o agrupación, presenta generalmente una variabilidad en la cobertura de las especies dominantes que componen un tipo biológico y/o de las alturas para los estratos por tipo biológico.

Atendiendo a esto, para la presentación de los resultados COT en la descripción de la vegetación se entrega el rango de altura y de cobertura identificado para todas las unidades descritas en una formación vegetal, así como la mediana dentro de este rango para identificar los valores más recurrentes para tales características.

Por ejemplo, una formación vegetal dominada por un estrato arbustivo (Matorral de *Ephedra breana*) puede presentar una altura variable del estrato arbustivo entre 5 y 50 cm de altura, pero una mediana entre 25 y 50 cm. Y para la cobertura, se puede dar el caso que presente una variabilidad entre 10 y 75% de cobertura vegetal en el estrato arbustivo, pero con valor recurrente (mediana) de entre 25 y 50%, que correspondería a una cobertura clara. En la **Tabla N° 6-13** se describen algunos ejemplos de cómo se presentan los resultados COT.

Tabla N° 6-13. Ejemplos de descripción de formaciones vegetales: rangos de altura y de cobertura identificados en las unidades descritas y su mediana (valores recurrentes)

Formación vegetal	**Especies dominantes**	**Altura Vegetal Mediana (Rango)***		**Cobertura Vegetal Mediana (Rango)***	
		LB	**H**	**LB**	**H**
Matorral con dominancia de Ad	Ad Aa Ai cis cid	4(2-5)	2(1-2)	3	4
Matorral de Ai	Ai cid	3	3	3	2
Matorral con dominancia de Eb	Eb dp	4(2-5)	2	2(2-3)	2

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

Es importante resumir, que en el contexto de toda la explicación metodológica realizada sobre el seguimiento de la COT para este Proyecto, el ajuste metodológico fue inicialmente un requerimiento esencial para una apropiada descripción de las formaciones vegetales y entender la composición comunitaria de éstas, además de una delimitación de los polígonos más ajustada a las características que la metodología define y para efectos de ser utilizada en el seguimiento de la COT y de la superficie de vegetación activa.

Por otro lado, la actualización de la COT, en ajuste de límites y en algunos casos cambios de estructura en la composición de cobertura y/o especies dominantes es propia de la actualización de este insumo, teniendo en consideración que los principales *ajustes cartográficos* corresponden a ajustes espaciales de la COT que fueron realizados por

diversas razones, pudiendo reconocer tres grandes hitos para la identificación de los principales cambios:

a) Principalmente, los primeros ajustes fueron realizados en el monitoreo de verano 2017 (M2) dada la necesidad de una actualización en las denominaciones de las formaciones vegetales en términos de la dominancia de las especies y también por el ajuste y afinación de la COT.

b) Cabe señalar que siempre se dan cambios en algunas unidades cartográficas (polígonos) debido a la denominación de las formaciones por los cambios estacionales de algunas especies dominantes o bien al ajustar algunos límites de cada polígono, ya sea por afinación con la imagen satelital (*ej. lo que ocurre para delimitar lagunas si se observan cambios estacionales*) o bien, por ajuste cartográfico observado en terreno o con la imagen satelital o en el caso de formaciones afectadas por incendios donde se han detectado cambios temporales a menor escala de tiempo.

c) En el verano 2022 (M12) debido a la incorporación voluntaria de las Transectas Complementarias (MTC), hay puntos nuevos de validación COT en zonas no visitadas anteriormente.

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

El Monitoreo 17 (M17) de invierno 2024 se llevó a cabo en una campaña de terreno, tanto para el levantamiento y validación COT y transectas de flora, ejecutada entre los días 17 y 23 de agosto de 2024.

El Monitoreo 18 (M18) de verano 2025 se llevó a cabo en una campaña de terreno, tanto para el levantamiento y validación COT y transectas de flora, ejecutada entre los días 08 y 15 de abril de 2025.

6.1.2 FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS)

6.1.2.1 Ubicación de puntos muestreo

Para el presente informe, se consideraron las 31 transectas establecidas durante el Monitoreo Base 0 (RWL-Cedrem agosto 2016) del subcomponente Flora y Vegetación del proyecto y que fueron ubicadas atendiendo a las transectas propuestas en cumplimiento de la Resolución de Calificación Ambiental (Res Ext N° 0021/2016) que aprobó el proyecto “Estudio de Impacto Ambiental: Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”.

Específicamente en marco del “Informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016)”, éste fue aprobado a través del Ord.

SAG N°315/2016. “Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL”, el cual determina el número y ubicación de las transectas y su metodología para la evaluación pre-operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

Cabe recordar, que el programa de monitoreo mencionado en el párrafo anterior, para el subcomponente de flora y vegetación propuestos en el Plan de Manejo Biótico (RCA y Adenda 5), incluía 24 estaciones o puntos de monitoreo, con 10 puntos en el sector de Peine y 14 puntos en el sector La Punta - La Brava, sector que incluye los subsectores de La Punta, La Brava y Tilopozo.

Posteriormente, se incluyeron siete puntos como áreas de control de la vegetación en sectores de laguna como parte del Plan de Manejo Biótico, desde el inicio del seguimiento, correspondientes a las transectas T10 (La Brava), T11 y T12 (La Punta), T14 (Soncor) y T15, T16 y T17 (Aguas de Quelana), ver **Tabla N° 6-14**

Cabe destacar que la transecta T14 en Soncor no se ha tenido acceso desde el primer monitoreo, principalmente por daños en el camino de acceso vehicular, e inundaciones en el acceso a la transecta, siendo validada a distancia en varios monitoreos, con un punto de monitoreo COT (RPV015), corroborando su fisionomía de área desprovista de vegetación (salar) y sin registros florísticos.

Las 31 transectas del PMB se encuentran ubicadas en áreas con presencia de formaciones vegetales sensibles a la alteración del suministro hídrico; en el área de estudio existen tanto formaciones vegetales hidrófilas sensibles a la alteración del suministro hídrico (herbazales de *Schoenoplectus californicus* y de *Juncus balticus*), como grandes extensiones de formaciones de especies halófitas (herbazal de *Distichlis spicata* y de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa*). Se distribuyen en seis subsectores dentro del área de seguimiento propuesta por el proyecto. En relación con su distribución, de las transectas del PMB 14 de ellas se encuentran en el subsector Tilopozo, nueve en el sector de Peine, tres en el subsector La Punta, una en el subsector La Brava, tres en el sector Aguas de Quelana y una en el sector Soncor (**Figura N° 6-2**).

En la **Tabla N° 6-14** se presentan las coordenadas de las transectas realizadas para el monitoreo biológico del subcomponente flora y vegetación, considerando además la asociación con los puntos originales propuestos en el Plan de Manejo Biótico (RCA y Adenda 5) y en **Figura N° 6-3, Figura N° 6-4, Figura N° 6-5, Figura N° 6-6** y **Figura N° 6-7** se indica la localización de las transectas por subsector.

Tabla N° 6-14. Coordenadas de las transectas de monitoreo del Plan de Manejo Biótico del subcomponente Flora y Vegetación, en los sectores de estudio

SUB SECTOR	PUNTO ASOCIADO*	FORMACIÓN VEGETAL	TRANSECTA		COORDENADAS UTM (WGS84)		ALTITUD (m.s.n.m.)	ORIENTACIÓN TRANSECTA
			Número	Código	Este	Norte		
Peine	VB01	Herbazal de *Schoenoplectus californicus*	T01	T01i	584979	7373198	2.307	SE
				T01f	585029	7373195		
			T02	T02i	584864	7373653	2.311	SE
				T02f	584886	7373611		
			T03	T03i	584870	7373199	2.312	NO
				T03f	584822	7373214		
			T04	T04i	584450	7373358	2.307	SO
				T04f	584440	7373310		
	VB02	Matorral de *Tessaria absinthioides*	T05	T05i	587784	7369847	2.329	NE
				T05f	587787	7369896		
			T06	T06i	587249	7370627	2.324	SE
				T06f	587291	7370598		
			T07	T07i	587538	7370322	2.323	SE
				T07f	587589	7370321		
	VB03	Herbazal de *Distichlis spicata*	T08	T08i	591329	7383068	2.304	SO
				T08f	591304	7383026		
			T09	T09i	591730	7383499	2.301	SE
				T09f	591734	7383449		
La Brava	VLB2	Herbazal de *Triglochin concinna*	T10	T10i	577230	7374967	2.302	NE
				T10f	577264	7375004		
La Punta	VLP1	Herbazal de *Triglochin concinna*	T11	T11i	577546	7375994	2.298	SE
				T11f	577557	7375945		
	VLP2	Matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa)*	T12	T12i	577872	7376446	2.305	NO
				T12f	577827	7376471		
	VLP3	Herbazal de *Juncus balticus*	T13	T13i	580099	7376130	2.304	NE

SUB SECTOR	PUNTO ASOCIADO*	FORMACIÓN VEGETAL	TRANSECTA		COORDENADAS UTM (WGS84)		ALTITUD (m.s.n.m.)	ORIENTACIÓN TRANSECTA
			Número	Código	Este	Norte		
				T13f	580149	7376130		
Soncor	VS*	Área desprovista de vegetación	T14	T14i	585970	7418664	2.300	SO
				T14f	585937	7418624		
Quelana		Matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa)*	T15	T15i	593317	7403472	2.301	SO
				T15f	593279	7403439		
	VQ*	Matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa)*	T16	T16i	591112	7405899	2.296	NE
				T16f	591159	7405919		
			T17	T17i	591450	7405511	2.299	SO
				T17f	591402	7405498		
Tilopozo	VT1	Herbazal de *Juncus balticus*	T18	T18i	576735	7370058	2.306	SO
				T18f	576733	7370008		
	VT2	Herbazal de *Schoenoplectus californicus*	T19	T19i	577853	7370416	2.307	SO
				T19f	577828	7370372		
		Herbazal de *Distichlis spicata*	T20	T20i	577581	7370304	2.307	SE
				T20f	577629	7370300		
	VT3	Herbazal de *Distichlis spicata*	T21	T21i	579122	7370660	2.305	SO
				T21f	579074	7370655		
	VT4	Herbazal de *Distichlis spicata*	T22	T22i	578107	7369841	2.306	SO
				T22f	578068	7369811		
		Matorral de *Tessaria absinthioides*	T23	T23i	578198	7369527	2.307	SO
				T23f	578153	7369506		
			T24	T24i	577922	7369310	2.310	SO
				T24f	577879	7369283		
			T25	T25i	577901	7369109	2.311	SO
				T25f	577851	7369103		
	VT5	Herbazal de *Distichlis spicata*	T26	T26i	571909	7375029	2.303	SE
				T26f	571931	7374985		

SUB SECTOR	PUNTO ASOCIADO*	FORMACIÓN VEGETAL	TRANSECTA		COORDENADAS UTM (WGS84)		ALTITUD (m.s.n.m.)	ORIENTACIÓN TRANSECTA
			Número	Código	Este	Norte		
	VT6	Herbazal de *Distichlis spicata*	**T27**	T27i	571081	7377447	2.304	NO
				T27f	571031	7377448		
	VTM1*	Herbazal de *Distichlis spicata*	**T28**	T28i	580249	7372583	2.309	SE
				T28f	580295	7372564		
	VT2	Herbazal de *Schoenoplectus californicus*	**T29**	T29i	577865	7370468	2.308	SO
				T29f	577823	7370437		
	VT1	Herbazal de *Juncus balticus*	**T30**	T30i	577602	7369977	2.309	NE
				T30f	577604	7370026		
			T31	T31i	576807	7369755	2.310	NE
				T31f	576807	7369807		

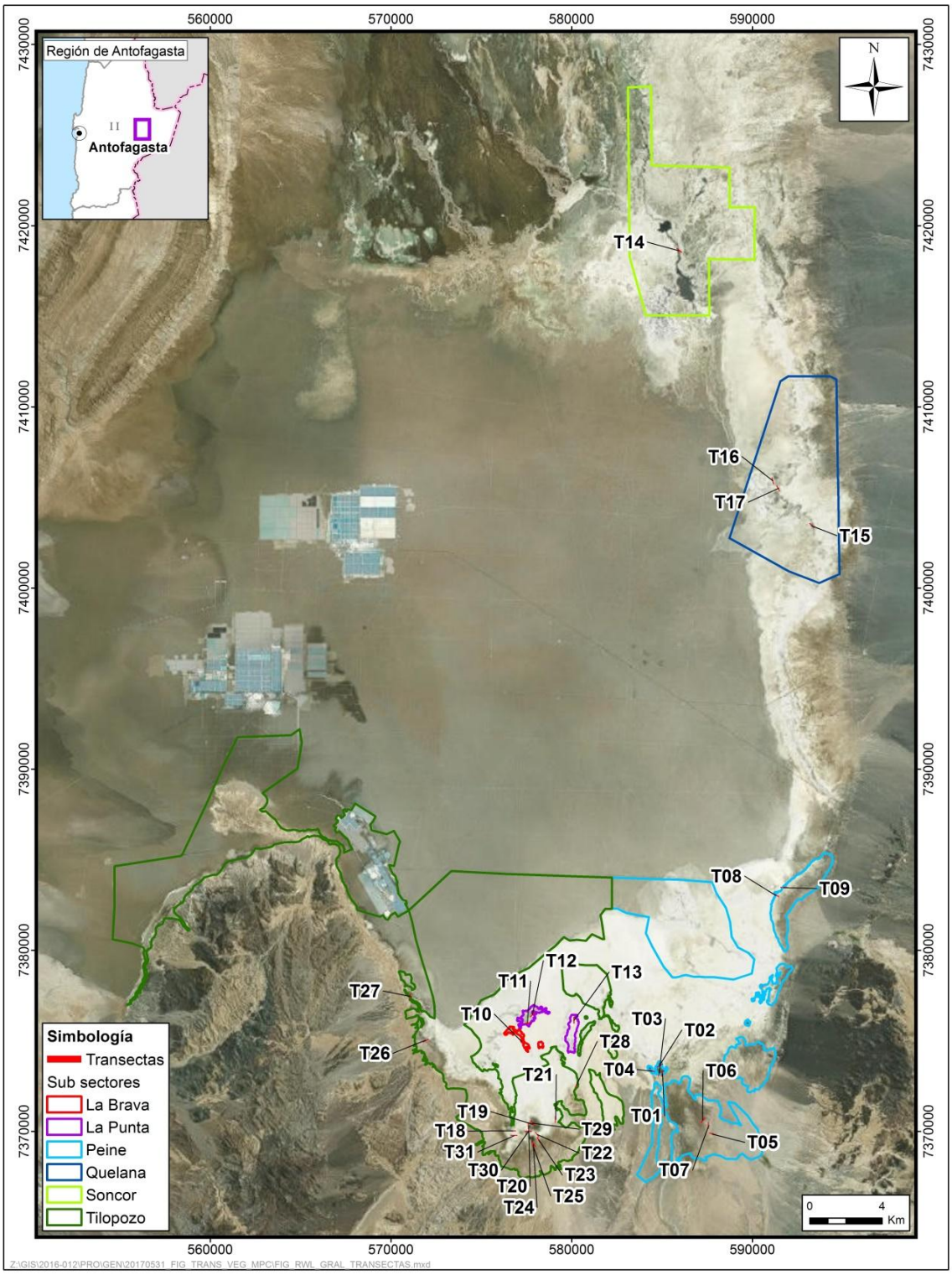
Dónde: Punto Asociado*: Puntos propuestos para monitoreo en el Plan de Manejo Biótico;

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

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

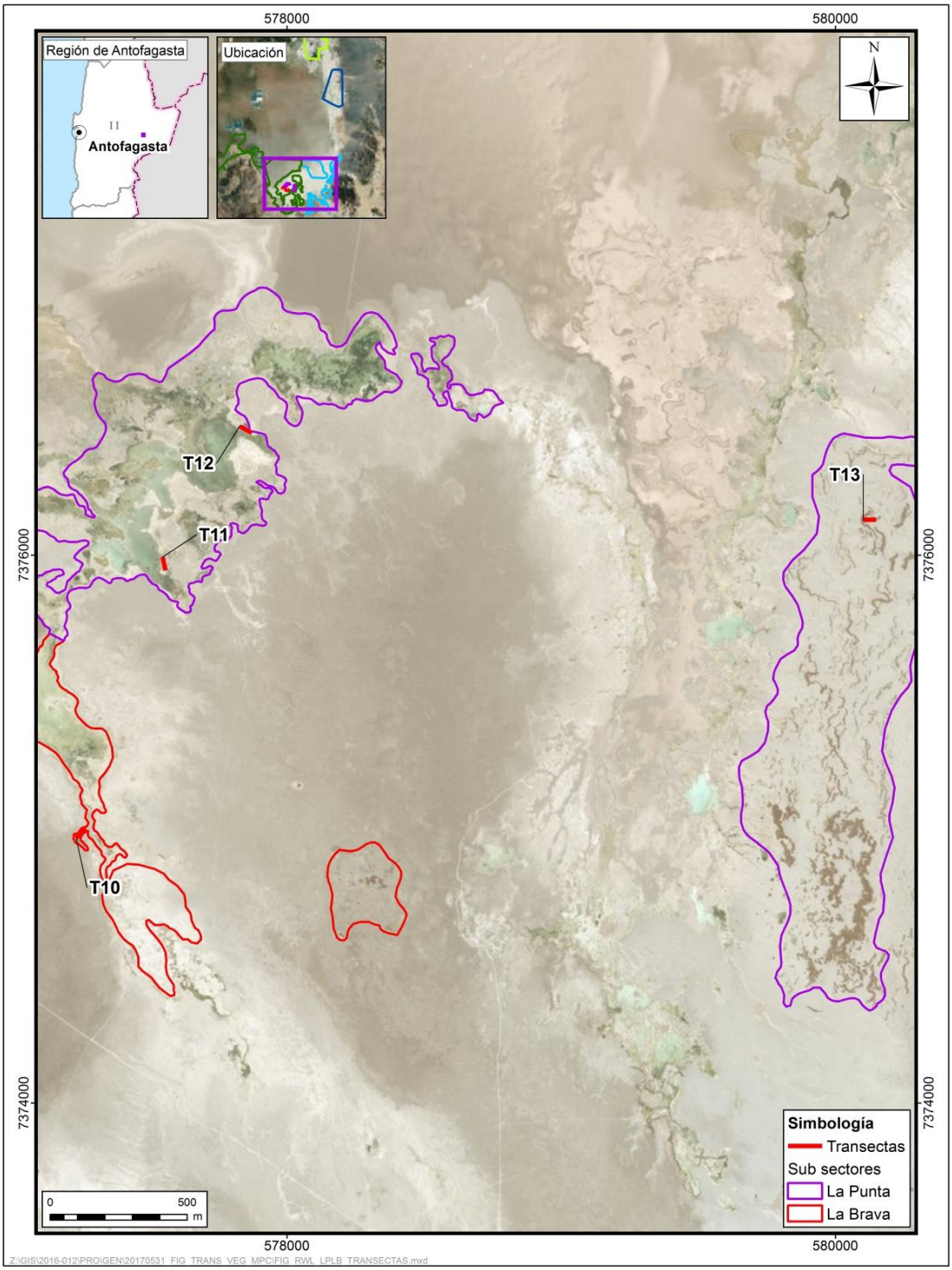
Fuente: Elaboración propia.

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



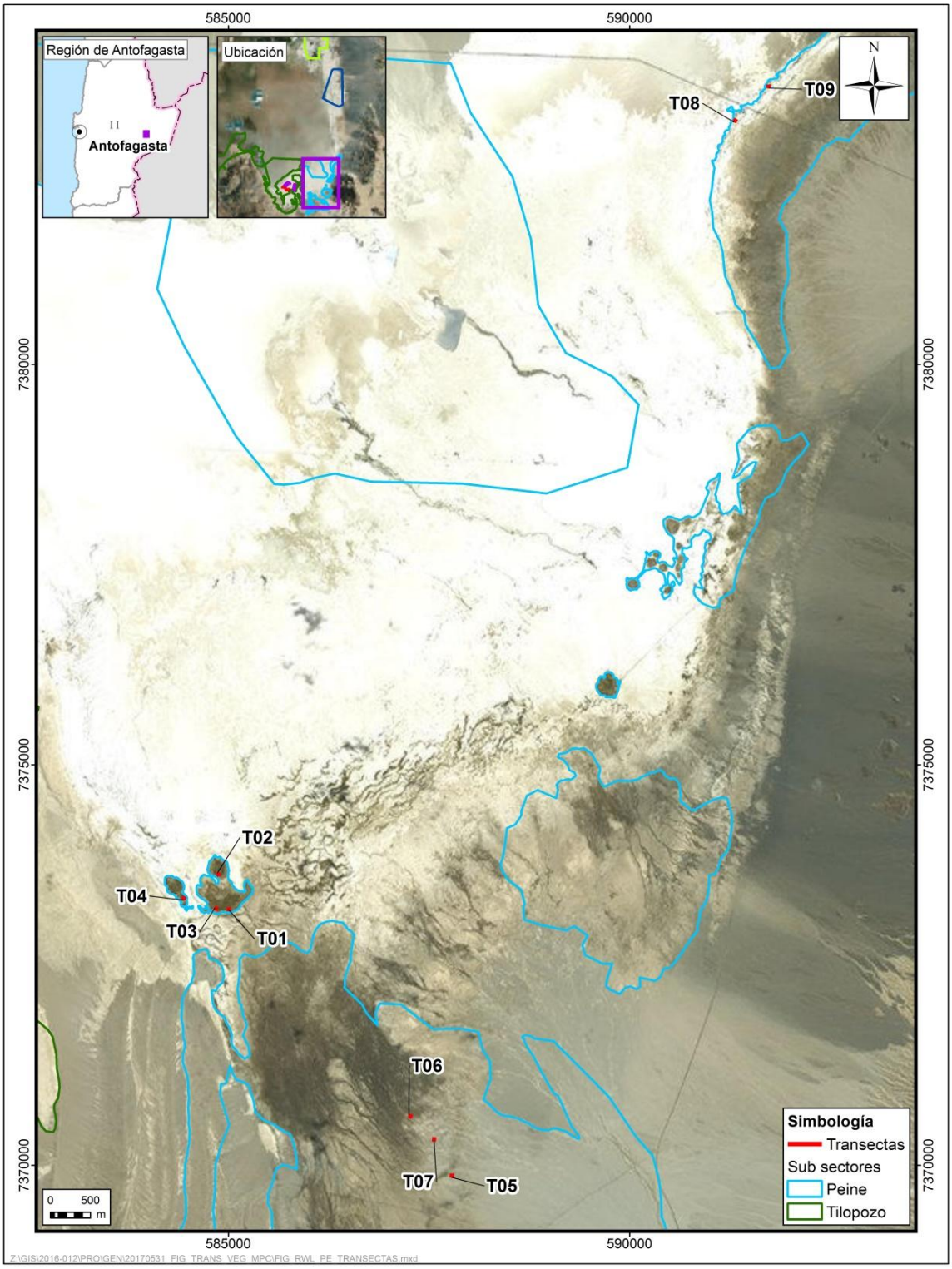
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-3. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en los subsectores La Punta y La Brava, Salar de Atacama



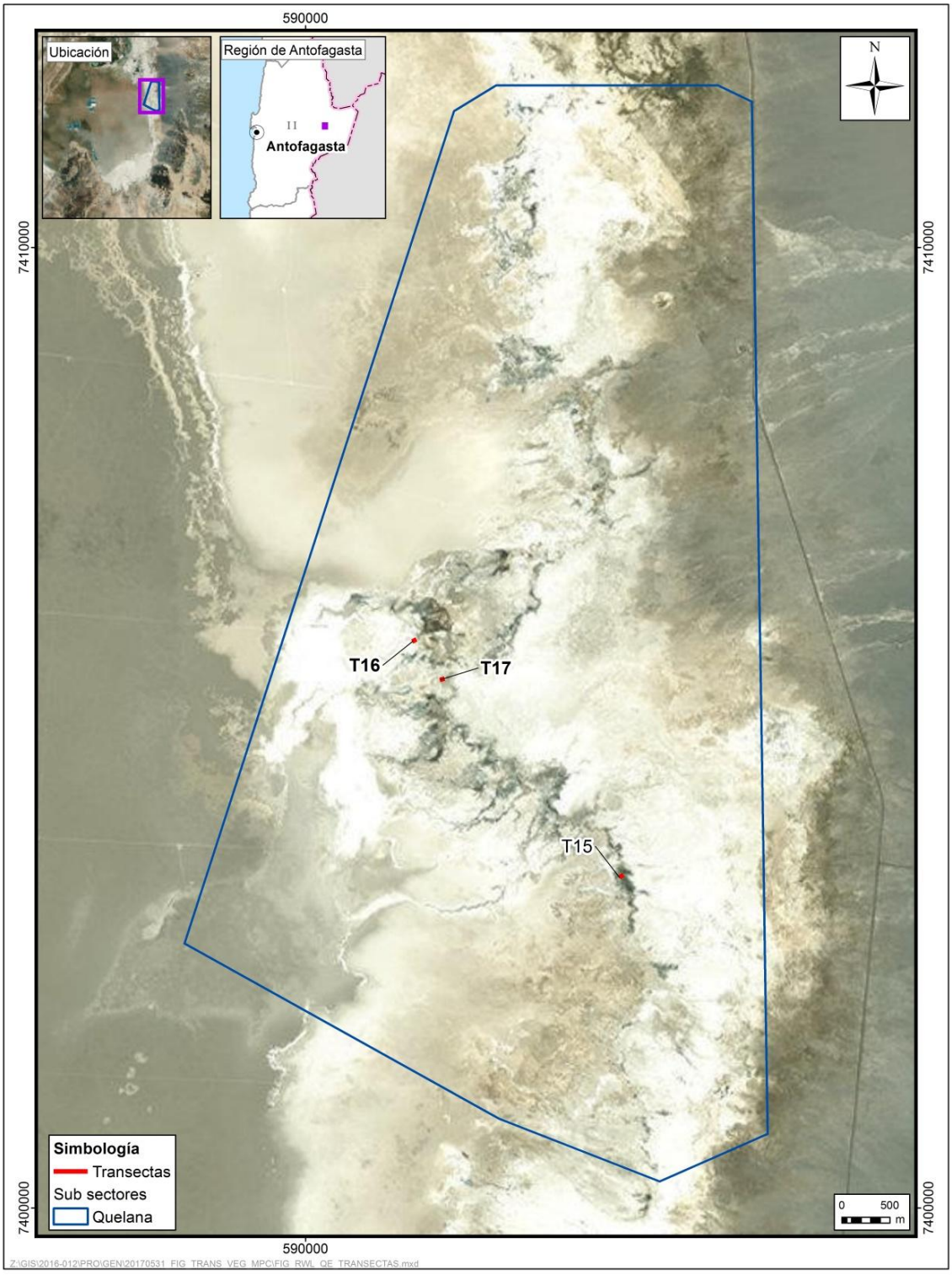
Fuente: Elaboración propia.

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



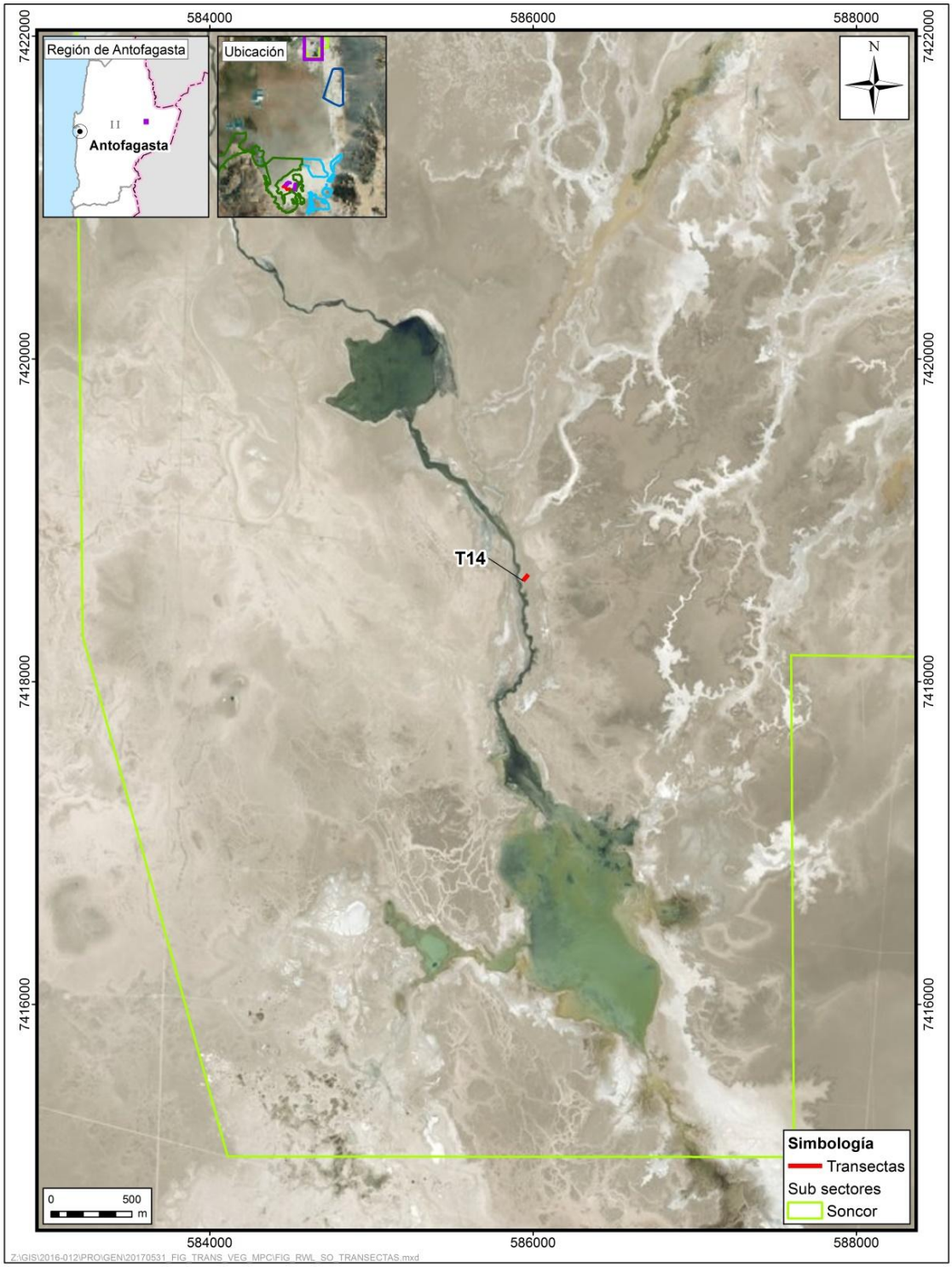
Fuente: Elaboración propia.

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



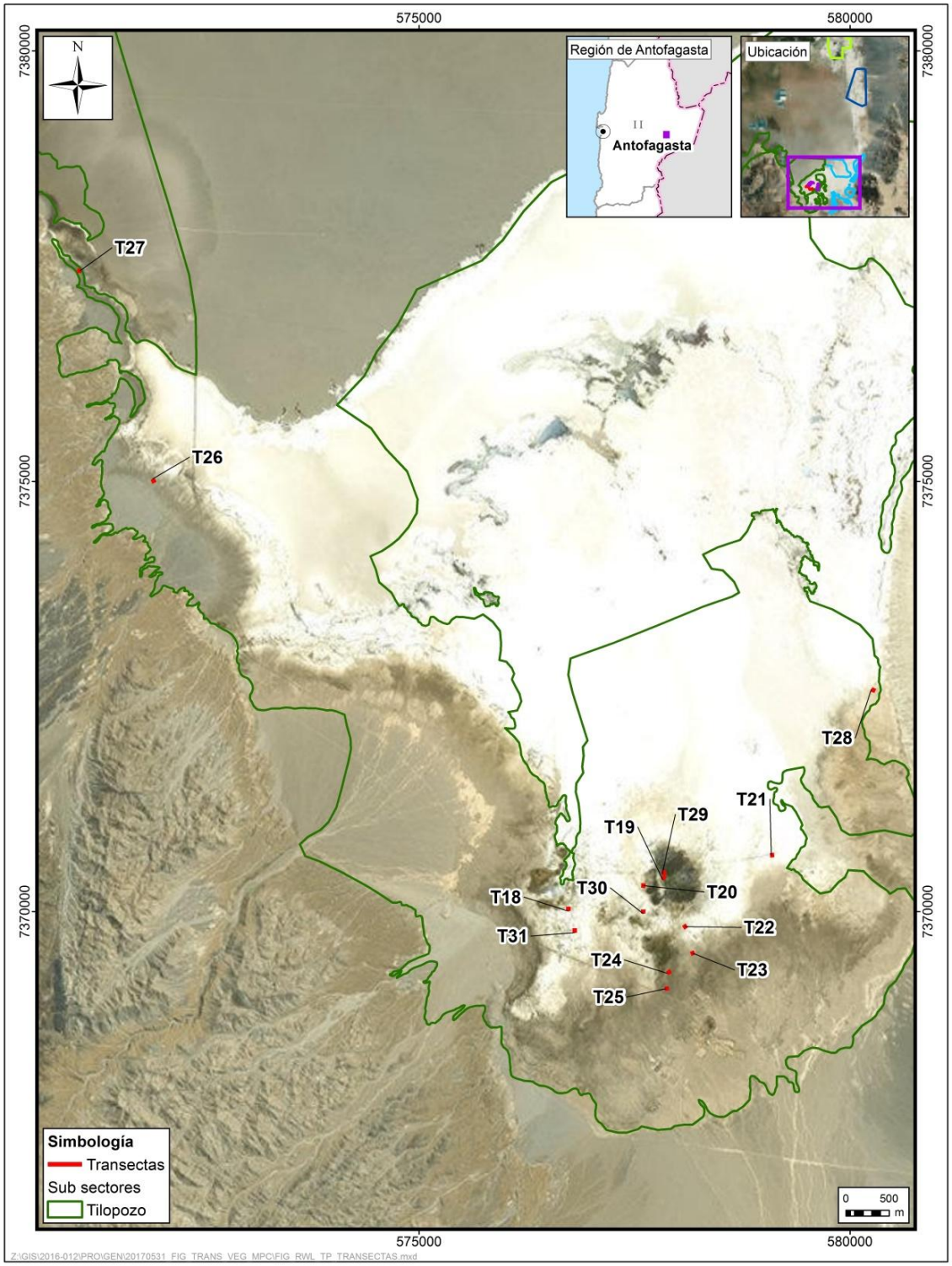
Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-7. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Tilopozo, Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo establecido en el Monitoreo Base 0 (RWL-Cedrem agosto 2016), en el área de estudio existen tanto formaciones vegetales hidrófilas sensibles a la alteración del suministro hídrico (herbazales de *Schoenoplectus californicus* y de *Juncus balticus*), como grandes extensiones de formaciones de especies halófitas (herbazal de *Distichlis spicata* y de *Sarcocornia fruticosa*). En la **Tabla N° 6-15**, se detallan el número de transectas definidas por sector y tipo de formación vegetal.

Tabla N° 6-15. Formaciones vegetales y número de transectas por sector

SECTOR	SUB SECTOR	FORMACIÓN VEGETAL	No DE TRANSECTAS
La Punta-La Brava	Tilopozo	Herbazal de *Distichlis spicata*	6
		Herbazal de *Juncus balticus*	3
		Herbazal de *Schoenoplectus californicus*	2
		Matorral de *Tessaria absinthioides*	3
	Total en subsector Tilopozo		**14**
	La Brava	Herbazal de *Triglochin concinna*	1
	Total en subsector La Brava		**1***
	La Punta	Herbazal de *Juncus balticus*	1
		Herbazal de *Triglochin concinna*	1*
		Matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa)*	1*
	Total en subsector La Punta		**3**
Peine	Peine	Herbazal de *Distichlis spicata*	2
		Herbazal de *Schoenoplectus californicus*	4
		Matorral de *Tessaria absinthioides*	3
	Total en subsector Peine		**9**
Aguas de Quelana	Aguas de Quelana	Matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa)*	3
	Total en sector Aguas de Quelana		**3***
Soncor	Soncor	Área desprovista de vegetación	1
	Total en subsector Soncor		**1***
Total			**31**

***** Transectas de control de la vegetación en sectores de lagunas, identificando su formación vegetal de acuerdo a validación de vegetación realizada en el monitoreo.
Fuente: Elaboración propia

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

En cumplimiento de lo dispuesto por la RCA que aprueba el proyecto, el análisis de datos del presente estudio estuvo orientado a la *caracterización florística* de cada una de las transectas y por sector, en cuanto a parámetros de: *composición, riqueza y cobertura*, respectivamente.

Además de la caracterización florística en las transectas, se analizaron parámetros de seguimiento complementarios, los cuales corresponden a: i) la condición de sustrato salino y/o agua, ii) la vegetación muerta (rastrojo).

6.1.2.3 Materiales y equipos utilizados

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

- Un navegador Garmin 20X ETREX en invierno y verano. Para localizar cada transecta en el área de estudio. Además, se georreferenció con este GPS las coordenadas de inicio y fin en UTM (Universal Transversal de Mercator), en Datum WGS 84 19S, con el fin de confirmar su ubicación.

- Huincha de medir de 50 metros de longitud. Para ubicar los puntos de intercepción a lo largo de la transecta, cada 0,1 m.

- Un formulario para el registro de los componentes de muestreo predichos.

- Cámara fotográfica. Se realizó un registro fotográfico de la formación vegetal, sistematizando la toma fotográfica con tres fotografías en las secciones inicial y final, y cuatro fotografías en la sección central, en cada transecta.

6.1.2.4 Metodología de muestreo

6.1.2.4.1 Aspectos generales

El método utilizado para el muestreo de la vegetación se basa en el **método de Carta de Ocupación de Tierras, en adelante COT**. Esta metodología se utiliza para validar la caracterización de la vegetación, estacionalmente, en los puntos de muestreo de las transectas, con respecto a la caracterización que se realiza a nivel general en el área de estudio con el muestreo de vegetación COT (ver en sección 6.1.1.5).

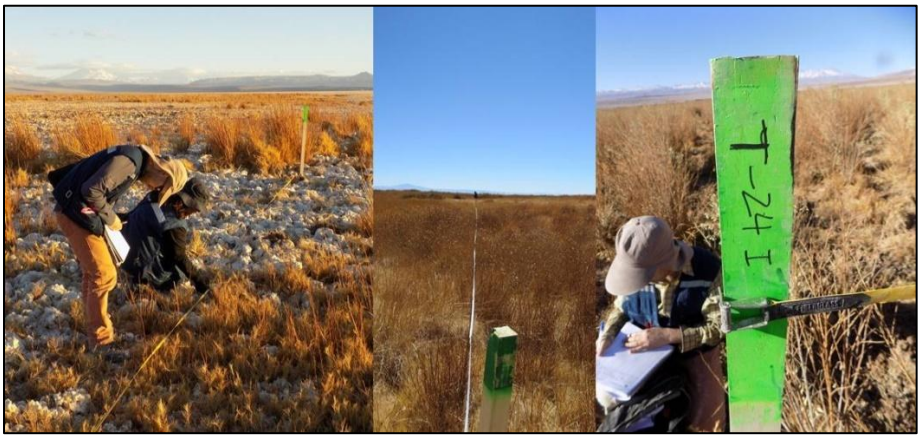
En cuanto a la caracterización de la flora, el **método utilizado fue el de "Intercepto de Puntos"** (ver ficha de terreno tipo en **Anexo Vol.1 Vegetación y Flora**), según lo establecido por el informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016), el cual fue aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL; y el cual determina las transectas y su metodología para la evaluación pre operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

El método de intercepto de puntos en transectos, entrega una estimación de coberturas más precisas que el uso de grillas, para la misma cantidad de puntos muestreados (Blackman, 1935; Goodall, 1952; Greg- Smith, 1983). Por lo anterior, el método de intercepto de puntos, basado en el método “point quadrat”, en este caso corresponde al catastro florístico en puntos separados cada 0,1 metros, a través de transectas lineales de 50 metros de longitud, asumiendo que la probabilidad en que un taxa intercepte la huincha es función de la cobertura (Mueller-Dumbois y Ellemberg 1974). A partir de este método, se pueden calcular parámetros de riqueza y cobertura de especies en cada transecta.

6.1.2.4.2 Trabajo en terreno

El levantamiento de información se realizó en una campaña de terreno, donde se visitó y registró la información de las 31 transectas de monitoreo, de 50 metros de longitud, ubicadas y marcadas durante el Monitoreo Base 0 realizado en etapa de pre-operación del proyecto (RWL-Cedrem agosto 2016) **ver Fotografía N° 6-1.**

Fotografía N° 6-1. Ejemplo de estaca en el punto inicial de las transectas de monitoreo en el área del Salar



Fuente: Elaboración propia

El relevamiento de información en las transectas se realiza en cada campaña estacional, y se divide en tres fases: i) validación de la formación vegetal, ii) registro de características físicas del terreno y iii) la caracterización de la flora.

En primer lugar, se verifica la formación vegetal de la transecta en base a la metodología de la Carta de Ocupación de Tierras (COT) modificada de Etienne & Prado (1982), en base a la caracterización de la vegetación realizada para toda el área de estudio según lo presentado en los resultados de vegetación (COT). En este proceso, se observaron y registraron los siguientes parámetros:

- El estrato biológico dominante (tipo de formación), permitiendo distinguir y clasificar los tipos biológicos presentes en la formación vegetal.

- Las especies dominantes, definidas como aquellas especies que presentan el mayor porcentaje de cobertura,
- La cobertura total de la transecta, que representa la proporción del terreno que es ocupada por la vegetación o por su proyección horizontal, y
- El grado de alteración de la vegetación, a través de un índice, en relación a su condición inicial o natural, y/o de su grado de intervención antrópica. Este grado se determinó visualmente en terreno de acuerdo con los criterios semi-cuantitativos señalados en la **Tabla N° 6-6.**

Paso seguido, se registran las siguientes características físicas del terreno correspondientes a:

- Altitud,
- Orientación de la transecta,
- Fisiografía correspondiente al tipo de sustrato y textura, tales como arcilla, arena, costra salina, terroso, entre otras,
- Contenido de humedad del suelo, según clasificación presentada en la **Tabla N° 6-16**, y
- Porcentaje de afloramiento salino.

Tabla N° 6-16. Contenido de humedad del suelo

CONTENIDO HUMEDAD DEL SUELO	CARACTERÍSTICAS
No saturado	Cuando el suelo no se encuentra en su límite superior de almacenamiento de agua o en su capacidad de campo
Saturado	Cuando el suelo se encuentra en su límite superior de almacenamiento de agua o en su capacidad de campo
Sobresaturado	Cuando el suelo sobrepasa su límite superior de almacenamiento de agua o su capacidad de campo, por lo tanto, se observa un suelo anegado

Fuente: Elaboración propia

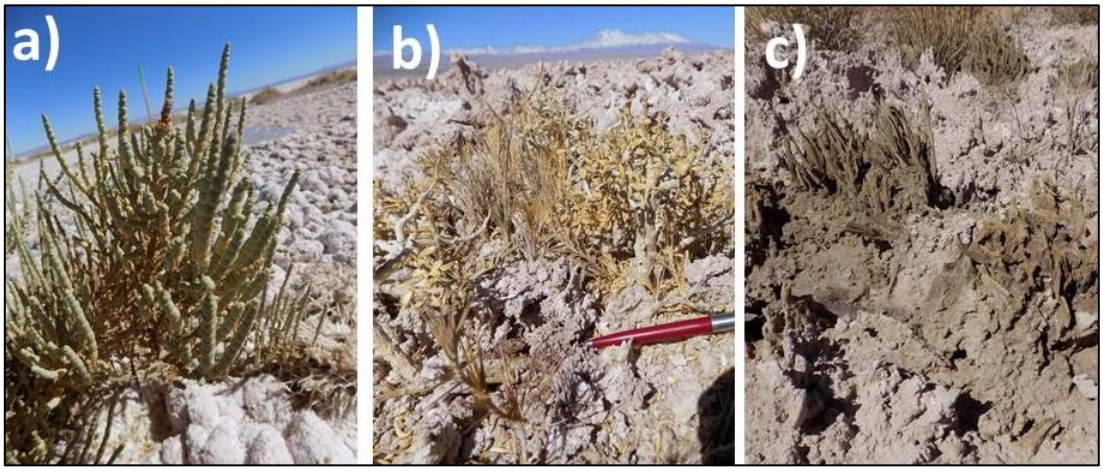
Para el levantamiento de la información, las transectas se marcan utilizando una huincha métrica (**Fotografía N° 6-1**). Seguidamente, se visita cada punto de muestreo y se proyecta una línea perpendicular al suelo, para registrar todos los taxa que se interceptan con esta vertical.

Durante el muestreo de los taxa en cada punto de muestreo, se considera una subdivisión de las especies de flora en relación con su estado fenológico y condición sanitaria, según las siguientes definiciones (**Fotografía N° 6-2**):

- **Vegetación viva:** corresponde a una planta vascular en buen estado, de forma tal que los atributos que la caracterizan como especie son fácilmente apreciables. Cabe señalar que se consideraron también como individuos vivos, a aquellos que se encontraron en estado fenológico latente, es decir secos y con signos que sugirieron la posibilidad de rebrote durante la siguiente estación húmeda.

- **Rastrojo:** restos de una planta vascular (que debido a sus características pueden permitir o no su identificación), que se encuentran secos o en malas condiciones sanitarias y que aparentemente corresponden a un individuo muerto o en descomposición (materia orgánica).

Fotografía N° 6-2. Ejemplos de especies en estado fenológico vigoroso versus especies en estado latente y rastrojos



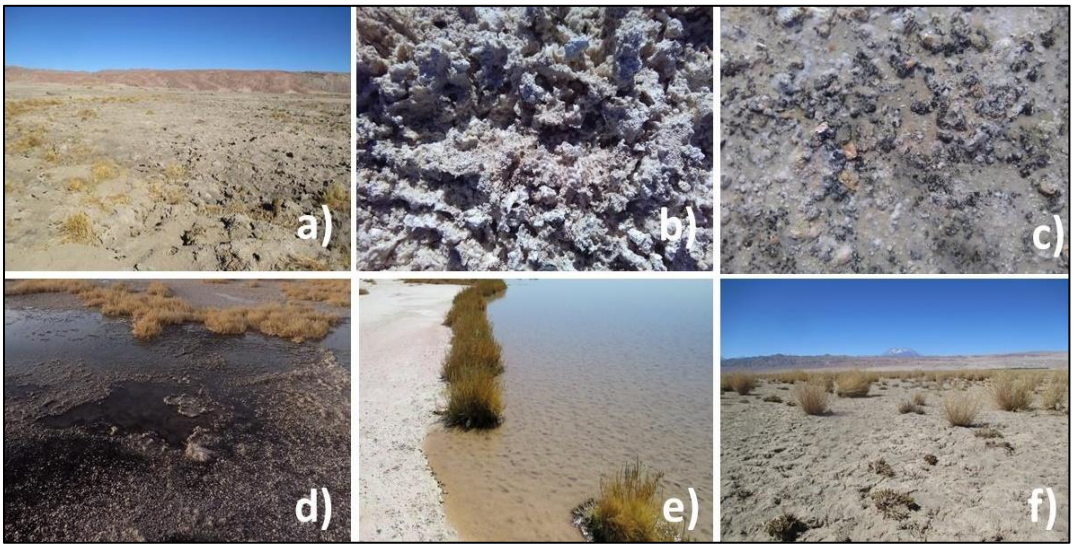
Dónde: a) Vegetación viva en buen estado; b) vegetación viva en estado latente; c) rastrojo.
Fuente: Elaboración propia

Además, en caso de que un punto de muestreo presentase áreas desprovistas de vegetación, se procede a registrar aspectos relacionados con la condición de sustrato (**Fotografía N° 6-3**), como elemento clave para detectar posibles cambios futuros en la unidad vegetal. Se identifican como “otros recubrimientos” para el seguimiento de sus coberturas, correspondientes a las siguientes clases:

- **Costra salina:** corresponde al recubrimiento de suelo con alto contenido salino y que puede identificarse visualmente como afloramiento salino.
- **Costra salina terrosa:** costra salina y con presencia de recubrimiento de suelo el cual presenta textura terrosa.
- **Costra salina saturada:** costra salina con un contenido de humedad que se encuentra en el límite superior de almacenamiento de agua o en su capacidad de campo.

- **Costra salina sobresaturada:** costra salina con un contenido de humedad el cual sobrepasa su límite superior de almacenamiento de agua o su capacidad de campo, por lo tanto, se observa un suelo anegado.
- **Agua superficial:** corresponde al sustrato cuyo contenido de humedad supera su capacidad de almacenamiento, generándose una película de agua sobre la superficie del suelo. Dependiendo de la cantidad de agua, y de la morfología del terreno puede observarse como un cuerpo de agua.
- **Sustrato terroso:** corresponde a sustrato de suelo desnudo en cuya textura se observa un bajo contenido salino y predomina la apariencia de suelo de textura terrosa.

Fotografía N° 6-3. Ejemplos de condiciones de sustrato definidas para el muestreo en áreas desprovistas de vegetación



Dónde: a) costra salina terrosa; b) costra salina; c) costra salina saturada; d) costra salina sobresaturada; e) agua superficial o cuerpo de agua; f) sustrato terroso.
Fuente: Elaboración propia.

En cada transecta se georreferencia con GPS sus coordenadas[17] de inicio y fin en Datum WGS 84 Huso 19S y se mantiene un registro fotográfico de la formación vegetal.

6.1.2.5 Metodología de cálculo y análisis

Toda la información recogida en el muestreo es ordenada y almacenada digitalmente en una base de datos de consulta. Dado que el análisis es dependiente de la identificación florística, se realiza una revisión de las muestras botánicas colectadas y de las especies registradas y fotografiadas, para asegurar su identificación taxonómica.

[17] UTM (Universal Transversal de Mercator)

Posteriormente, se desarrolló un trabajo de revisión y sistematización de la información (**Anexo Vegetación y Flora**), comparando la información proveniente de los formularios, con los registros preexistentes de las formaciones vegetales y de la flora con nombres científicos verificados, y las fotografías de terreno. Esto, en conjunto con las observaciones provenientes de terreno, permite validar o reclasificar cuando fue necesario, las distintas formaciones vegetales y composición florística de cada transecta.

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

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

- **Porcentaje de cobertura absoluta de una especie de la transecta ($\mathbf{Casp}$)**

$$\mathrm{Casp} = \frac{\mathrm{n_{sp}} \times 100}{\mathrm{Npi}} = \frac{\mathrm{n_{sp}} \times 100}{500}$$

Donde:
$\mathrm{n_{sp}}$ = Representa el número total de veces que una misma especie intercepta la huincha en los puntos establecidos en una transecta.
Npi= Representa el número de puntos de intercepción establecidos a lo largo de la transecta.

- **Porcentaje de cobertura absoluta de las especies de la transecta ($\mathbf{Cat}$)**

$$\mathrm{Cat} = \sum \mathrm{Casp}$$

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

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

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

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

- **Promedio de la cobertura absoluta del subsector ($\mathbf{CaSEC}$)**

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

Donde:
$\sum Cat$= Representa la suma de los porcentajes de cobertura absoluta de todos las transectas de un subsector.
NT= Corresponde al número de transectas realizadas en el subsector.

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

El Monitoreo 17 (M17) de invierno 2024 se llevó a cabo en una campaña de terreno, tanto para el levantamiento y validación COT y transectas de flora, ejecutada entre los días 17 y 23 de agosto de 2024.

El Monitoreo 18 (M18) de verano 2025 se llevó a cabo en una campaña de terreno, tanto para el levantamiento y validación COT y transectas de flora, ejecutada entre los días 08 y 15 de abril de 2025.

6.1.3 DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL – MÉTODO DE IMÁGENES SATELITALES - NDVI

Para el seguimiento de la distribución y cobertura de la vegetación azonal, se utilizan imágenes satelitales de alta resolución espacial, según lo establecido en la Adenda 5 RWL (2015), Apéndice B, para monitorear las coberturas vegetacionales (superficie) en base a la vegetación activa de cada formación determinada en la COT, y su grado de vigorosidad. Este monitoreo se realiza en el periodo posterior a las precipitaciones estivales (marzo – abril), con el fin de captar posibles expresiones secundarias o remanentes de actividad vegetativa asociadas a condiciones hídricas.

La superficie de la cobertura vegetal activa se calcula a partir del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI, por su sigla en inglés), siendo éste el establecido en el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, y constituyendo el índice más utilizado en los análisis de vegetación mediante imágenes satelitales.

6.1.3.1 Descripción del área de estudio

Para el seguimiento de la “distribución y cobertura de la vegetación azonal – NDVI” se utilizan imágenes satelitales de alta resolución espacial, según lo establece el Anexo 2, Adenda 5 RWL (2015), para monitorear las coberturas vegetacionales en base a su vegetación activa y su grado de vigorosidad; esto se lleva a cabo durante la temporada de crecimiento de la vegetación, tanto en el periodo posterior a las precipitaciones estivales como en invierno, con el objetivo de capturar distintas expresiones fenológicas asociadas a la disponibilidad hídrica.

La distribución y superficie de las formaciones sujetas a seguimiento está determinada por la carta de ocupación de tierras (COT), en su última actualización disponible para el área. En este caso particular, se considera como marco para la determinación de la vegetación

activa la COT correspondiente a verano 2025, siendo la versión actualizada del mapeo de vegetación del área de estudio, en cuanto a distribución y superficie de las formaciones vegetales.

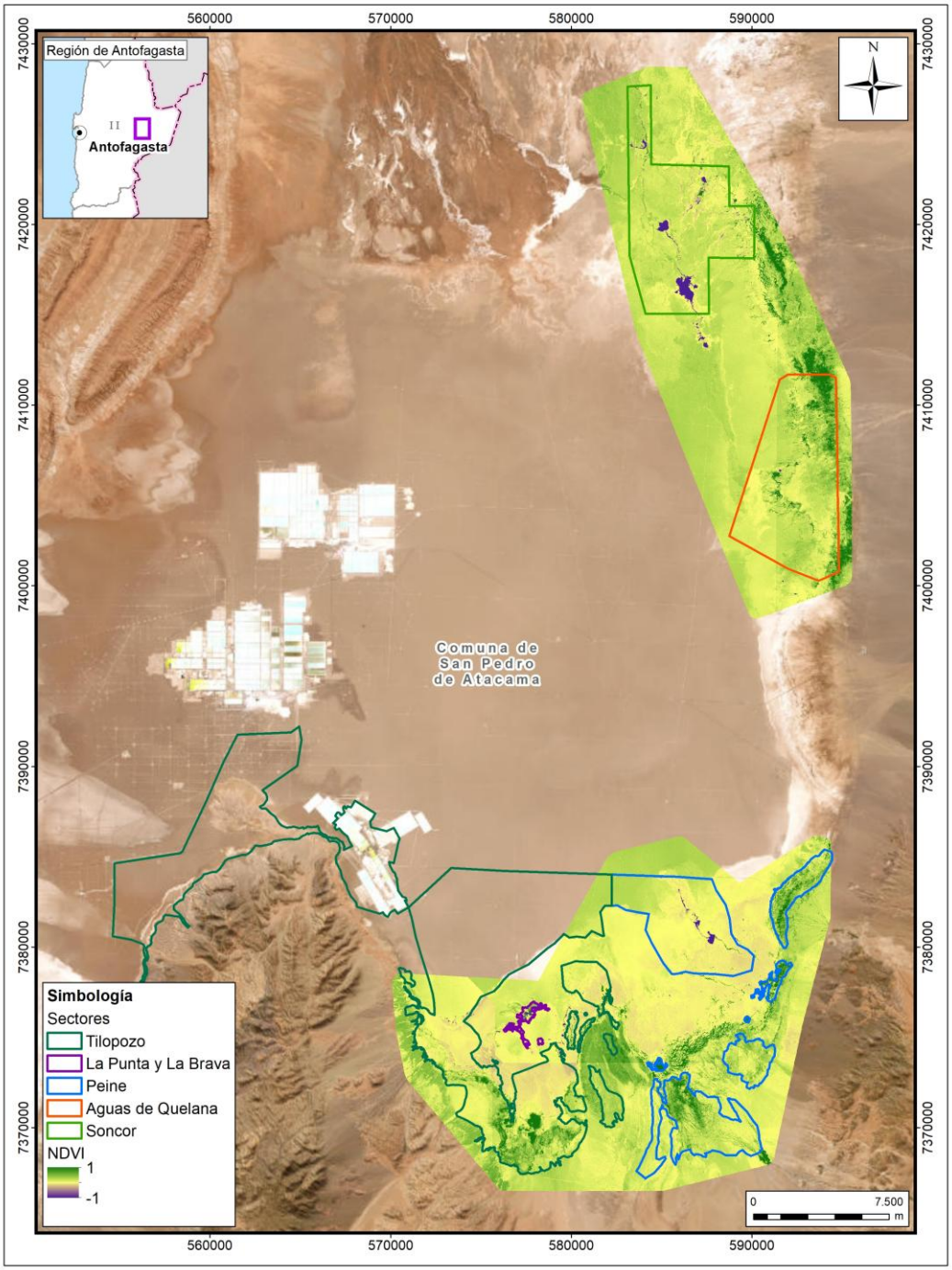
Cabe señalar que, en términos generales, la Carta de Ocupación de Tierras (COT) ha mantenido una estabilidad interanual en cuanto a la ubicación y superficie de las formaciones vegetales en seguimiento. Por lo tanto, dicha carta se utiliza como referencia espacial constante para el análisis NDVI, sin verse afectada por las variaciones estacionales en la cobertura vegetal. En este contexto, la COT únicamente define la localización y extensión de cada formación, sin incorporar dinámicas fenológicas asociadas a la estacionalidad.

La superficie de la cobertura vegetal activa se calcula a partir del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI, por su sigla en inglés), siendo éste el establecido en el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, y constituyendo el índice más utilizado en los análisis de vegetación mediante imágenes satelitales.

6.1.3.2 Ubicación de sectores para la medición

La obtención de los valores de NDVI se realiza en un área congruente con la superficie de la Carta de Ocupación de Tierras (COT – verano 2025; Ver **Anexo Vegetación y Flora: Cartografía COT (verano 2025)**) del Proyecto, que representa la vegetación zonal y azonal en cinco sectores del Salar en la campaña de verano de 2025: (i) Tilopozo, (ii) La Punta y La Brava, (iii) Peine, (iv) Aguas de Quelana y (v) Soncor (**Figura N° 6-8**). Para fines de seguimiento en terreno y de comparación con la COT, el sector “Tilopozo” indicado en el Apéndice B (Adenda 5 RWL, 2015), se desagrupó en “Tilopozo – La Punta y La Brava”.

Figura N° 6-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia.

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

El presente análisis se basa en el seguimiento de las superficies de vegetación activa, estimadas a partir del índice NDVI por sector, mediante imágenes satelitales de alta resolución, en cumplimiento de lo dispuesto en la Adenda 5 y en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) que aprueba el proyecto.

El análisis comparativo se realiza considerando las superficies de vegetación activa por sector de estudio, evaluando sus variaciones respecto de los valores mínimos y máximos históricos establecidos durante la línea de base, los cuales corresponden al Plan de Manejo Biológico (PMB) (Tabla 5.3 del Apéndice B del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015).

La cobertura de vegetación activa se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado (NDVI por su sigla en inglés)**, siendo éste el más usado en los análisis de la vegetación mediante imágenes satelitales.

La cobertura de vegetación activa se calcula utilizando el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI, por su sigla en inglés), uno de los indicadores más utilizados para el análisis de vegetación mediante imágenes satelitales. Este índice se obtiene a partir de la comparación entre las bandas espectrales del rojo (R) y del infrarrojo cercano (NIR) de imágenes multiespectrales de alta resolución, mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Donde:

NIR Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano (Banda 4), y

R Reflectancia en el rojo (Banda 3).

El NDVI permite estimar la densidad y vigor de la vegetación verde, con una resolución equivalente al tamaño del píxel de la imagen utilizada. Los valores del índice varían entre -1 y 1, siendo los valores positivos indicativos de cobertura vegetal. A mayor valor de NDVI, mayor fracción de radiación fotosintéticamente activa es absorbida por los tejidos verdes, lo que se asocia a mayor biomasa y vigor vegetativo.

Para representar adecuadamente el patrón de distribución espacial de la vegetación activa, se definieron umbrales específicos de NDVI para cada una de las formaciones vegetales descritas en la Carta de Ocupación de Tierras (COT), considerando su sector de ubicación y tipo de cobertura vegetal.

Estos umbrales fueron determinados mediante el método de clasificación por cuantiles en ArcGIS, aplicado sobre los polígonos definidos en la COT, utilizando como referencia la más actual disponible (verano 2025). Este método permite agrupar los valores del índice NDVI y establecer el umbral a partir del cual se representa con mayor ajuste la expresión de vegetación activa. Para este propósito, se consideró como representativo el 75% superior de los valores del índice (> q75%), el cual corresponde a las áreas con vegetación más vigorosa.

6.1.3.4 Materiales y equipos utilizados

Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio provienen del sensor Pleiades-1A y 1B, compuesto de un mosaico del sector sur, correspondiente a sector Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo y un mosaico del sector norte, correspondiente a los sectores Aguas de Quelana y Soncor (**Figura N° 6-9**).

La selección de este tipo de imágenes se debe a que sus características permiten contar con la resolución espacial adecuada para la cartografía detallada, y de precisión (Pancromática, 50 cm; Multiespectral, 2 m).

El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales con resolución de 2 m (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente. Las principales características del sensor se describen en la **Tabla N° 6-17** y en el **Anexo Vegetación y Flora** de las imágenes analizadas.

Tabla N° 6-17. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A-1B

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

Fuente: http://www.satimagingcorp.com

6.1.3.5 Metodología de cálculo y análisis

En una primera fase de este proceso, las imágenes de alta resolución Pleiades, 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 / (m2 *sr *µm))[18]. 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 en las imágenes de alta resolución (Pleiades). 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.

A continuación, las imágenes son ortorrectificadas a modo de eliminar las distorsiones geométricas, producto de imperfecciones del sensor, la curvatura de la tierra y los efectos locales del relieve. Finalmente, las imágenes fueron unidas conformando mosaicos dentro del área de estudio (polígono norte y polígonos sur en **Figura N° 6-9**).

En la segunda fase, durante el post - procesamiento de las imágenes satelitales, se calcula el índice NDVI (ver detalles de este índice espectral en la **sección 6.1.3.3**) y luego se establecen los valores del umbral de NDVI a partir del cual se determina la vigorosidad de la vegetación al interior de cada formación vegetal, determinándose los sectores de mayor actividad.

[18] Dónde: W: Watts; m^2: metro cuadrado; sr: estereorradián; µm: micrómetro.

La definición de los umbrales del NDVI se realizó para cada una de las formaciones vegetales descritas en la Carta de Ocupación de Tierras (COT), considerando su sector de ubicación y tipo de cobertura vegetal, con el objetivo de representar adecuadamente el patrón de distribución espacial de la vegetación activa.

Siguiendo dicho patrón, los umbrales se calcularon mediante la clasificación por cuantiles, aplicados sobre los polígonos definidos en la COT y considerando la cobertura vegetal más actual disponible (verano 2025). Para este análisis, se utilizó como criterio de clasificación el 75% superior de los valores del índice NDVI (> q75%), representando las áreas con vegetación más vigorosa. El criterio se mantiene tanto para las imágenes correspondientes a inviernos como a los veranos post lluvia.

En la **Tabla N° 6-18** se observan los valores de los umbrales definidos para la clasificación de la vegetación activa durante el periodo 2021–2025. Cabe señalar que, en aquellos casos en que la tabla no presenta un valor de umbral NDVI para determinada formación vegetal en un año específico, ello se debe a que la cobertura y la cantidad de polígonos que describen dicha formación variaron respecto de años anteriores o posteriores. Estos cambios están asociados a ajustes en la delimitación o expresión superficial de las formaciones vegetales, lo que se traduce en variaciones en la tipología de los recubrimientos y en la denominación asignada a los polígonos que los representan.

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

La captura de imágenes de alta resolución Pleiades 1-A se realizó con fecha **10 de abril de 2025** y una segunda toma el **11 de abril de 2025** en el mosaico sur (en detalle **metadata imágenes satelitales en Anexo Vegetación y Flora)**.

Tabla N° 6-18. Umbrales de NDVI por formación vegetal y sector de monitoreo, seguimientos de verano

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA – VERANOS								
				NDVI 2017	NDVI 2018	NDVI 2019	NDVI 2020	NDVI 2021	NDVI 2022	NDVI 2023	NDVI 2024	NDVI 2025
Tilopozo - La Punta y La Brava	Zonal	Matorrales	Matorral de *Ephedra breana* (T)	>0,117	>0,272	>0,072	>0,135	>0,100	>0,094	>0,102	>0,055	>0,065
			Matorral de *Tessaria absinthioides* (T)	>0,157	>0,349	>0,099	>0,192	>0,128	>0,126	>0,123	>0,089	>0,092
	Azonal	Humedales	Vega de *Distichlis spicata* (LPLB)					>0,107	>0,099	>0,093	>0,028	>0,075
			Vega de *Distichlis spicata* (T)	>0,208	>0,355	>0,148	>0,110	>0,107	>0,104	>0,093	>0,067	>0,075
			Vega de *Distichlis spicata* y *Baccharis juncea* (T)	>0,208	>0,217	>0,111	>0,150	>0,107	>0,106	>0,218	>0,081	>0,108
			Vega de *Schoenoplectus californicus, Baccharis juncea y Distichlis spicata* (T)	>0,214	>0,503	>0,289	>0,294	>0,154	>0,150	>0,251	>0,244	>0,276
			Vega de *Distichlis spicata*, *Schoenoplectus californicus y Phragmites australis* (T)	>0,145	>0,196	>0,102	>0,133	>0,099	>0,108	>0,093	>0,074	>0,103
			Vega de *Juncus balticus* (T)	>0,116	>0,160	>0,105	>0,161	>0,104	>0,097	>0,084	>0,053	>0,064
			Vega de *Juncus balticus* y *Distichlis spicata* (T)	>0,116	>0,232	>0,114	>0,132	>0,107	>0,096	>0,103	>0,148	>0,134
			Vega de *Nitrophila atacamensis* y *Distichlis spicata* (T)	>0,208	>0,355	>0,148	>0,141	>0,107	>0,104	>0,054	>0,042	>0,034
			Vega de *Nitrophila atacamensis y Triglochin concinna* (LPLB)	>0,141	>0,106	>0,056	>0,105	>0,051	>0,053	>0,057	>0,024	>0,056
			Vega de *Nitrophila atacamensis, Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna* (LPLB)	>0,286	>0,349	>0,102	>0,000	>0,051	>0,053	>0,057	>0,04	>0,063
			Vega de *Schoenoplectus californicus* (T)	>0,214	>0,276	>0,136	>0,190	>0,134	>0,135	>0,229	>0,341	>0,312
			Vega de *Schoenoplectus californicus* y *Distichlis spicata* (T)	>0,214	>0,503	>0,289	>0,294	>0,122	>0,127	>0,204	>0,396	>0,361
			Vega de *Schoenoplectus californicus*	>0,214	>0,276	>0,136	>0,190	>0,154	>0,124	>0,219	>0,238	>0,316
			Vega de *Triglochin concinna* (T)	>0,141	>0,157	>0,102	>0,150	>0,092	>0,084	>0,057	>0,043	>0,035
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* (T)	>0,140	>0,337	>0,121	>0,107	>0,103	>0,103	>0,110	>0,087	>0,094
			Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile* y *Distichlis spicata* (T)	>0,163	>0,297	>0,092	>0,151	>0,111	>0,106	>0,078	>0,058	>0,059
			Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile* y *Juncus balticus* (T)	>0,142	>0,202	>0,094	>0,177	>0,102	>0,097	>0,083	>0,063	>0,058
			Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile, Distichlis spicata* y *Schoenoplectus californicus* (T)	>0,144	>0,229	>0,143	>0,162	>0,145	>0,138	>0,124	>0,107	>0,116
			Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile, Juncus balticus* y *Distichlis spicata* (T)	>0,183	>0,301	>0,147	>0,178	>0,126	>0,116	>0,075	>0,075	>0,078

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA – VERANOS								
				NDVI 2017	NDVI 2018	NDVI 2019	NDVI 2020	NDVI 2021	NDVI 2022	NDVI 2023	NDVI 2024	NDVI 2025
			Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile, Juncus balticus* y *Schoenoplectus californicus* (T)	>0,177	>0,226	>0,155	>0,171	>0,144	>0,129	>0,133	>0,111	>0,121
			Matorral hídrico de *Sarcocornia fruticosa* (T)	>0,150	>0,000	>0,084	>0,108	-	-	>0,109	>0,096	>0,075
			Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa* y *Triglochin concinna* (LPLB)	>0,111	>0,142	>0,060	>0,142	>0,110	>0,096	>0,076	>0,037	>0,067
			Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa y Triglochin concinna* (T)	>0,141	>0,157	>0,102	>0,113	>0,114	>0,092	>0,065	>0,037	>0,067
			Matorral hídrico de *Lycium humile* (T)	>0,098	>0,138	>0,084	>0,109	>0,094	>0,097	>0,075	>0,051	>0,062
			Matorral hídrico de *Sarcocornia fruticosa* y *Puccinelia frigida* (LPLB)	>0,150	>0,219	>0,106	>0,140	>0,100	>0,125	>0,083	>0,058	>0,083
Peine	Zonal	Matorrales	Matorral de *Adesmia imbricata*	>0,106	>0,191	>0,087	>0,138	>0,089	>0,086	>0,078	>0,04	>0,054
			Matorral de *Aloysia deserticola* y *Adesmia imbricata*	>0,127	>0,172	>0,080	>0,153	>0,088	>0,085	>0,074	>0,045	>0,055
			Matorral de *Aloysia deserticola* y *Atriplex atacamensis*	>0,120	>0,176	>0,080	>0,146	>0,077	>0,079	>0,065	>0,04	>0,05
			Matorral de *Atriplex atacamensis*	>0,112	>0,194	>0,112	>0,140	>0,080	>0,083	>0,099	>0,05	>0,057
			Matorral de *Tessaria absinthioides*	>0,157	>0,349	>0,099	>0,163	>0,126	>0,123	>0,123	>0,089	>0,092
			Matorral de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*	>0,157	>0,239	>0,088	>0,158	>0,106	>0,101	>0,093	>0,064	>0,067
	Azonal	Humedales	Vega de *Distichlis spicata*	>0,208	>0,355	>0,148	0,137	>0,128	>0,111	>0,093	>0,169	>0,075
			Vega de *Distichlis spicata* y *Baccharis juncea*	>0,208	>0,217	>0,111	>0,150	>0,115	>0,152	>0,218	>0,081 >0,244	>0,108
			Vega de *Schoenoplectus californicus* y *Baccharis juncea*	>0,214	>0,624	>0,397	>0,358	>0,157	>0,201	>0,300	>0,251	>0,316
			Vega de *Schoenoplectus californicus*	>0,214	>0,276	>0,136	>0,190	>0,177	>0,177	>0,219	>0,238	>0,312
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*	>0,140	>0,337	>0,121	>0,174	>0,114	>0,114	>0,110	>0,087	>0,094
			Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa y Distichlis spicata*	>0,150	>0,234	>0,221	>0,136	>0,169	>0,169	>0,146	>0,159	>0,229
			Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile y Distichlis spicata*	>0,163	>0,297	>0,092	>0,141	>0,085	>0,080	>0,079	>0,058	>0,059
Aguas de Quelana	Zonal	Matorrales	Matorral de *Tessaria absinthioides*	>0,157	>0,349	>0,099	>0,081	>0,073	>0,076	>0,099	>0,054	>0,096
			Matorral de *Tessaria absinthioides* y *Lycium humile*	>0,208	>0,091	>0,092	>0,083	>0,086	>0,085	>0,095	>0,065	>0,103

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA – VERANOS								
				NDVI 2017	NDVI 2018	NDVI 2019	NDVI 2020	NDVI 2021	NDVI 2022	NDVI 2023	NDVI 2024	NDVI 2025
	Azonal	Humedales	Vega de *Distichlis spicata*	>0,208	>0,355	>0,148	>0,141	>0,086	>0,082	>0,096	>0,062	>0,096
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*	>0,140	>0,337	>0,121	>0,182	>0,109	>0,111	>0,126	>0,089	>0,114
			Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa* y *Nitrophila atacamensis*	>0,150	>0,000	>0,063	>0,100	>0,081	>0,096	>0,092	>0,022	>0,076
			Matorral hídrico de *Sarcocornia fruticosa*	>0,150	>0,000	>0,084	>0,108	>0,113	>0,116	>0,092	>0,04	>0,072
Soncor	Azonal	Humedales	Vega de *Distichlis spicata*	>0,208	>0,355	>0,148	>0,166	>0,130	>0,133	>0,096	>0,062	>0,096
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*	>0,140	>0,337	>0,121	>0,179	>0,146	>0,144	>0,126	>0,089	>0,114

*Umbrales de corte del parámetro NDVI, para determinación de vegetación activa/no activa y su relación con umbrales previos (2016 – 2024). Método de clasificación basado en cuantiles para la determinación del percentil 75% (>q75%). Fuente: Elaboración propia.

6.2 RESULTADOS

6.2.1 RESULTADOS COBERTURA Y VEGETACIÓN (COT)

6.2.1.1 Resultados del muestreo campaña de invierno de 2024

6.2.1.1.1 Caracterización de la vegetación en el área de estudio

De acuerdo con lo observado en invierno 2024, no se han presentado mayores modificaciones en la descripción y delimitación de la COT, en relación con el monitoreo de verano de 2017 en adelante (post ajuste metodológico), dando como resultado superficies similares en los distintos tipos de recubrimiento, mostrando una estabilidad a la escala de la COT en las formaciones vegetales.

Lo anterior, se traduce en una validación de la COT, que se presenta dada la necesidad de una actualización en las denominaciones de las formaciones vegetales en términos de la dominancia de las especies y también por el ajuste y afinación de la COT generada en la línea de base del Proyecto (2015), para poder ser utilizada en los procesos del seguimiento de la COT y de los cálculos de superficie activa mediante el análisis de NDVI. El monitoreo de invierno 2024 (**Tabla N° 6-19**), se mantiene la identificación de los tres tipos de recubrimiento de suelo en la COT, entre los cuales está la superficie sin vegetación (otros recubrimientos) equivalente a un 78,1% de la superficie del área de estudio. La cobertura vegetal se extiende, así, en una superficie de 7.233,0 hectáreas equivalentes a 21,9% del área de estudio, estando representada en un 8,7% por vegetación zonal y en un 13,2% por vegetación azonal. Dentro de los tipos de formaciones, se identificaron cinco formaciones de matorrales zonales, clasificadas según dominancia (ocho formaciones vegetales en total); siete formaciones vegetales azonales de humedal, clasificadas de acuerdo a la dominancia de sus especies (15 formaciones en total); y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral - vega, y cuatro de matorral hídrico - vega, agrupadas según la dominancia de sus especies (12 formaciones en total). El total de formaciones vegetales indicadas se puede observar en detalle en el Anexo de **Vegetación y flora: Cartografía COT (Invierno 2024)**.

Entre las formaciones más representativas de la vegetación zonal, destacan los matorrales zonales de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.625,1 hectáreas (4,9% del área de estudio) y los de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector de Peine (**Figura N° 6-11**). Por otra parte, en la vegetación azonal de humedales, son más representativas las formaciones de vega de *Distichlis spicata* con 952,3 hectáreas (2,9%) y las vegas de *Juncus balticus* con 170,9 hectáreas (0,5%), ambas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo (**Figura N° 6-10**). En el caso de la vegetación azonal mixta, las formaciones más representativas corresponden al matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, con una superficie de 2.159,7 (6,5%), distribuida de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas

de Quelana; y el matorral hídrico con dominancia de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa),* con una superficie de 527,0 ha (1,6%), distribuida principalmente en el sector Aguas de Quelana.

En la **Tabla N° 6-19** se presentan los distintos recubrimientos de suelo y formaciones vegetales presentes en el área de estudio, su representatividad en función de las unidades cartográficas (UC-polígonos) y la superficie ocupada por cada uno, junto con su representatividad.

De acuerdo al proceso de mejoramiento de la COT para la descripción de la vegetación, en la **Tabla N° 6-20,** se presenta un resumen de las coberturas y alturas de los estratos vegetales y las especies dominantes para cada formación vegetal.

Como se observa en la **Tabla N° 6-19**, la formación con mayor cantidad de unidades corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (47 unidades), las cuales presentan una cobertura muy escasa en su estrato arbustivo, y una variación de cobertura vegetal de escasa a densa (5% a 90%) en su estrato herbáceo (**Tabla N° 6-20**). En contraste, cinco formaciones vegetales están representadas por solo una unidad cartográfica.

Particularmente en Soncor, durante el proceso de actualización de la COT, se realizó la delimitación de la vegetación según este método, dado que durante la línea base (Adenda 5 RWL, 2015) este sector se reportó como “Área Soncor”. A partir de esto, en el sector destaca la principal ocupación de áreas desprovistas de vegetación con 4.760,4 hectáreas y de cuerpos de agua con 233,1 hectáreas (99,5% del sector), mientras que en la superficie restante existen formaciones vegetales azonales (0,5%; 24,8 hectáreas) que se encuentran en el borde Este del polígono del sector, alejados del sistema de cuerpos lagunares del área, con cinco unidades de vega y una unidad de matorral-vega. Los resultados en detalle se pueden revisar en los anexos cartográficos de invierno 2024, en Anexo **Vegetación y flora: Cartografía COT (Invierno 2024)**.

Tabla N° 6-19. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2024

TIPO DE RECUBRIMIENTO *RECUBRIMIENTO DE SUELO*	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
Tipo de formación o recubrimiento *Formación vegetal*	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
OTROS RECUBRIMIENTOS	**14.410,1**	**59,2**	**2.936,0**	**3.438,3**	**4.993,5**	**98**	**25.837,1**	**78,1**
ÁREAS DESPROVISTAS DE VEGETACIÓN	**13.089,1**	**19,4**	**2.845,6**	**3.410,1**	**4.760,4**	**54**	**24.124,4**	**72,9**
Salares	12.474,5	19,4	2.688,5	3.410,1	4.760,4	37	23.352,9	70,6
Áreas denudadas	614,5		157,0			17	771,5	2,3
ÁREAS INDUSTRIALES	**1.245,2**					**4**	**1.245,2**	**3,8**
Centros industriales	1.198,1					1	1.198,1	3,6
Suelos removidos	47,1					3	47,1	0,1
CUERPOS DE AGUA	**75,9**	**39,8**	**90,5**	**28,2**	**233,1**	**40**	**467,5**	**1,4**
Lagunas	75,9	39,8	90,5	28,2	233,1	40	467,5	1,4
VEGETACIÓN ZONAL	**581,2**		**2.181,0**	**114,8**		**29**	**2.876,9**	**8,7**
Matorrales	**581,2**		**2.181,0**	**114,8**		**29**	**2.876,9**	**8,7**
Matorral con dominancia de Aa			*542,8*			*2*	*542,8*	*1,6*
Matorral con dominancia de Ad			*69,5*			*2*	*69,5*	*0,2*
Matorral con dominancia de Eb	*491,1*					*9*	*491,1*	*1,5*
Matorral con dominancia de Tb	*90,1*		*1.420,2*	*114,8*		*15*	*1.625,1*	*4,9*
Matorral de Ai			*148,5*			*1*	*148,5*	*0,4*
VEGETACIÓN AZONAL	**2.062,8**	**59,3**	**808,0**	**1.401,1**	**24,8**	**117**	**4.356,0**	**13,2**
Humedales	**964,0**	**4,6**	**108,3**	**203,9**	**16,9**	**78**	**1.297,8**	**3,9**
Vega con dominancia de dp	*638,6*	*2,3*	*90,6*	*203,9*	*16,9*	*47*	*952,3*	*2,9*
Vega con dominancia de jb	*170,9*					*7*	*170,9*	*0,5*
Vega con dominancia de nia	*27,0*	*2,4*				*3*	*29,4*	*0,1*
Vega con dominancia de sca	*62,4*		*14,5*			*18*	*76,9*	*0,2*
Vega con dominancia de bj			*3,2*			*1*	*3,2*	*0,01*
Vega de tc	*22,6*					*1*	*22,6*	*0,1*

TIPO DE RECUBRIMIENTO ***RECUBRIMIENTO DE SUELO***	**SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)**					**TOTAL**		
Tipo de formación o recubrimiento *Formación vegetal*	**Tilopozo**	**La Punta y La Brava**	**Peine**	**Aguas de Quelana**	**Soncor**	**UC**	**ha**	**%**
Vega de ph dp	*42,5*					*1*	*42,5*	*0,1*
Matorral - Humedal	**1.098,8**	**54,7**	**699,7**	**1.197,2**	**7,8**	**39**	**3.058,3**	**9,2**
Matorral - Vega de Tb dp	*808,6*		*687,4*	*655,9*	*7,8*	*11*	*2.159,7*	*6,5*
Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb	*135,6*					*3*	*135,6*	*0,4*
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh	*87,5*		*3,4*			*7*	*90,9*	*0,3*
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sn	*13,1*	*41,1*	*8,9*	*18,8*		*6*	*81,9*	*0,2*
Matorral hídrico - Vega con dominancia de tc		*13,6*				*1*	*13,6*	*0,04*
Matorral hídrico con dominancia de Lh	*49,6*					*3*	*49,6*	*0,2*
Matorral hídrico con dominancia de Sn	*4,4*			*522,6*		*8*	*527,0*	*1,6*
Total general (ha)	**17.054,1**	**118,5**	**5.925,0**	**4.954,2**	**5.018,2**	**241**	**33.070,1**	**100,0**
Total general (%)	**51,6**	**0,4**	**17,9**	**15,0**	**15,2**	**100**		

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

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6-20. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2024

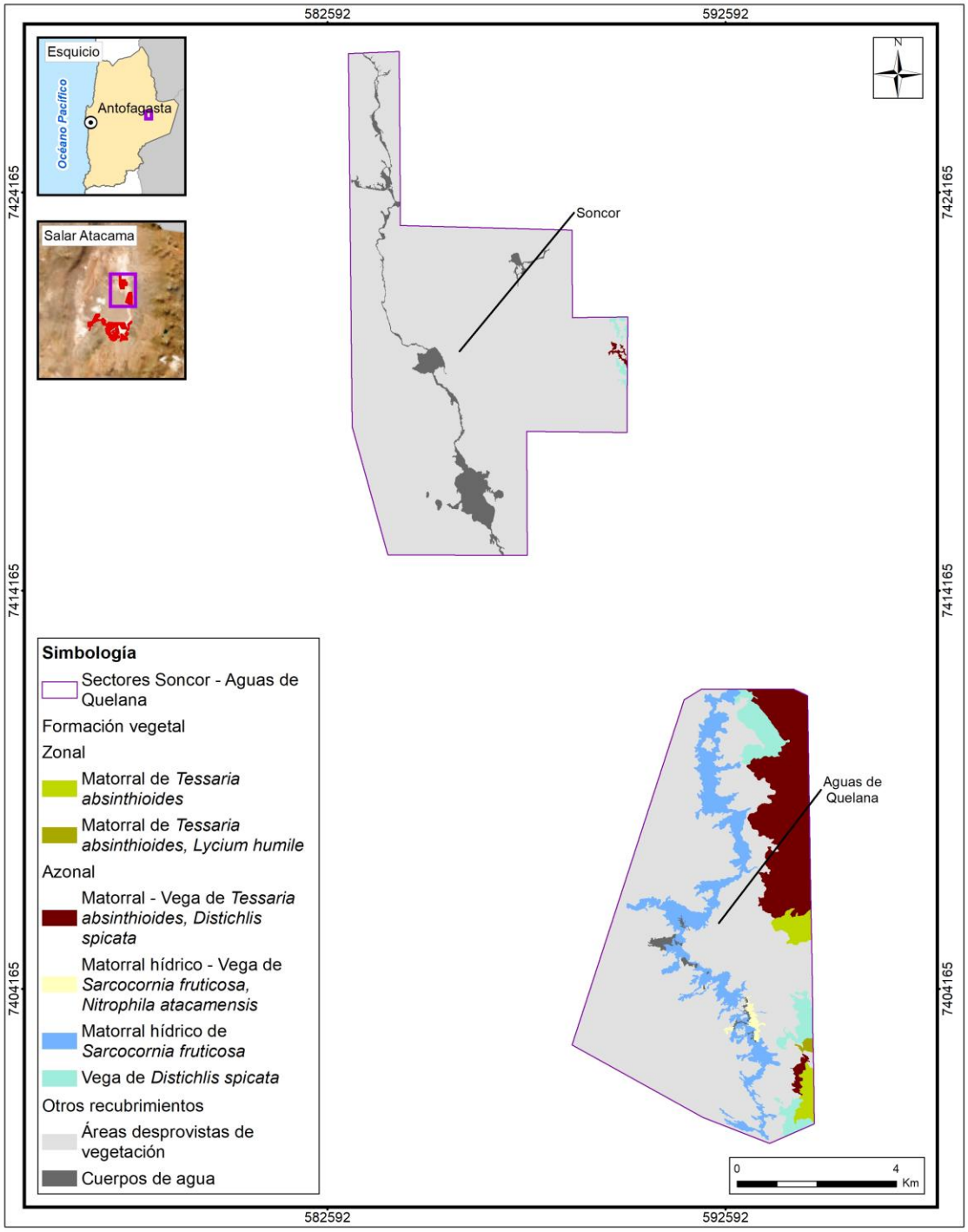
RECUBRIMIENTO DE SUELO	Especies dominantes	Altura vegetal		Cobertura vegetal	
Formación vegetal		LB	H	LB	H
VEGETACIÓN ZONAL					
MATORRALES					
Matorral con dominancia de Aa	Aa cid Tt	(2-5)	2	(3-4)	4
Matorral con dominancia de Ad	Ad Aa Ai cis cid	4(4-5)	1(1-2)	3	4
Matorral con dominancia de Eb	Eb dp	4(3-5)	2	2(2-3)	2
Matorral con dominancia de Tb	Tb Aa Lh	4(2-5)	2	3(2-5)	1
Matorral de Ai	Ai cid	3	3	3	2
VEGETACIÓN AZONAL					
HUMEDALES					
Vega con dominancia de dp	dp bj jb sca	2	2(2-5)	1	3(2-6)
Vega con dominancia de jb	jb dp	1(1-2)	3(2-4)	1	3(2-4)
Vega con dominancia de nia	nia dp tc Sn	3(3-4)	1(1-4)	1	1(1-2)
Vega con dominancia de sca	sca dp bj	-	4(2-5)	-	6(2-7)
Vega con dominancia de bj	bj sca dp	-	4(2-4)	-	3
Vega de tc	tc	-	1	-	3
Vega de ph dp sca	ph dp sca	-	2(2-5)	-	4
MATORRAL - HUMEDAL					
Matorral - Vega de Tb dp	Tb dp	4(2-5)	2(1-4)	3(2-4)	3(2-5)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb	jb dp Lh	2(1-2)	3(2-3)	2	3(2-3)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh	Lh dp jb sca	2	3(2-3)	2(2-4)	4(3-4)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sn	Sn dp bj tc pu nia	3	2(1-4)	3(2-3)	4(2-4)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de tc	tc Sn	3	1(1-3)	2	4
Matorral hídrico con dominancia de Lh	Lh	2(2-3)	-	3	-
Matorral hídrico con dominancia de Sn	Sn	3(1-4)	2	3(2-4)	1

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

COT: Carta Ocupación de Tierras					
Cobertura vegetal (%)	**Altura vegetal**	**Códigos de especies**		**Herbáceas (H):**	
1 muy escasa (1-5)	1 < 5 cm	**Arbustivas (Leñoso Bajo) (LB):**		bj	*Baccharis juncea*
2 escasa (5-10)	2 5 - 25 cm	Aa	*Atriplex atacamensis*	cid	*Cistanthe densiflora*
3 muy clara (10-25)	3 25 - 50 cm	Ad	*Aloysia deserticola*	cis	*Cistanthe salsoloides*
4 clara (25-50)	4 50 - 100 cm	Ai	*Atriplex imbricata*	dp	*Distichlis spicata*
5 poco densa (50-75)	5 100 - 200 cm	Eb	*Ephedra breana*	jb	*Juncus balticus*
6 densa (75-90)	6 > 200 cm	Lh	*Lycium humile*	nia	*Nitrophila atacamensis*
7 muy densa (>90)		Sn	*Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa-Sf)*	ph	*Phragmites australis*
		Tb	*Tessaria absinthioides*	pu	*Puccinellia frigida*
		Tt	*Tiquilia atacamensis*	sca	*Schoenoplectus californicus*
				tc	*Triglochin concinna*

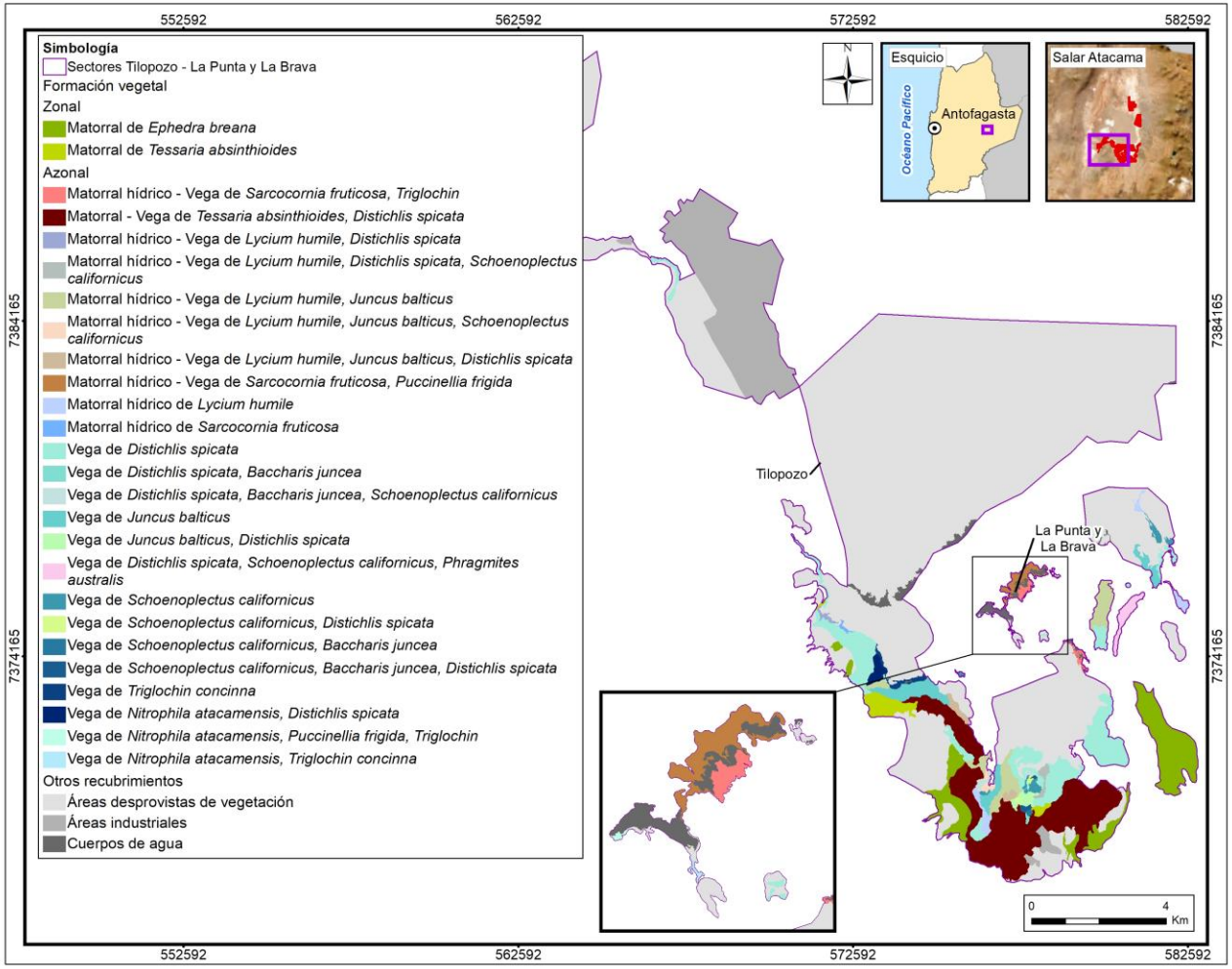
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-9. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Invierno de 2024



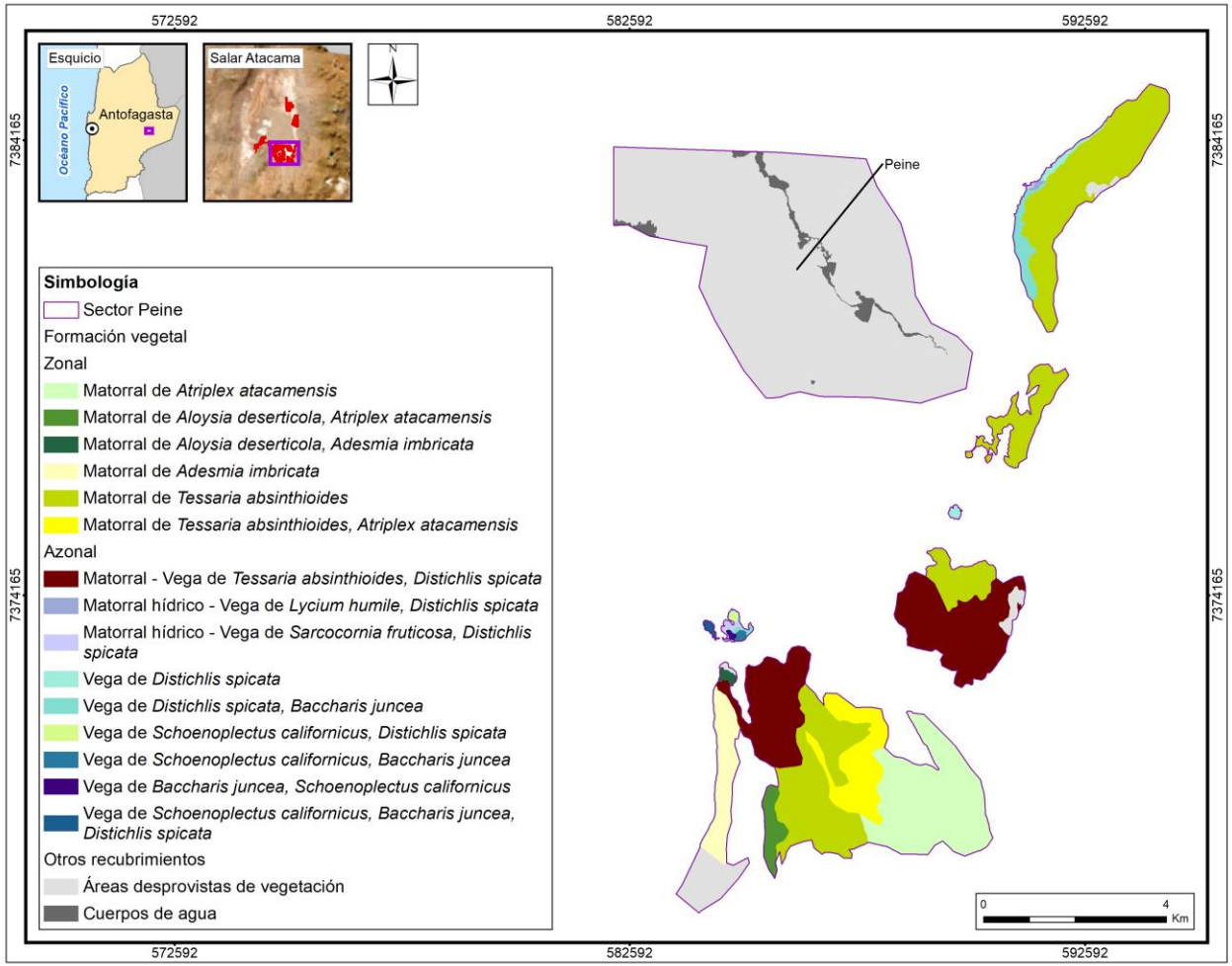
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-10. 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 2024



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-11. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Invierno de 2024



Fuente: Elaboración propia.

6.2.1.2 Resultados del muestreo campaña de verano de 2025

6.2.1.2.1 Caracterización de la vegetación en el área de estudio

De acuerdo con lo observado en verano 2025, no se han presentado mayores modificaciones en la descripción y delimitación de la COT, en relación con el monitoreo de verano de 2017, base de referencia para la COT, dando como resultado superficies similares con una estabilidad en las formaciones vegetales.

En el monitoreo de verano 2025 (**Tabla N° 6-21**)**,** se identifican tres tipos de recubrimiento de suelo en la COT, entre los cuales está la superficie sin vegetación (otros recubrimientos) manteniendo un 78,1% de la superficie del área de estudio. La cobertura vegetal se extiende, así, en una superficie de 7.233,0 hectáreas equivalentes a 21,9% del área de estudio, estando representada en un 8,7% por vegetación zonal y en un 13,2% por vegetación azonal, cifras que se mantienen.

Dentro de los tipos de formaciones, se identifican las mismas cinco formaciones de matorrales zonales, clasificadas según dominancia (ocho formaciones vegetales en total); seis formaciones vegetales azonales de humedal, clasificadas de acuerdo a la dominancia de sus especies (13 formaciones en total); y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral - vega, y cuatro de matorral hídrico - vega, agrupadas según la dominancia de sus especies (14 formaciones en total). El total de formaciones vegetales indicadas se puede observar en detalle en el Anexo de **Vegetación y flora: Cartografía COT (Verano 2025)**.

Entre las formaciones más representativas de la vegetación zonal, destacan los matorrales zonales de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.625,1 hectáreas (4,9% del área de estudio) y los de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector de Peine (**Figura N° 6-14**). Por otra parte, en la vegetación azonal de humedales, son más representativas las formaciones de vega de *Distichlis spicata* con 906,8 hectáreas (2,7%) y las vegas de *Juncus balticus* con 170,9 hectáreas (0,5%), ambas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo (**Figura N° 6-13**). En el caso de la vegetación azonal mixta, las formaciones más representativas corresponden al matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, con una superficie de 2.159,7 (6,5%), distribuida de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana; y el matorral hídrico con dominancia de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa),* con una superficie de 527,0 ha (1,6%), distribuida mayoritariamente en el sector Aguas de Quelana (**Figura N° 6-12**). En la **Tabla N° 6-21** se presentan los distintos recubrimientos de suelo y formaciones vegetales presentes en el área de estudio, su representatividad en función de las unidades cartográficas (UC-polígonos) y la superficie ocupada por cada uno, junto con su representatividad.

De acuerdo con el proceso de mejoramiento de la COT para la descripción de la vegetación, en la **Tabla N° 6-22,** se presenta un resumen de las coberturas y alturas de los estratos vegetales y las especies dominantes para cada formación vegetal.

Como se observa en la **Tabla N° 6-21,** la formación con mayor cantidad de unidades corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (46 unidades), las cuales presentan una cobertura muy escasa en su estrato arbustivo, y una variación de cobertura vegetal de escasa a densa (5% a 90%) en su estrato herbáceo (**Tabla N° 6-22**). En contraste, cinco formaciones vegetales están representadas por solo una unidad cartográfica: matorral de *Atriplex imbricata*, Vega con dominancia de *Triglochin concinna*, Vega de *Distichlis spicata*, *Schoenoplectus californicus y Phragmites australis* y Matorral hídrico-Vega con dominancia de *T. concinna*.

Particularmente en Soncor, durante el proceso de actualización de la COT, se realizó la delimitación de la vegetación según este método, dado que durante la línea base (Adenda 5 RWL, 2015) este sector se reportó como “Área Soncor”. A partir de esto, en el sector destaca la principal ocupación de áreas desprovistas de vegetación con 4.993,5 hectáreas (99,5% del sector), mientras que en la superficie restante existen formaciones vegetales azonales (0,5%; 24,8 hectáreas) que se encuentran en el borde Este del polígono del sector, alejados del sistema de cuerpos lagunares del área, con cinco unidades de vega y una unidad de matorral-vega.

Los resultados en detalle se pueden revisar en los anexos cartográficos de verano 2025, en Anexo **Vegetación y flora: Cartografía COT (Verano 2025).**

Tabla N° 6-21. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, verano de 2025

TIPO DE RECUBRIMIENTO *RECUBRIMIENTO DE SUELO*	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
Tipo de formación o recubrimiento *Formación vegetal*	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
OTROS RECUBRIMIENTOS	**14.410,1**	**59,2**	**2.936,0**	**3.438,3**	**4.993,5**	**98**	**25.837,1**	**78,1**
ÁREAS DESPROVISTAS DE VEGETACIÓN	**13.089,1**	**19,4**	**2.845,6**	**3.410,1**	**4.760,4**	**54**	**24.124,4**	**72,9**
Salares	12.474,5	19,4	2.688,5	3.410,1	4.760,4	37	23.352,9	70,6
Areas denudadas	614,5		157,0			17	771,5	2,3
ÁREAS INDUSTRIALES	**1.245,2**					**4**	**1.245,2**	**3,8**
Centros industriales	1.198,1					1	1.198,1	3,6
Suelos removidos	47,1					3	47,1	0,1
CUERPOS DE AGUA	**75,9**	**39,8**	**90,5**	**28,2**	**233,1**	**40**	**467,5**	**1,4**
Lagunas	75,9	39,8	90,5	28,2	233,1	40	467,5	1,4
VEGETACIÓN ZONAL	**581,2**		**2.181,0**	**114,8**		**29**	**2.876,9**	**8,7**
Matorrales	**581,2**		**2.181,0**	**114,8**		**29**	**2.876,9**	**8,7**
Matorral con dominancia de Aa			*542,8*			*2*	*542,8*	*1,6*
Matorral con dominancia de Ad			*69,5*			*2*	*69,5*	*0,2*
Matorral con dominancia de Eb	*491,1*					*9*	*491,1*	*1,5*
Matorral con dominancia de Tb	*90,1*		*1.420,2*	*114,8*		*15*	*1.625,1*	*4,9*
Matorral de Ai			*148,5*			*1*	*148,5*	*0,4*
VEGETACIÓN AZONAL	**2.062,8**	**59,3**	**808,0**	**1.401,1**	**24,8**	**116**	**4.356,0**	**13,2**
Humedales	**918,4**	**4,6**	**108,3**	**203,9**	**16,9**	**76**	**1.252,2**	**3,8**
Vega con dominancia de dp	*593,0*	*2,3*	*90,6*	*203,9*	*16,9*	*46*	*906,8*	*2,7*
Vega con dominancia de jb	*170,9*					*7*	*170,9*	*0,5*
Vega con dominancia de nia	*27,0*	*2,4*				*3*	*29,4*	*0,1*
Vega con dominancia de sca	*62,4*		*17,7*			*18*	*80,1*	*0,2*
Vega de tc	*22,6*					*1*	*22,6*	*0,1*

TIPO DE RECUBRIMIENTO ***RECUBRIMIENTO DE SUELO***	**SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)**					**TOTAL**		
Tipo de formación o recubrimiento *Formación vegetal*	**Tilopozo**	**La Punta y La Brava**	**Peine**	**Aguas de Quelana**	**Soncor**	**UC**	**ha**	**%**
Vega de dp sca ph	*42,5*					*1*	*42,5*	*0,1*
Matorral - Humedal	**1.144,3**	**54,7**	**699,7**	**1.197,2**	**7,8**	**40**	**3.103,8**	**9,4**
Matorral - Vega de Tb dp	*808,6*		*687,4*	*655,9*	*7,8*	*11*	*2.159,7*	*6,5*
Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb	*135,6*					*3*	*135,6*	*0,4*
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh	*133,0*		*3,4*			*8*	*136,4*	*0,4*
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sn	*13,1*	*41,1*	*8,9*	*18,8*		*6*	*81,9*	*0,2*
Matorral hídrico - Vega con dominancia de tc		*13,6*				*1*	*13,6*	*0,04*
Matorral hídrico con dominancia de Lh	*49,6*					*3*	*49,6*	*0,2*
Matorral hídrico con dominancia de Sn	*4,4*			*522,6*		*8*	*527,0*	*1,6*
Total general (ha)	**17.054,1**	**118,5**	**5.925,0**	**4.954,2**	**5.018,2**	**241**	**33.070,1**	**100,0**
Total general (%)	**51,6**	**0,4**	**17,9**	**15,0**	**15,2**	**100**		

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

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6-22. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Verano 2025

RECUBRIMIENTO DE SUELO	Especies dominantes	Altura vegetal		Cobertura vegetal	
Formación vegetal		LB	H	LB	H
VEGETACIÓN ZONAL					
MATORRALES					
Matorral con dominancia de Aa	Aa cid Tt	(2-5)	2	(3-4)	4
Matorral con dominancia de Ad	Ad Aa Ai cis cid	4(4-5)	1(1-2)	3	4
Matorral con dominancia de Eb	Eb dp	4(3-5)	2	2(2-3)	2
Matorral con dominancia de Tb	Tb Aa Lh	4(2-5)	2	3(2-5)	1
Matorral de Ai	Ai cid	3	3	3	2
VEGETACIÓN AZONAL					
HUMEDALES					
Vega con dominancia de dp	dp bj Tb Sn	2	2(2-5)	1	3(2-6)
Vega con dominancia de jb	jb dp Lh	1(1-2)	3(2-4)	1	3(2-4)
Vega con dominancia de nia	nia dp tc pu Sn	3(3-4)	1(1-4)	1	1(1-2)
Vega con dominancia de sca	sca dp bj	-	4(2-5)	-	6(2-6)
Vega de tc	tc	-	1	-	3
Vega de dp sca ph	ph dp sca	-	2(2-5)	-	4
MATORRAL - HUMEDAL					
Matorral - Vega de Tb dp	Tb dp Lh	4(2-5)	2(1-4)	3(2-4)	3(2-5)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de jb	jb dp Lh	2(1-2)	3(2-3)	2(2-3)	3(2-3)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh	Lh dp jb sca	2	3(2-3)	2(2-4)	4(2-4)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sn	Sn dp tc pu nia	3	2(1-4)	3(2-4)	4(2-4)
Matorral hídrico - Vega con dominancia de tc	tc Sn	3	1(1-3)	2	4
Matorral hídrico con dominancia de Lh	Lh	2(2-3)	-	3	-
Matorral hídrico con dominancia de Sn	Sn	3(1-4)	2	3(2-4)	1

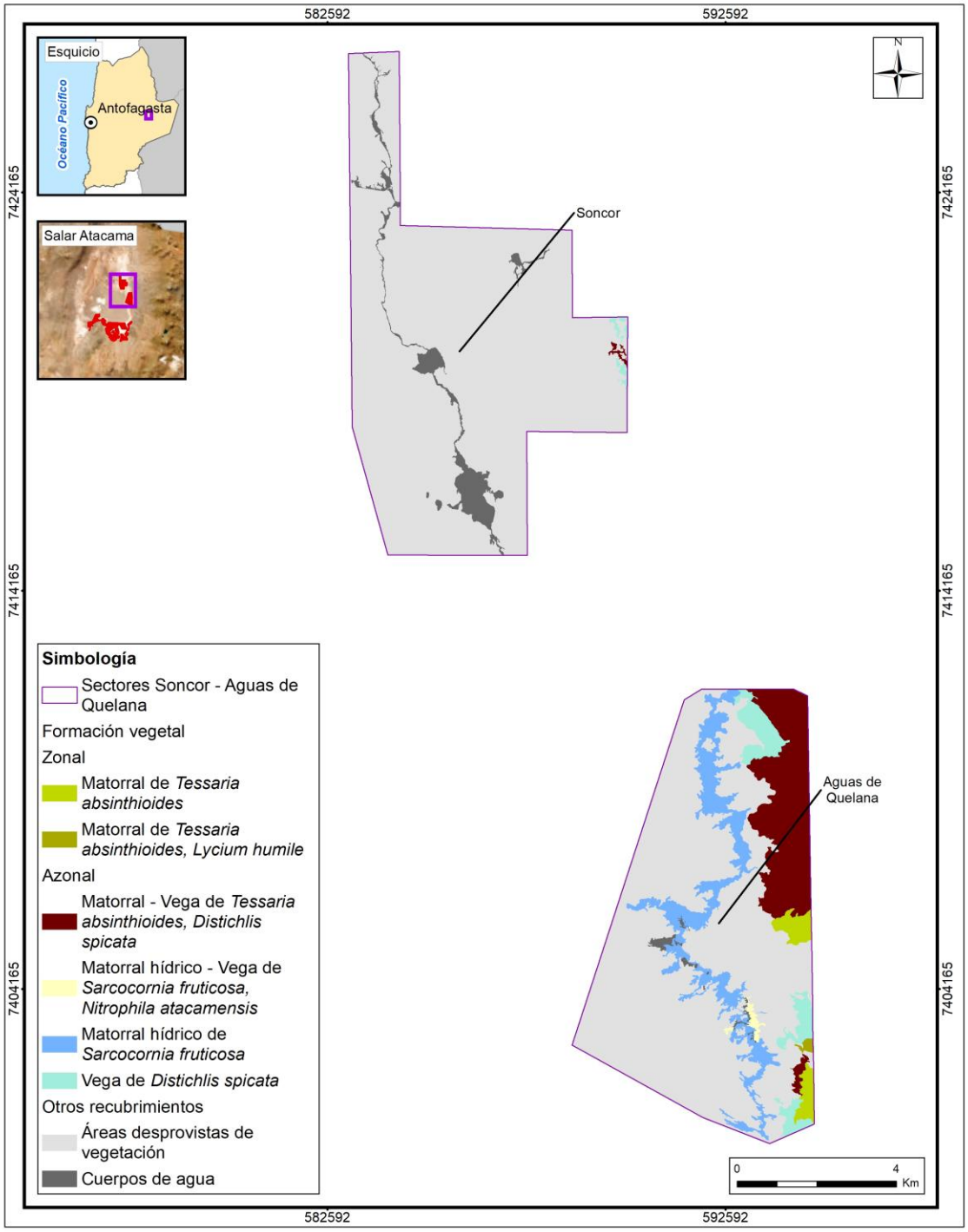
*: El rango no se indica para aquellos casos de valor único registrado.

Donde:

COT: Carta Ocupación de Tierras					
Cobertura vegetal (%)	**Altura vegetal**	**Códigos de especies**		**Herbáceas (H):**	
1 muy escasa (1-5)	1 < 5 cm	**Arbustivas (Leñoso Bajo) (LB):**		bj	*Baccharis juncea*
2 escasa (5-10)	2 5 - 25 cm	Aa	*Atriplex atacamensis*	cid	*Cistanthe densiflora*
3 muy clara (10-25)	3 25 - 50 cm	Ad	*Aloysia deserticola*	cis	*Cistanthe salsoloides*
4 clara (25-50)	4 50 - 100 cm	Ai	*Atriplex imbricata*	dp	*Distichlis spicata*
5 poco densa (50-75)	5 100 - 200 cm	Eb	*Ephedra breana*	jb	*Juncus balticus*
6 densa (75-90)	6 > 200 cm	Lh	*Lycium humile*	nia	*Nitrophila atacamensis*
7 muy densa (>90)		Sn	*Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa-Sf)*	ph	*Phragmites australis*
		Tb	*Tessaria absinthioides*	pu	*Puccinellia frigida*
		Tt	*Tiquilia atacamensis*	sca	*Schoenoplectus californicus*
				tc	*Triglochin concinna*

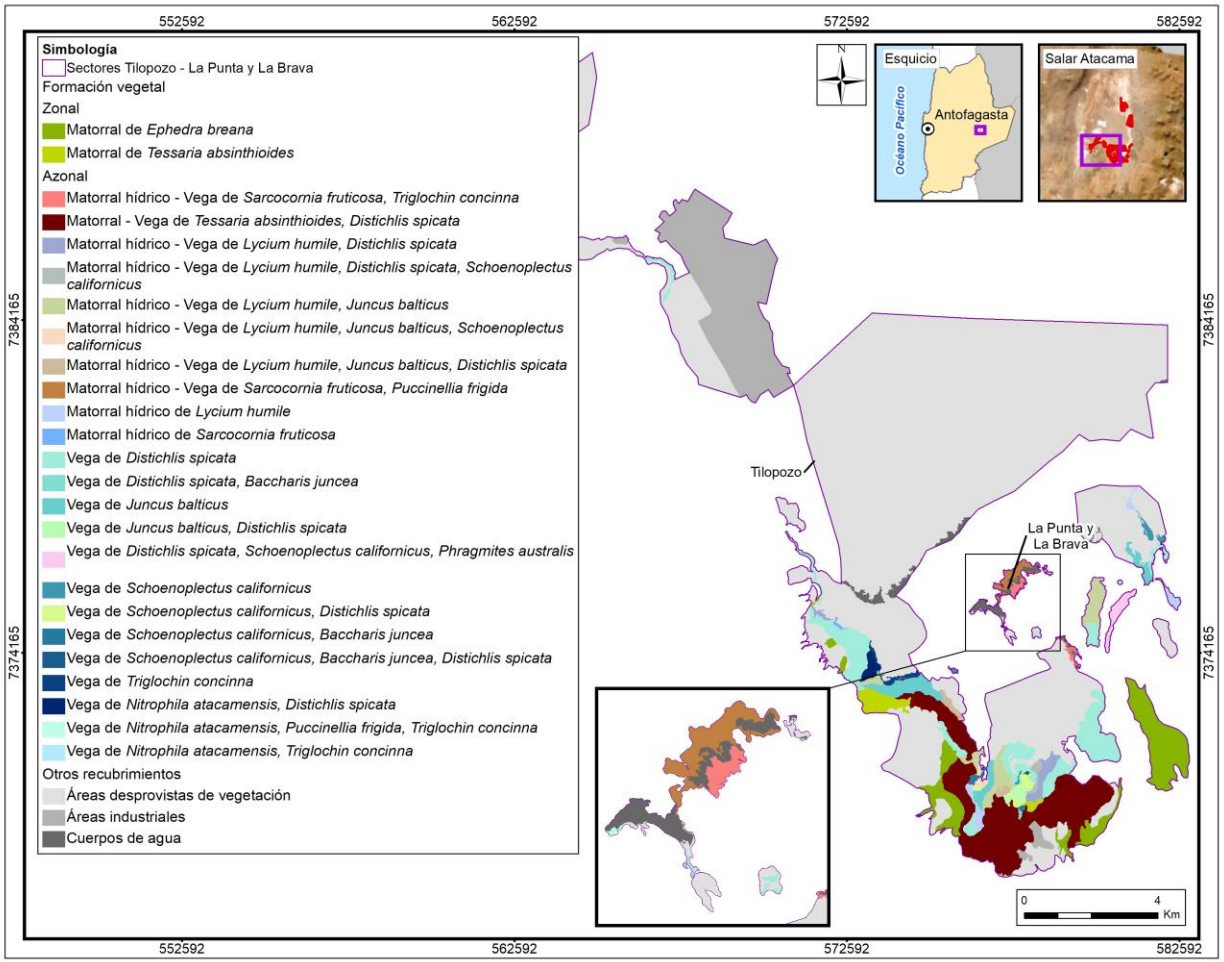
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-12. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Verano de 2025



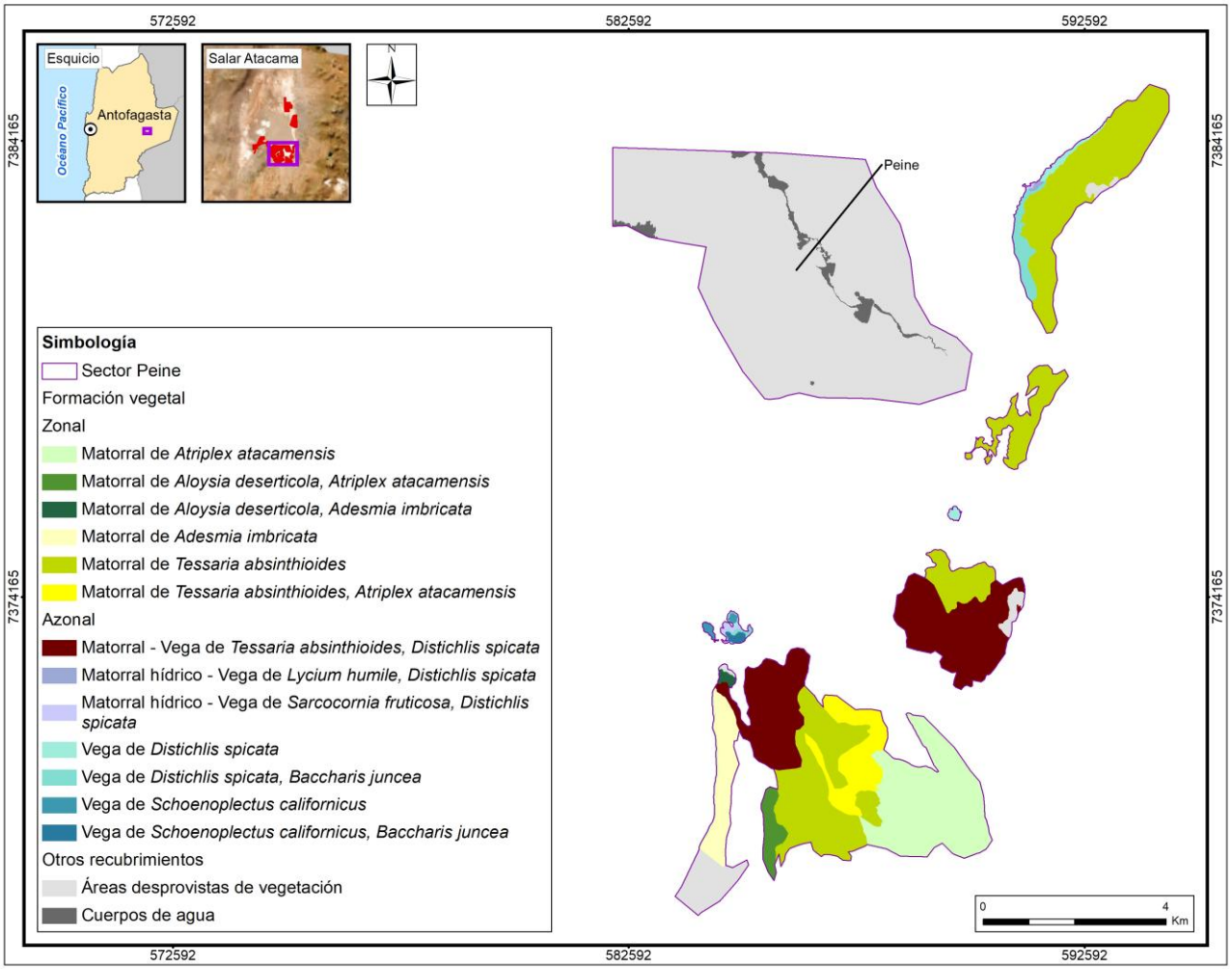
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-13. 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 2025



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-14. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Verano de 2025



Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 RESULTADOS FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS)

6.2.2.1 Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de invierno de 2024

6.2.2.1.1 Formaciones vegetales

En la **Tabla N° 6-23**, se presentan tipos de vegetación identificados en las transectas de monitoreo durante la campaña de invierno 2024.

Tabla N° 6-23. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo

TIPO DE FORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL	ESPECIE(S) ACOMPAÑANTE(S)	TRANSECTAS	SECTOR
Herbazal	Azonal	Herbazal de *Distichlis spicata*	*Baccharis juncea*, *Lycium humile*	T08; T09; T20; T21; T22; T26; T27; T28	Peine y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de *Juncus balticus*	*Distichlis spicata*, *Lycium humile*	T13; T18; T30; T31	La Punta La Brava y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de *Schoenoplectus californicus*	*Baccharis juncea*, *Distichlis spicata*, *Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa)*	T01; T02; T03; T04; T19; T29	Peine y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de *Triglochin concinna*	*Nitrophila atacamensis*	T10; T11*	La Punta La Brava
Matorral	Azonal	Matorral de *Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa)*	*Nitrophila atacamensis*, *Puccinellia frigida*	T12*; T15*; T16*; T17*	La Punta La Brava y Aguas de Quelana
Matorral	Zonal	Matorral de *Tessaria absinthioides*	*Atriplex atacamensis, Distichlis spicata*	T05; T06; T07; T23; T24; T25	Peine y Tilopozo
Sin vegetación/Salar		Área desprovista de vegetación	-	T14*	Soncor

Dónde: *: Transectas control vegetación
Fuente: Elaboración propia.

Tal como ha sido reportado desde el primer monitoreo, por problemas de accesibilidad, no fue posible registrar la transecta T14 que se localiza en un área desprovista de vegetación (costra salina) en el sector de Soncor (Laguna Barros Negros). Cabe recordar que la transecta T14 no se ha podido realizar desde el primer levantamiento en Monitoreo Base 0 (MB0, julio 2016), es por esto que se ha incluido un punto adicional COT (RPV015 a 100 m aproximadamente de T14) para validar el ambiente “sin vegetación” en cada monitoreo. Es importante recordar que a esta zona se ingresa con apoyo del guardaparque de CONAF de la Reserva Nacional Los Flamencos, e igualmente se valida a distancia mediante el punto COT RPV015.

Con respecto a la descripción de las formaciones vegetales, en la **Tabla N° 6-24**, se presentan las principales características de las transectas para el monitoreo de invierno 2024, tanto de vegetación (riqueza, formación COT asociada, especies dominantes y grado de alteración) como de las condiciones físicas del terreno (humedad del suelo y salinidad). La fisonomía de las formaciones vegetales y del área desprovista de vegetación en Soncor se pueden observar en las siguientes fotografías **Fotografía N° 6-4, Fotografía N° 6-5, Fotografía N° 6-6, Fotografía N° 6-7, Fotografía N° 6-8, Fotografía N° 6-9.**

Tabla N° 6-24. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 17 (invierno 2024), en cada subsector

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

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

* Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo M15 debido a malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.

Donde:

COT: Carta Ocupación de Tierras

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

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-4. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en invierno 2024, en distintas transectas de estudio



Donde: Transectas de seguimiento del PMB: T08 en sector Peine, T20 y T27 en sector Tilopozo.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-5. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en invierno 2024, en transectas de estudio



Donde: Transectas de seguimiento del PMB: T02 y T04 en sector Peine, T19 y T29 en sector Tilopozo.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-6. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en invierno 2024, en transectas de estudio



Donde: Transectas de seguimiento del PMB: T13 en subsector La Punta y T31 en sector Tilopozo.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-7. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en invierno 2024, en transectas de estudio



Donde: Transectas de seguimiento del PMB: T10 en subsector La Brava y T11 en subsector La Punta.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-8. Fisonomía de matorral de *Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa)* en invierno 2024, en transectas de estudio



Donde: Transectas de seguimiento del PMB: T15 y T16 en sector Aguas de Quelana, T12 en subsector La Punta.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-9. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en invierno 2024, en transectas de estudio



Donde: Transectas de seguimiento del PMB: T05 y T07 en sector Peine y T23, T24 y T25 en sector Tilopozo.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.1.2 Composición y cobertura

6.2.2.1.2.1 Cobertura absoluta de especies (variación temporal)

La cobertura absoluta de las especies, calculada para el Monitoreo 17 (M17; invierno 2024), se presenta por transecta en las siguientes figuras ordenadas por sector junto a las coberturas de vegetación y rastrojos registradas en todos los monitoreos de invierno, Monitoreo 1 (M1; 2016), Monitoreo 3 (M3; 2017) Monitoreo 5 (M5; 2018) Monitoreo 7 (M7; 2019) Monitoreo 9 (M9; 2020), Monitoreo 11 (M11; invierno 2021 no realizado por restricciones de acceso a la zona a causa de movilizaciones sociales), Monitoreo 13 (M13; 2022) y Monitoreo 15 (M15; 2023), observando a su vez, la composición comunitaria que presenta cada formación vegetal, ver **Figura N° 6-15**, **Figura N° 6-16**, **Figura N° 6-17** y **Figura N° 6-18**.

En **Figura N°1-1** a **Figura N°1-11** en **Anexo Vegetación y Flora Vol. 1 y en Base de Datos de Consulta** se presentan los valores de cobertura absoluta del Monitoreo 17 y monitoreos anteriores en mayor detalle.

El **sector Peine** presenta las mayores coberturas vegetales en la formación de **herbazal de *Schoenoplectus californicus*** en los monitoreos de invierno, no obstante, en M17 disminuye la cobertura absoluta para las especies dominantes en las cuatro transectas a menos de un 15% de cobertura absoluta para *S. californicus* y en general, las especies acompañantes también disminuyen su cobertura en este invierno resaltando la baja cobertura absoluta de *Baccharis juncea* en las transectas T02 (0,2%) y T04 (1,6%), **Figura N° 6-15**. En la **Fotografía N° 6-5** se puede apreciar el estado de la vegetación en esta temporada, observando la baja actividad biológica en dos de las transectas de este sector (T02 y T04).

Cabe mencionar que desde M15 (invierno 2024) se observa una disminución de las coberturas junto a un aumento de rastrojo en las transectas T02 y T04, acentuándose esta disminución en este invierno. En relación a las especies acompañantes con menor cobertura en la formación (<2%), se presenta igualmente una disminución de cobertura o la ausencia en algunas transectas, como es el caso de *Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna* que no se registran en M17 y en el caso de *S. fruticosa,* ésta presenta mayor variabilidad de la cobertura en el tiempo, aunque con una disminución en M17 respecto al invierno anterior en las tres transectas donde se registra. Por otro lado, la cobertura de rastrojo en M17 es la mayor para las cuatro transectas de la formación en relación a todos los inviernos, sobre el 85% de cobertura absoluta.

También cabe mencionar, que durante el trabajo de campo, se evidenció en las transectas de esta formación huellas de vehículo, alterando parte de la cobertura de la formación, además del estado general de las plantas que se observaban en baja actividad biológica o en una fase de recesión (**Fotografía N° 6-10**).

En el mismo sector, las coberturas vegetales en los **herbazales de *D. spicata*** se observan variables en el tiempo, donde la especie dominante muestra un descenso de su cobertura en M17 en ambas transectas (T08; 19,4% y T09; 9,6%) sumado a un aumento del rastrojo, con el mayor registro en M17 en ambas transectas, ver **Figura N° 6-7** y fisonomía de la formación en **Fotografía N° 6-4**.

En los **matorrales de *T. absinthioides*** se observa igualmente una disminución de las coberturas en el tiempo, aunque en M17 la cobertura aumenta levemente respecto al descenso registrado en el invierno anterior (M15) en las tres transectas, así como un descenso de la cobertura de rastrojo en este invierno.

Fotografía N° 6-10. Evidencias de alteración antrópica en herbazales de *Schoenoplectus californicus* en invierno 2024, en distintas transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la **composición comunitaria en el sector de Peine**, ésta se observaba estable entre monitoreos hasta el invierno 2024 (M15), albergando en similar proporción a las especies dominantes y acompañantes en cada una de las transectas monitoreadas, pero con el descenso de la cobertura registrado en M17 la composición dominante es notoriamente distinta, denotando un deterioro de la cobertura vegetal generalizado en los herbazales de *S. californicus,* mientras que en el resto de las formaciones, si bien se observan descensos de cobertura, la composición y estructura de las formaciones se mantiene similar a los registros anteriores.

La presencia/ausencia de especies acompañantes con menos del 2% de cobertura absoluta en el tiempo, tampoco denotan un cambio en la estructura de las formaciones, ya que sus registros son dinámicos y de baja representatividad en la composición de éstas, a diferencia de la especie *B. juncea* y *D. spicata* que son especies de mayor cobertura y éstas también muestran un descenso importante en M17, aunque siguen manteniendo la estructura comunitaria de las formaciones donde se desarrollan. Por último, la presencia de la especie *Atriplex atacamensis* en un matorral de *T. absinthioides* (T07), solo fue registrada en invierno 2019 con menos de un 1% de cobertura absoluta, correspondiente a una

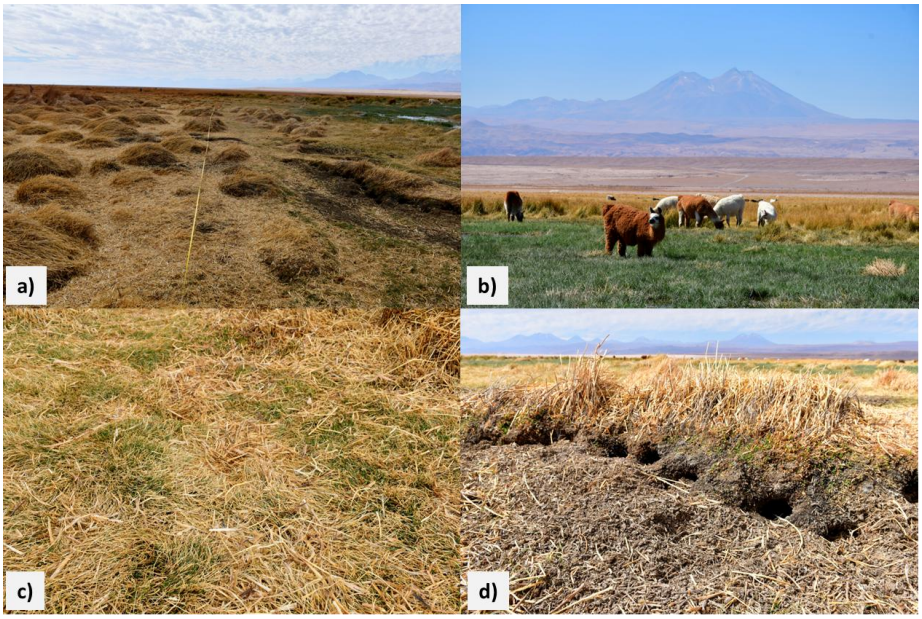
regeneración espontánea que se observó desde el monitoreo M6 de verano, pero no fue registrado nuevamente desde M7.

El **sector Tilopozo** presenta más variedad de formaciones y transectas (**Figura N° 6-16**). En el **herbazal de *Distichlis spicata*** (6 transectas), solo una transecta presenta más de un 25% de cobertura absoluta para esta especie en M17 (T20) desde MB0-M1 y en M17 registra una cobertura estable para la especie dominante respecto a otros inviernos; el resto de las transectas de la formación registran coberturas menores al 10% en M17 y menores a 20% desde MB0-M1 para *D. spicata*, en general con una disminución de las coberturas en el tiempo, a excepción de las transectas T21 y T27 (T27 en borde salar) que se muestran estables dentro de la variación interanual. Por otro lado, entre los mayores descensos, en M17 destaca la disminución observada en T22 (zona de vega), T26 (borde salar) y T28 (borde este del sector). Respecto a la cobertura muerta, varias transectas presentan una proporción importante de rastrojo en relación a la cobertura de las especies en M17, siendo mayor el rastrojo (R) que la cobertura vegetal en las transectas ubicadas en borde salar T26 y borde este de la zona de Tilopozo T28; no es la zona de vega.

El **herbazal de *Schoenoplectus californicus*** de Tilopozo presentaba un deterioro de la vegetación en los últimos dos inviernos (M13 y M15) después de presentar las mayores coberturas en años anteriores (2016-2021), de acuerdo a las transectas T19 y T29 del PMB, recordando que en estas transectas también se ha observado una fuerte presión antrópica durante el seguimiento, con data de quemas y de pastoreo por ganado introducido. En las transectas T19 y T29 (zona de vega de Tilopozo), se había observado una recuperación parcial de la cobertura vegetal en M15 (**Figura N° 6-16**), no obstante, en M17 los descensos de cobertura vegetal son mayores (21,6% en T19 y 5,4% en T29 para la especie *S. californicus*), así como el aumento del rastrojo, manteniéndose solo estable la cobertura de la especie *D. spicata* en los últimos monitoreos. En el muestreo de invierno 2024, aún se presencia el ganado de llamas, observando abundante pisoteo y ramoneo de especies, inclusive suelo desnudo en algunas áreas, indicando mayor potencial de erosión del suelo, situación que no se había observado anteriormente (**Fotografía N° 6-11**).

Por su parte, el **herbazal de *Juncus balticus*** en Tilopozo muestra un descenso paulatino de las coberturas, con algunas variaciones entre monitoreos y con los registros más bajos en M13 y M17 para algunas transectas (**Figura N° 6-16**). En las transecta T18, T30 y T31 se registran uno de los valores más bajos para la cobertura de *J. balticus* en M17 y para las especies acompañantes en T18 y T30, ya que en la transecta T31 las especies *L. humile* y *D. spicata* registran la mayor cobertura en M17 respecto a todos los monitoreos de invierno anteriores, mostrando una estabilidad en la cobertura general de la transecta frente a la fuerte disminución de *J. balticus* en M17 (0,8%). Respecto al Rastrojo en esta formación, en general se observa estable respecto a los últimos inviernos, mostrando un leve aumento en M17 en la transecta T30.

Fotografía N° 6-11. Vegetación en herbazal de *Schoenoplectus californicus* en invierno 2024, en transecta T19.



Donde: a) Fisionomía de la formación en transecta T19, donde se observa la baja actividad biológica, un suelo No saturado, parches de cobertura activa más alejado de la transecta y zonas con suelo desnudo, b) se observa que en el suelo sobresaturado se desarrolla activamente la cobertura vegetal, c) se observa la actividad biológica de la especie *S. californicus*, pero con evidencia de ramoneo y d) se observa una zona de suelo desnudo, con evidencia de ramoneo y potencial erosión con la pérdida de cobertura vegetal. Fuente: Elaboración propia.

El **matorral de *Tessaria absinthioides*** en el sector Tilopozo presenta un aumento general de las coberturas en M17, respecto a uno de los menores registros observados para la especie dominante en el invierno anterior (M15) en las tres transectas (**Figura N° 6-16**). No obstante, los valores de M17 siguen siendo menores a los registrados en los primeros monitoreos de invierno (MB0-M1). El Rastrojo en esta formación es variable y solo en la transecta T24 (39,6% en M17) muestra un mayor aumento de éste en el tiempo.

Respecto a la **composición comunitaria en el sector Tilopozo**, ésta se observa en general estable entre monitoreos (**Figura N° 6-16**), con algunos cambios en los herbazales de *S. californicus*, dado el deterioro de la formación observado en los últimos inviernos, por una parte, la dominancia de *S. californicus* ha disminuido considerablemente desde los registros iniciales y por otro lado, especies acompañantes en esta formación también han mermado su cobertura o presencia como *B. juncea* y *Eleocharis* sp. Si bien el resto de las formaciones presenta algunas disminuciones de cobertura o la ausencia de especies acompañantes de baja cobertura vegetal, se mantienen estables en su composición y estructura comunitaria.

En el **sector La Punta y La Brava** se presentan cuatro transectas con tres tipos de formaciones, con variabilidad de cobertura y composición entre ellas (**Figura N° 6-17**). En el **herbazal de *Triglochin concinna*** la cobertura de las especies en la transecta T10 de este monitoreo se mantiene muy baja para las dos especies presentes, similar a lo

registrado en M13 y M15 (<1%) y para T11 la cobertura de *T. concinna* se observa estable después del descenso en M13 y en el caso de *L. humile* se observa un leve aumento de la cobertura para esta especie en la formación. En la transecta T13 en el **herbazal de *J. balticus*** la cobertura de la especie dominante disminuye en M17 (7,6%), a uno de los valores más bajos registrados en los monitoreos de invierno, aunque para *L. humile* la cobertura absoluta es más estable (13,0%), respecto a monitoreos anteriores, aumentando igualmente el Rastrojo en esta formación. En el **matorral de *Salicornia neei* (*ex S. fruticosa*)** del sector, en M17 la cobertura de la especie dominante es la menor registrada (16,2%), aumentando igualmente la cobertura de rastrojo en M17 (16,2%), respecto a inviernos anteriores.

Respecto a la **composición comunitaria del sector La Punta La Brava**, se observa estable en todas las transectas en M17, sin embargo, es importante mencionar que la transecta T10 con la baja cobertura que presentan las especies no es preciso hablar de una formación vegetal o una composición comunitaria estable, ya que más bien son grupos de individuos que se desarrollan aislados en torno al pequeño cuerpo de agua, sin un patrón de distribución que se vea próspero para desarrollar más cobertura vegetal en el área.

El **sector Aguas de Quelana** presenta tres transectas de matorral de *Salicornia neei,* ver **Figura N° 6-18**. Presentan distinta composición y cobertura vegetal entre ellas, y es importante mencionar que no hay muestreo entre el invierno 2020 (M9) al año 2022 (M13). La transecta T15 presenta mayor variedad de especies y en el tiempo ha presentado estabilidad en sus coberturas vegetales, inclusive con un leve aumento en M17 para la especie *S. neei* (32,6%) respecto a inviernos anteriores, similar a la transecta T17 que se observa estable en el tiempo. Por otro lado, la transecta T16 registra una mayor disminución de la cobertura vegetal en el tiempo, con el menor registro en M17 (2,4%) para su especie dominante, la cual se observaba estable entre los monitoreos de invierno MB0 a M7 (2016-2019), destacando a su vez, un aumento del Rastrojo en las tres transectas en los últimos inviernos. A pesar de las variaciones de cobertura, la composición comunitaria en estas formaciones se observa estable entre los monitoreos de invierno, manteniendo la presencia de otras especies acompañantes en el caso de T15.

Figura N° 6-15. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en el sector Peine



Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus,* bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata,* Tb: *Tessaria absinthioides,* Sf: *Sarcocornia fruticosa (Salicornia neei);* R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 11 (M11) no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones sociales en la zona.
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Tilopozo



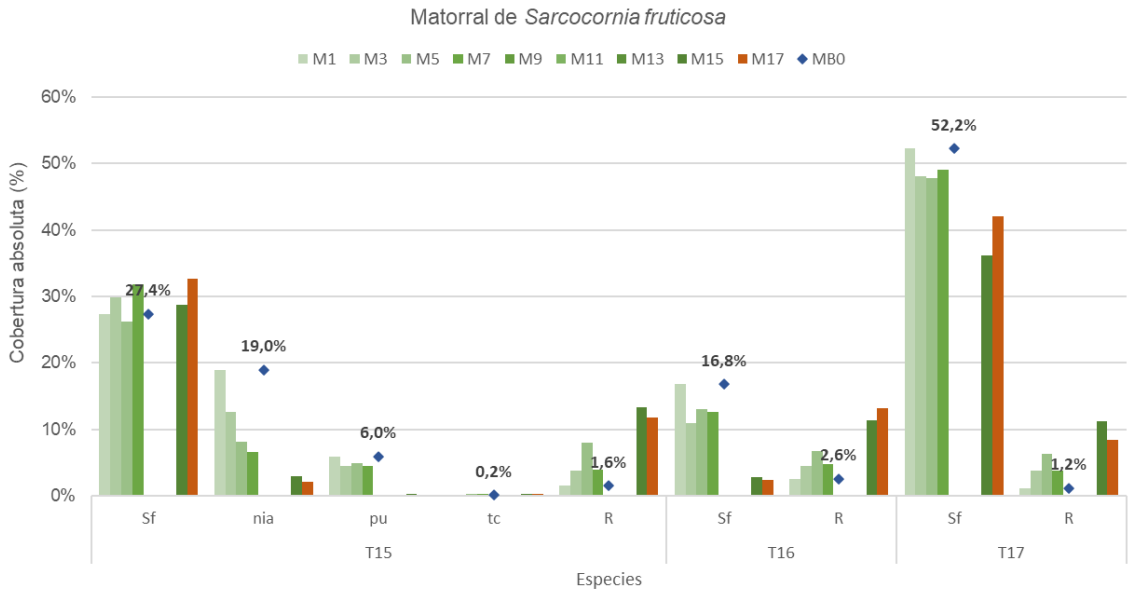
Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus,* bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata,* jb: *Juncus balticus* nia: *Nitrophila atacamensis*, esp: *Eleocharis* sp., Tb: *Tessaria absinthioides,* Lh: *Lycium humile,* Sf: *Sarcocornia fruticosa (Salicornia neei);* R: rastrojo (cobertura muerta);
Monitoreo 11 (M11) no se realizó por restricciones de acceso en la zona a causa de movilizaciones sociales.
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector La Punta y La Brava



Donde: Especies: jb: *Juncus balticus,* nia: *Nitrophila atacamensis,* pu: *Puccinellia frigida,* tc: *Triglochin concinna,* Sf: *Sarcocornia fruticosa (Salicornia neei),* Lh: *Lycium humile;* R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 9-Transecta T12 en subsector La Punta sin muestreo de transecta por restricciones de acercamiento por resguardo de fauna (nidificación de aves); Monitoreo 11 (M11) no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones sociales en la zona; Monitoreo 15 (M15) no se realizaron las transectas T11 y T12 por presencia abundante de aves en el sistema lagunar del subsector La Punta.
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de invierno, en sector Aguas de Quelana



Donde: Especies: nia: *Nitrophila atacamensis,* pu: *Puccinellia frigida,* tc: *Triglochin concinna,* Sf: *Sarcocornia fruticosa (Salicornia neei),* R: rastrojo (cobertura muerta);
Monitoreo 9 (M9): sin muestreo de transectas por restricciones de acceso a Aguas de Quelana según indicaciones de CONAF regional por seguridad sanitaria;
Monitoreo 11 (M11) no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones sociales en la zona;
Monitoreo 13 (M13): sin muestreo de transectas en sector Aguas de Quelana por restricciones de acceso según indicaciones de CONAF.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.1.2.2 Cobertura y riqueza de transectas (Monitoreo 17 - invierno 2024)

En la **Figura N° 6-19** se las coberturas absolutas y promedio de la vegetación, la cobertura de rastrojo y de otros recubrimientos, además de la riqueza, para cada una de las transectas monitoreadas en la campaña de invierno 2024 (Monitoreo 17), ordenadas por sector de estudio.

En **Figura N°1-1** a **Figura N°1-11** en **Anexo Vegetación y Flora Vol. 1** se presentan los valores de cobertura absoluta y promedio de M17 y en **Base de Datos de Consulta** todos los registros del PMB (M1 a M17) incluido MB0**.**

En **sector Peine** presenta variadas coberturas, en general bajo el 40% de cobertura absoluta entre las transectas, ver **Figura N° 6-19**. En las formaciones del sector la mayor cobertura por transecta está representada por "otros recubrimientos" o por "rastrojo", donde los herbazales de *D. spicata* registran una cobertura vegetal de 20,4% en T08 y 9,6% en T09 y rastrojo de 41,2% y 33,0%, respectivamente y mayor representatividad de otros recubrimientos en el caso de T09. En herbazales de *S. californicus* destaca la mayor proporción de rastrojo en las cuatro transectas (87% a 97%) y una baja cobertura de otros recubrimientos (0,2% a 7,2%), mientras que la cobertura de vegetación varía entre un 13,0% (T02) y un máximo de 33,0% (T04). Los matorrales de *T. absinthioides* registran coberturas absolutas entre un 2,0% en T05 a un 11,2% en T07, siendo mayor el porcentaje de otros recubrimientos (79% a 91%), seguido de la cobertura de rastrojo con un 7,2% en T05 y T07 y un 15,6% en T06.

En relación a la composición comunitaria, la riqueza de especies varía entre 1 a 4 especies en las transectas del sector Peine. El herbazal de *S. californicus* registra la mayor riqueza con un máximo en T01 y T04 con 4 especies, seguido de 3 especies en las transectas T02 y T03 (**Figura N° 6-19**). Respecto a los otros recubrimientos en el sector Peine, la cobertura está representada por costra salina en los herbazales de *D. spicata* (T08 y T09), en el matorral de *T. absinthioides* esta cobertura es variable, representada por costra salina terrosa en T05 y T06 y una menor proporción de costra salina saturada en T06 (1,8%) y por sustrato terroso en T07, en el matorral de *Salicornia neei* (ex *S. fruticosa)* se encuentra principalmente costra salina y una menor proporción de costra salina terrosa (0,8%) y en el herbazal de *S. californicus* destaca la presencia de agua superficial en T01, T02 y T03 junto a un sustrato terroso, mientras que T04 registra el menor valor (0,2%) con costra salina terrosa (ver detalle en **Base de Datos de Consulta del Anexo Vegetación y Flora**).

En el **sector Tilopozo** se observa una mayor representatividad de otros recubrimientos por sobre la cobertura vegetal (**Figura N° 6-19**), exceptuando las transectas del herbazal de *S. californicus* que presentan mayor cubrimiento de rastrojo, al igual que la transecta T24 en un matorral de *T. absinthioides*. En el herbazal de *D. spicata* la cobertura de vegetación varía entre un mínimo de 0,8% en T26 a un máximo de 33,0% en la transecta T20, destacando la mayor cobertura de rastrojo en la transecta T28 (30,8%). En el herbazal de *Juncus balticus* la cobertura de vegetación varía entre 2,8% en T18 y un 8,4% en T30,

aunque con una mayor cobertura de rastrojo (22,6%) en la misma transecta. En el herbazal de *S. californicus* se registran coberturas de vegetación de 34,4% en T19 y de 10,2% en T29 y una cobertura de rastrojo de 70,0% y 90,2%, respectivamente. En los matorrales de *T. absinthioides* la cobertura varía entre transectas, destacando la transecta T24 con la mayor cobertura vegetal (38,0%) seguido de T25 y T23 con un 10,8% y 9,8% en cada transecta.

La composición comunitaria en el sector Tilopozo presenta una riqueza de especies variable entre transectas, entre 1 a 3 especies en las transectas en M17. En herbazales de *J. balticus* y de *S. californicus* se registra la mayor riqueza con 3 especies en las transectas T31, T19 y T29 (**Figura N° 6-19**).

Respecto a los otros recubrimientos en Tilopozo, estos están representados principalmente por costra salina, exceptuando en algunas transectas donde se registra suelo terroso en T19 y T27 y una cobertura compartida de sustrato terroso con costra salina terrosa en T28, agua superficial y costra salina en T29, en T25 aparece costra salina terrosa y en T30 una baja proporción de ésta (ver detalle en **Base de Datos de Consulta del Anexo Vegetación y Flora**).

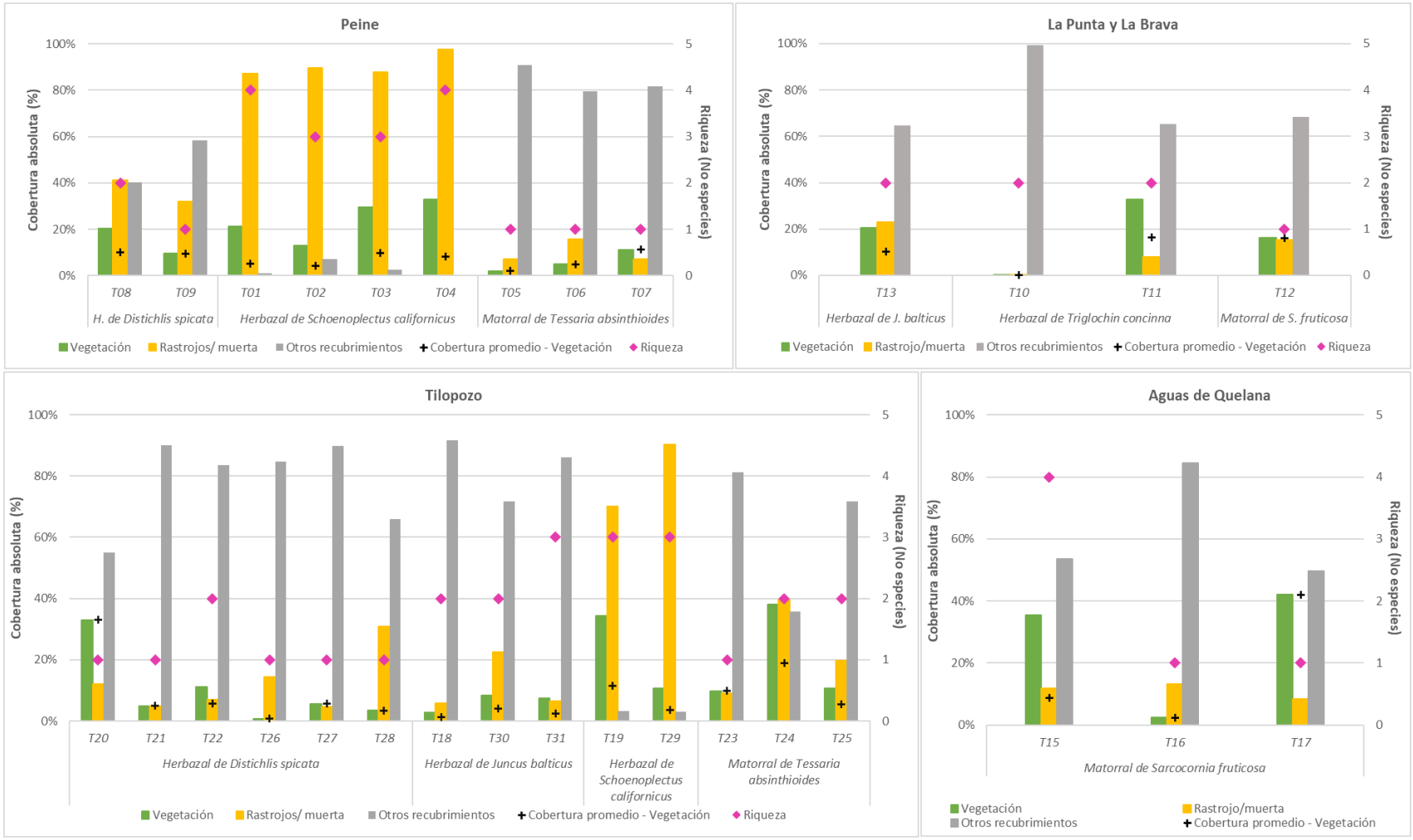
En el **sector de La Punta y La Brava** se presentan tres tipos de formaciones, con variabilidad de cobertura y composición entre ellas y sus transectas (**Figura N° 6-19**). Las dos transectas del herbazal de *Triglochin concinna* tienen una estructura distinta en su cobertura horizontal, donde T10 corresponde a una formación con muy escasa cobertura vegetal que presenta parches con especies aledaños a un pequeño cuerpo lagunar y en este monitoreo registra un mínimo de cobertura vegetal y de rastrojo de 0,4%. La transecta T11, localizada a orillas del cuerpo lagunar de La Punta presenta una cobertura vegetal más homogénea, alcanzando un 32,8% en M17. En el herbazal de J. *balticus* (T13) y matorral de *S. fruticosa* (T12), ambos del subsector La Punta, registran similar cobertura vegetal y de rastrojo en ambas.

La riqueza de especies del sector La Punta y La Brava se observa entre una y dos especies (**Figura N° 6-19**). Respecto a los otros recubrimientos, destaca la heterogeneidad observada en las transectas T10, T11 y T12 con cobertura mixta entre agua superficial, costra salina, costra salina saturada y sobresaturada, mientras que T13 solo está representada por costra salina, la única transecta del sector más alejada de cuerpos lagunares, ver detalle en **Base de Datos de Consulta, Anexo Vegetación y Flora.**

En el **sector Aguas de Quelana** presenta tres transectas de matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa*) (T15, T16 y T17), aunque de distinta composición y cobertura vegetal entre ellas (**Figura N° 6-19**). Entre ellas resalta que también se observa mayor representatividad de otros recubrimientos (sobre un 50%) en M17, presentando en dos transectas coberturas vegetales cercanas o mayores al 30% (35,4% en T15 y 42,0% en T17), en contraste a la transecta T16 con un 2,4% de cobertura vegetal. En cuanto a la cobertura muerta, en las cuatro transectas se registra una cobertura similar, entre 8% y 15%

de rastrojo en M17. La composición comunitaria del sector muestra diferencias entre las transectas, con una especie en T16 y T17 a cuatro especies en la transecta T15. Respecto a los otros recubrimientos, en este sector se observa mayor diversidad de tipos de recubrimiento, principalmente en T15 con agua superficial (0,4%), costra salina (4,4%), costra salina sobresaturada (33,8%) y saturada (15,0%), mientras que en T16 se registra mayormente costra salina saturada y menor proporción de costra salina y en T17 costra salina saturada, costra salina sobresaturada y agua superficial, ver detalle en **Base de Datos de Consulta, Anexo Vegetación y Flora.**

Figura N° 6-19. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 17 (invierno 2024)



*Transectas T12, T15, T16 y T17 matorrales de *Sarcocornia fruticosa*, recordar que esta especie actualizó su nombre a *Salicornia neei*

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.1.2.3 Comparación de la cobertura promedio y composición por sector (Monitoreo 17 - invierno 2024)

En la **Tabla N° 6-25** se observan los valores promedios del Monitoreo M17 (invierno 2024) de cobertura por sector, donde destaca la baja cobertura para todos los sectores, con un máximo de cobertura promedio en Aguas de Quelana de 26,6%. Para los sectores Peine y La Punta -La Brava se observa similar cobertura promedio, mientras que en Tilopozo se presenta la menor cobertura promedio con un 12,9%

En referencia a la cobertura promedio de la vegetación muerta, el sector de Peine registra la mayor cobertura con un 51,6%, seguido del sector Tilopozo con un 24,1%. Estos altos valores de rastrojo indican principalmente el deterioro de la cobertura observado en los herbazales de *S. californicus*, con baja actividad biológica y una fisonomía general de recesión en las formaciones en ambos sectores, sumado al daño antrópico detectado en Peine, con huellas de vehículo que pasaron en las transectas de este herbazal, además del pisoteo y ramoneo observado en las transectas T19 y T29 en Tilopozo (**Tabla N° 6-25**).

Finalmente, la riqueza de especies se observa entre cuatro y siete especies de flora vascular por sector (**Tabla N° 6-25).** La **Tabla N° 6-26**, muestra la riqueza y composición de las especies presentes por subsector.

Tabla N° 6-25. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 17 (invierno 2024)

Subsector	Transectos en el sector	Promedio de la cobertura absoluta por sector		Riqueza (No. De especies)
		Vegetación (%)	Vegetación muerta - Rastrojo (%)	
La Punta y La Brava	4	17,5%	11,7%	5
Peine	9	16,1%	51,6%	5
Aguas de Quelana	3	26,6%	11,1%	4
Soncor*	0	-	-	-
Tilopozo	14	12,9%	24,1%	7

Donde: * Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo M17 debido a malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6-26. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 17 (invierno 2024)

Especie	Sub-sector Área de estudio			
	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Tilopozo
Baccharis juncea (Cass.) Desf.		x		x
Distichlis spicata (L.) Greene		x		x

Especie	Sub-sector Área de estudio			
	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Tilopozo
Juncus balticus Willd.	x			x
Lycium humile Phil.	x			x
Nitrophila atacamensis (Phil.) Hieron. ex Ulbr.	x		x	x
Puccinellia frigida (Phil.) I.M. Johnst.			x	
Salicornia neei Lag. (ex *Sarcocornia fruticosa)* (L. A.J. Scott)	x	x	x	
Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Soják		x		x
Tessaria absinthioides (Hook. & Arn.) DC.		x		x
Triglochin concinna Burtt Davy	x		x	
Riqueza total por subsector	**5**	**5**	**4**	**7**

Donde: * Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo M17 debido a malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.2 Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de verano de 2025

6.2.2.2.1 Formaciones vegetales

En **Tabla N° 6-27**, se presentan los tipos de vegetación identificados en cada una de las transectas durante la campaña de verano 2025.

Nuevamente como cada campaña, por problemas de accesibilidad, no fue posible registrar la transecta T14 que se localiza en un área desprovista de vegetación (costra salina) en el sector de Soncor (Laguna Barros Negros). Cabe recordar que la transecta T14 no se ha podido realizar desde el primer levantamiento en Monitoreo Base 0 (MB0, julio 2016) por las malas condiciones del camino de acceso, es por esto que se ha incluido un punto adicional COT (RPV015) para validar el ambiente “sin vegetación” en cada monitoreo, aunque en este monitoreo no fue posible visitar este punto COT debido a la coordinación con distintas comunidades y CONAF.

Tabla N° 6-27. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.

TIPO DE FORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL	ESPECIE(S) ACOMPAÑANTE(S)	TRANSECTAS	SECTOR
Herbazal	Azonal	Herbazal de *Distichlis spicata*	*Baccharis juncea*, *Lycium humile*	T08; T09; T20; T21; T22; T26; T27; T28	Peine y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de *Juncus balticus*	*Distichlis spicata*, *Lycium humile*	T13; T18; T30; T31	La Punta La Brava y Tilopozo
Herbazal	Azonal	Herbazal de *Schoenoplectus californicus*	*Baccharis juncea*, *Distichlis spicata*,	T01; T02; T03; T04; T19; T29	Peine y Tilopozo

TIPO DE FORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL	ESPECIE(S) ACOMPAÑANTE(S)	TRANSECTAS	SECTOR
			Salicornia neei (ex *Sarcocornia fruticosa)*		
Herbazal	Azonal	Herbazal de *Triglochin concinna*	*Nitrophila atacamensis*	T10*; T11*	La Punta La Brava
Matorral	Azonal	Matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa)*	*Nitrophila atacamensis*, *Puccinellia frigida*	T12*; T15*; T16*; T17*	La Punta La Brava y Aguas de Quelana
Matorral	Zonal	Matorral de *Tessaria absinthioides*	*Atriplex atacamensis, Distichlis spicata*	T05; T06; T07; T23; T24; T25	Peine y Tilopozo
Sin vegetación/Salar		Área desprovista de vegetación	-	T14*	Soncor

Dónde: *: Transectas control vegetación.
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la descripción de las formaciones vegetales, en la **Tabla N° 6-28**, se presentan las principales características de las transectas para el monitoreo de verano 2024, tanto de vegetación (riqueza, formación COT asociada, especies dominantes y grado de alteración) como de las condiciones físicas del terreno (humedad del suelo y salinidad). La fisonomía de las formaciones vegetales y del área desprovista de vegetación en Soncor se pueden observar en las siguientes fotografías **Fotografía N° 6-12, Fotografía N° 6-13, Fotografía N° 6-14, Fotografía N° 6-15, Fotografía N° 6-16y Fotografía N° 6-17**.

Tabla N° 6-28. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 18 (verano 2025), en cada subsector

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración	Riqueza
Herbazal de *Distichlis spicata*	Peine	T08	H5	dp bj	No saturado	>80%	2	2
		T09	H4	dp	No saturado	>80%	2	1
	Tilopozo	T20	H5	dp	No saturado	>80%	2	1
		T21	H2	dp	No saturado	>80%	2	2
		T22	LB2 H2	dp Lh	No saturado	>80%	2	3
		T26	H2	dp	No saturado	>80%	3	1
		T27	H2	dp	No saturado	<10%	2	1
		T28	H3	dp	No saturado	>80%	2	1
	Riqueza total en formación vegetal							**4**
Herbazal de *Juncus balticus*	La Punta	T13	LB3 H3	Lh jb	No saturado	>80%	1	2
	Tilopozo	T18	LB1 H2	jb (Lh)	No saturado	>80%	2	2
		T30	LB1 H3	jb dp (Lh)	No saturado	>80%	3	3
		T31	LB2 H2	Lh jb dp	No saturado	>80%	2	3
	Riqueza total en formación vegetal							**3**
Herbazal de *Schoenoplectus californicus*	Peine	T01	H6	sca bj	Sobresaturado	10-30%	2	5
		T02	H6	sca	Sobresaturado	<10%	2	4
		T03	H6	sca bj	Sobresaturado	10-30%	2	4
		T04	H6	sca	Saturado	<10%	1	4
	Tilopozo	T19	H5	sca dp	No saturado	<10%	2	2
		T29	H3	sca dp	No saturado	<10%	3	3
	Riqueza total en formación vegetal							**6**
Herbazal de *Triglochin concinna*	La Brava	T10	H1	nia tc	Saturado	>80%	1	1
	La Punta	T11	LB2 H4	Sn tc	Sobresaturado	>80%	1	2
	Riqueza total en formación vegetal							**3**
Matorral de *Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa*	La Punta	T12	LB3 H4	Sn pu	Saturado	>80%	1	1
	Aguas de Quelana	T15	LB3 H2	Sn nia	Saturado	>80%	1	3
		T16	LB3 H1	Sn	No saturado	>80%	2	1
		T17	LB4	Sn	No saturado	>80%	1	1
	Riqueza total en formación vegetal							**3**
Matorral de *Tessaria absinthioides*	Peine	T05	LB2	Tb	No saturado	10-30%	2	1
		T06	LB3 H1	Tb Aa	No saturado	<10%	2	2
		T07	LB4	Tb Aa	No saturado	<10%	1	1

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración	Riqueza
	Tilopozo	T23	LB4	Tb	No saturado	>80%	2	1
		T24	LB4 H3	Tb dp	No saturado	30-50%	2	3
		T25	LB4 H3	Tb dp	No saturado	<10%	2	2
	Riqueza total en formación vegetal							**3**
Área desprovista de vegetación	Soncor*	T14	ADV	-	-	-	-	-

*Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo 18 debido a malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.

Donde:

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

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-12. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en verano 2025, en distintas transectas de estudio



Donde: T08 en sector Peine y T20 en sector Tilopozo.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-13. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en verano 2025, en transectas de estudio



Donde: T02 y T04 en sector Peine y T19, T29 en sector Tilopozo.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-14. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en verano 2025, en transectas de estudio



Donde: T13 en subsector La Punta y T31 en sector Tilopozo.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-15. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en verano 2025, en transectas de estudio



Donde: T10 en subsector La Brava y T11 en subsector La Punta.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-16. Fisonomía de matorral de *Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa)* en verano 2025, en transectas de estudio



Donde: T12 en subsector La Punta y T15 en subsector Aguas de Quelana.
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 6-17. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en verano 2025, en transectas de estudio



Donde: T05 y T07 en sector Peine y T24, T25 en sector Tilopozo.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.2.2 Composición y cobertura

6.2.2.2.2.1 Cobertura absoluta de especies (variación temporal)

La cobertura absoluta de las especies, calculada para el Monitoreo 18 (M18; verano 2025), se presenta por transecta en las siguientes figuras ordenadas por sector junto a las coberturas de vegetación y rastrojos registradas en todos los monitoreos de verano, Monitoreo 2 (M2; 2017), Monitoreo 4 (M4; 2018), Monitoreo 6 (M6; 2019), Monitoreo 10 (M10; 2021), Monitoreo 12 (M12; 2022), Monitoreo 14 (M14; 2023) y Monitoreo 16 (M16; 2024), observando a su vez, la composición comunitaria que presenta cada formación vegetal, ver **Figura N° 6-20, Figura N° 6-21, Figura N° 6-22** y **Figura N° 6-23**. Cabe recordar que el Monitoreo 8 (verano 2020) no fue realizado por temas de seguridad, a raíz de la pandemia COVID-19.

En **Figura N°1-1** a **Figura N°1-11** en **Anexo Vegetación y Flora Vol. 1**y en **Base de Datos de Consulta** se presentan los valores de cobertura absoluta del Monitoreo 18 y monitoreos anteriores en mayor detalle.

El **sector Peine** presenta las mayores coberturas vegetales en la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en todos los monitoreos de verano, registrando en M18 una cobertura absoluta dominante para esta especie sobre un 75% en las cuatro transectas (T01, T02, T03 y T04). En la **Figura N° 6-20** se observa que la cobertura de *S. californicus* se mantiene alta en todos los veranos, si bien algo menor que la cobertura registrada en MB0, sobre todo en las transectas T02 y T04 en algunos monitoreos (M4 y M16 principalmente), lo que puede estar influenciado por la época del muestreo en un verano post-lluvias más tardío (mayo), para el caso del verano anterior (M16), donde la actividad fotosintética empieza a disminuir y las especies comienzan a perder vigor, no obstante, las coberturas siguen siendo mayores que la disminución observada en M4 (verano 2018). Las especies acompañantes en esta formación presentan variabilidad de coberturas entre formaciones y monitoreos, registrando en general una cobertura menor en M18 respecto a la cobertura referencial de MB0 (invierno) y que el verano anterior (M16), con algunas excepciones, donde T04 se observa más estable en M18 respecto al último verano. Destaca igualmente, la aparición de nuevos registros en M18 con *Triglochin concinna* en T01 y T03 y *Eleocharis pseudoalbibracteata* en T02, aunque con escasa cobertura absoluta (≤2%) para los tres casos. Por otro lado, la cobertura de rastrojo se muestra variable en el tiempo, destacando en M18 el aumento en T02 (54,0%) aunque junto a uno de los mayores aumentos de cobertura vegetal después de MB0 (M18; 77,6%) y en general una disminución del rastrojo en M18, siendo notoria la disminución en T04 de un 93,6% en M16 a un 3,6% en M18, junto a un aumento de la cobertura vegetal en este verano, recuperándose la cobertura para las tres especies principales (*S. californicus*, *D. spicata* y *B. juncea*).

En el mismo sector, las coberturas vegetales en las formaciones de *D. spicata* se observan variables en el tiempo, donde la especie dominante *D. spicata* muestra un descenso de su

cobertura en el tiempo, aunque un leve aumento en M18 en el caso de T09 respecto al mayor descenso registrado en M16. Respecto a la cobertura muerta, ésta aumenta en el tiempo desde MB0, aunque en M18 disminuye en ambas transectas respecto al verano anterior, ver **Figura N° 6-20.**

En los matorrales de *T. absinthioides* del sector Peine, si bien se observaba una disminución de las coberturas en M18 respecto a MB0, las coberturas son variables entre monitoreos, registrando inclusive en M18 un aumento de la cobertura de *T. absinthioides* en T05 y T07, respecto a veranos anteriores (**Figura N° 6-20**). La cobertura muerta en esta formación se observa estable en los últimos monitoreos de verano (M10 a M18), con leves aumentos y disminuciones.

Respecto a la composición comunitaria en el sector de Peine, ésta se observa estable entre monitoreos, albergando en similar proporción a las especies dominantes y acompañantes en cada una de las transectas monitoreadas, aunque con algunas variaciones menores en especies que presentan una mínima cobertura vegetal (<5%) como es el caso de *Salicornia neei (ex . S. fruticosa)* y *Puccinellia frigida* que disminuyen o aumentan sus coberturas en algunos monitoreos en los herbazales de *S. californicus* (T01, T02, T03 y T04) y las especies *Triglochin concinna* y *Eleocharis pseudoalbibracteata* que aparecen con baja cobertura en M18, y en esta misma formación destaca la presencia de *Baccharis juncea* como especie codominante en las transectas T02 y T03, donde se alcanzan coberturas mayores al 50% en algunos veranos y en M18 disminuye notoriamente en T02 (2,0%). Por último, destaca la presencia de las especies *Atriplex atacamensis*, *Cistanthe densiflora* y *Tiquilia atacamensis* en la transecta T07 en un matorral de *T. absinthioides*, registradas únicamente en el monitoreo M6 (verano 2019) con menos de un 1% de cobertura absoluta, así como la presencia de *Puccinellia frigida* que solo fue registra en herbazales de *S. californicus* (T01 y T02) en el verano 2022 (M12).

El **sector Tilopozo** presenta más variedad de formaciones y transectas en el monitoreo, registrando a su vez, variabilidad de coberturas y composición (especies) entre un mismo tipo de formación (**Figura N° 6-21**). En el herbazal de *D. spicata*, solo una transecta presenta más de un 20% de cobertura absoluta para esta especie (T20), desde MB0 (36,4%) y con el mayor registro de 41,8% en M18. Asimismo, en tres transectas se registra menos de un 10% de cobertura absoluta para *D. spicata*, en los monitoreos de verano y MB0 (T21, T26 y T27), presentando coberturas estables en el tiempo, donde T26 se observa con un descenso leve de la cobertura. Se destaca igualmente, que todas las transectas presentan una proporción importante de rastrojo en relación con la cobertura de las especies en M18, siendo mayor el rastrojo (R) en la transecta T28. Respecto a la composición comunitaria en estos herbazales, se observa estable, aunque varía en especies que no presentan más de un 5% de cobertura entre los monitoreos de verano, como *Nitrophila atacamensis* en T20 que no se registra desde M4, *Lycium humile* en T21 que no se registra en algunos veranos, *Juncus balticus* en T22 con una cobertura mínima en solo dos monitoreos y *Salicornia neei (ex S. fruticosa)* en T28 que solo se registró en verano-M10.

El herbazal de *S. californicus* presenta las mayores diferencias entre monitoreos en el sector Tilopozo desde MB0 que registra coberturas de un 100% para la especie dominante (**Figura N° 6-21**). Las transectas T19 y T29 presentaron disminución de la cobertura vegetal de la especie *S. californicus* en el tiempo, con los menores registros en M14 en T19 (20,8%) y en M16 en T29 (7,2%), pero ahora en verano 2025, ambas transectas presentan un aumento de esta cobertura en M18 (58,6% en T19; 44,0% en T29). Por otro lado, resalta la pérdida de cobertura de la especie *Baccharis juncea* en el tiempo, sin registro en este verano en T19 y con un 0,8% en T29. Respecto al rastrojo en la formación, ha aumentado en el tiempo, aunque en M18 registra menor cobertura que en el verano anterior en ambas transectas.

Cabe destacar que, en este sector, si bien se han observado signos de perturbación por pisoteo de ganado que ha provocado inclusive la pérdida de cobertura vegetal en algunas áreas (parches con suelo desnudo), la cobertura vegetal se mantiene activa y con regeneración. Respecto a la composición comunitaria en esta formación, destaca la ausencia mencionada de *B. juncea* en T19, así como la variación observada para la especie *Eleocharis* sp. que aparece en el monitoreo M10 con una cobertura de 7,8% y se mantiene con una cobertura similar en M12, no obstante, en los últimos monitoreos no se registra su presencia. Además, en M16 se suma, aunque en muy baja cobertura (0,4%), la especie *Juncus balticus* en T19, la cual no se registra en M18.

Por su parte, el herbazal de *J. balticus* en Tilopozo muestra un descenso de las coberturas con respecto a la cobertura referencial de MB0 (invierno), aunque variable entre los monitoreos de verano (**Figura N° 6-21**), en M16 destacaba el aumento de cobertura en T18 y T30 para todas las especies, respecto al verano anterior, inclusive con un aumento mayor para *J. balticus* y *D. spicata* en T30, pero en M18 disminuyen nuevamente las coberturas en las tres transectas, sobre todo para la especie *J. balticus* en T30 (3,2%). Entre las especies acompañantes, destaca la presencia de *L. humile* en T31, que ha aumentado su cobertura en el tiempo, registrando en M18 mayor cobertura (4,6%) que la especie *J. balticus* que ha ido reduciendo su presencia en la transecta (0,4%). En relación con el rastrojo en esta formación, en general se observa un aumento con respecto a monitoreos anteriores y MB0, aunque en M18 disminuyen las coberturas en las tres transectas, respecto a los máximos registrados en el verano anterior (M16).

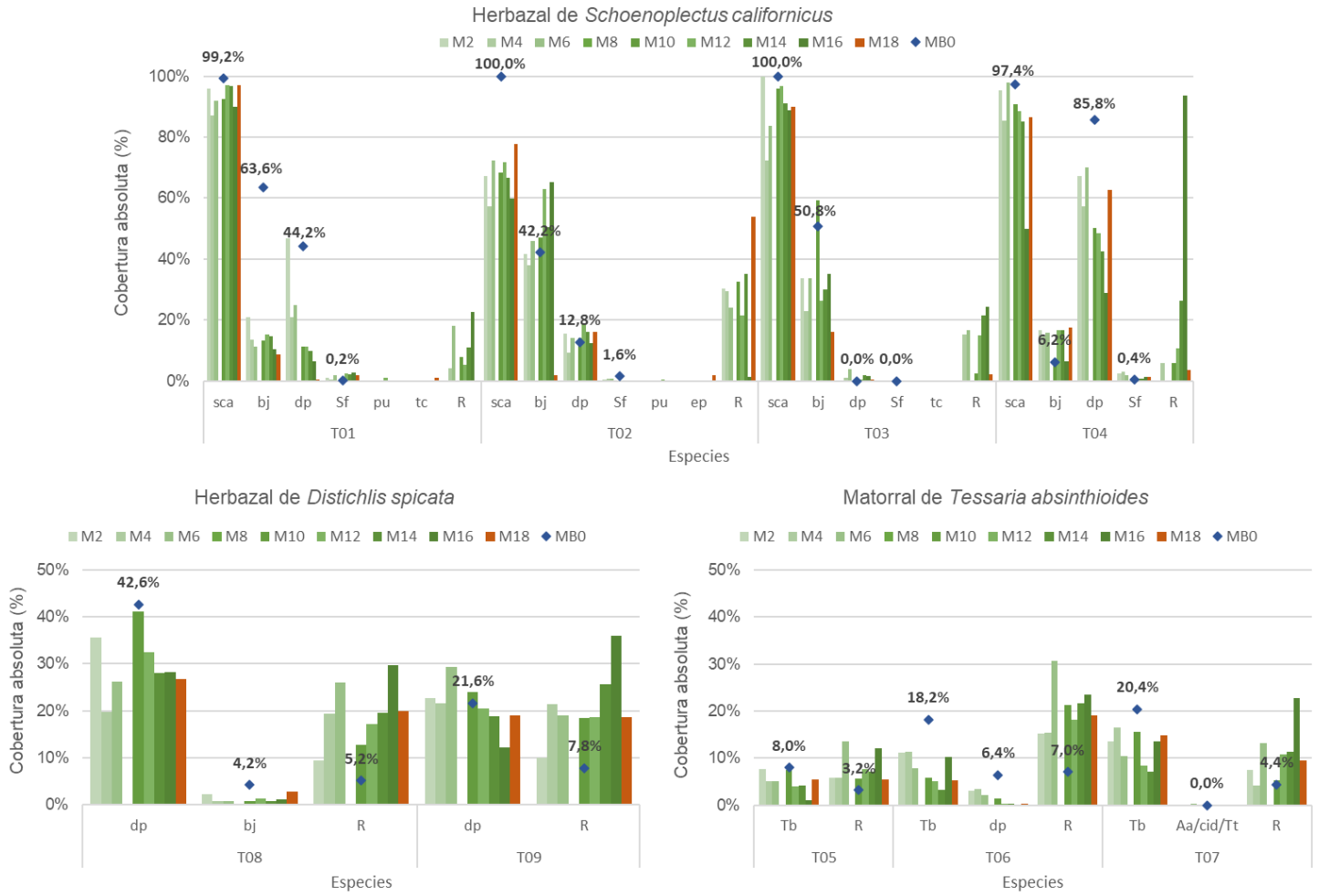
El matorral de *T. absinthioides* en el sector Tilopozo también refleja variabilidad de coberturas entre monitoreos (**Figura N° 6-21**), en las tres transectas con una cobertura en M18 menor a la registrada en el monitoreo referencial de MB0 (invierno), pero con coberturas variables entre los veranos, presentando en M18 un leve aumento de la cobertura para la especie *T. absinthioides* en las tres transectas, respecto a los últimos seis veranos, observando de esta forma una cobertura estable entre los veranos. En T24 la especie *D. spicata* registra la mayor cobertura en M18, respecto a MB0 y todos los veranos, en cambio el rastrojo presenta mayor variación en el tiempo, aunque igualmente disminuye su cobertura en M18, respecto al verano anterior (M16).

En el **sector La Punta y La Brava** se presentan tres tipos de formaciones, con variabilidad de cobertura y composición entre ellas y sus transectas (**Figura N° 6-22**). Las dos transectas del herbazal de *Triglochin concinna* tienen una estructura distinta en su cobertura horizontal, aunque en ambas destaca una disminución de la cobertura absoluta para su especie dominante. En el caso de T10, en M18 no se registra *T. concinna* de un 0,2% registrado en M16, y en T11 se registra la menor cobertura desde MB0 para la especie, con un 21,8%, destacando por otro lado, el aumento de la cobertura de S. fruticosa en T11, con el mayor registro en M18 (11,2%). La especie *N. atacamensis* en T10 ha presentado una cobertura marginal en el tiempo, manteniéndose ≤1% desde M6 a M18 y *P. frigida* no se registra en los últimos monitoreos de verano en ambas transectas, reflejando cambios en la composición comunitaria para especies acompañantes que no superan registros de un 2,0% de cobertura absoluta.

Por su parte, la especie dominante en las formaciones de herbazal de *J. balticus* de La Punta y La Brava (T13; **Figura N° 6-22**), presenta una cobertura dinámica entre monitoreos, registrando en M18 un aumento de la cobertura para *J. balticus* y *Lycium humile* respecto a veranos anteriores (16,6% y 20,6% en M18, respectivamente). En el matorral de *S. fruticosa* del sector, en M18 la cobertura de la especie dominante aumenta levemente (20,0%) respecto a la menor registrada en el verano anterior (M16; 17,6%) y manteniendo una cobertura de rastrojo similar entre veranos anteriores (M6 a M18).

El **sector Aguas de Quelana** presenta tres transectas de matorral de *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa*), aunque de distinta composición y cobertura vegetal entre ellas (**Figura N° 6-23**). La transecta T15 presenta mayor variedad de especies y en el tiempo ha presentado estabilidad en sus coberturas vegetales para las especies *S. fruticosa* y *Triglochin concinna*, ya que en el caso de *Nitrophila atacamensis* y *Puccinellia frigida* la cobertura ha disminuido en los últimos veranos, inclusive sin el registro de ésta última en los últimos dos veranos, así como un aumento del rastrojo en el tiempo, con un mayor registro en M18. Las transectas T16 y T17, presentan una disminución de la cobertura vegetal en su especie dominante desde el monitoreo base MB0, cobertura referencial de invierno, aunque en M18 la cobertura aumenta desde el registro de M16, que fue una de las menores coberturas de verano y de mayor cobertura de rastrojo. La composición comunitaria en estas formaciones es estable entre los monitoreos de verano, destacando la ausencia de *Puccinellia frigida* en M16 y M18, en la transecta T15.

Figura N° 6-20. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en el sector Peine



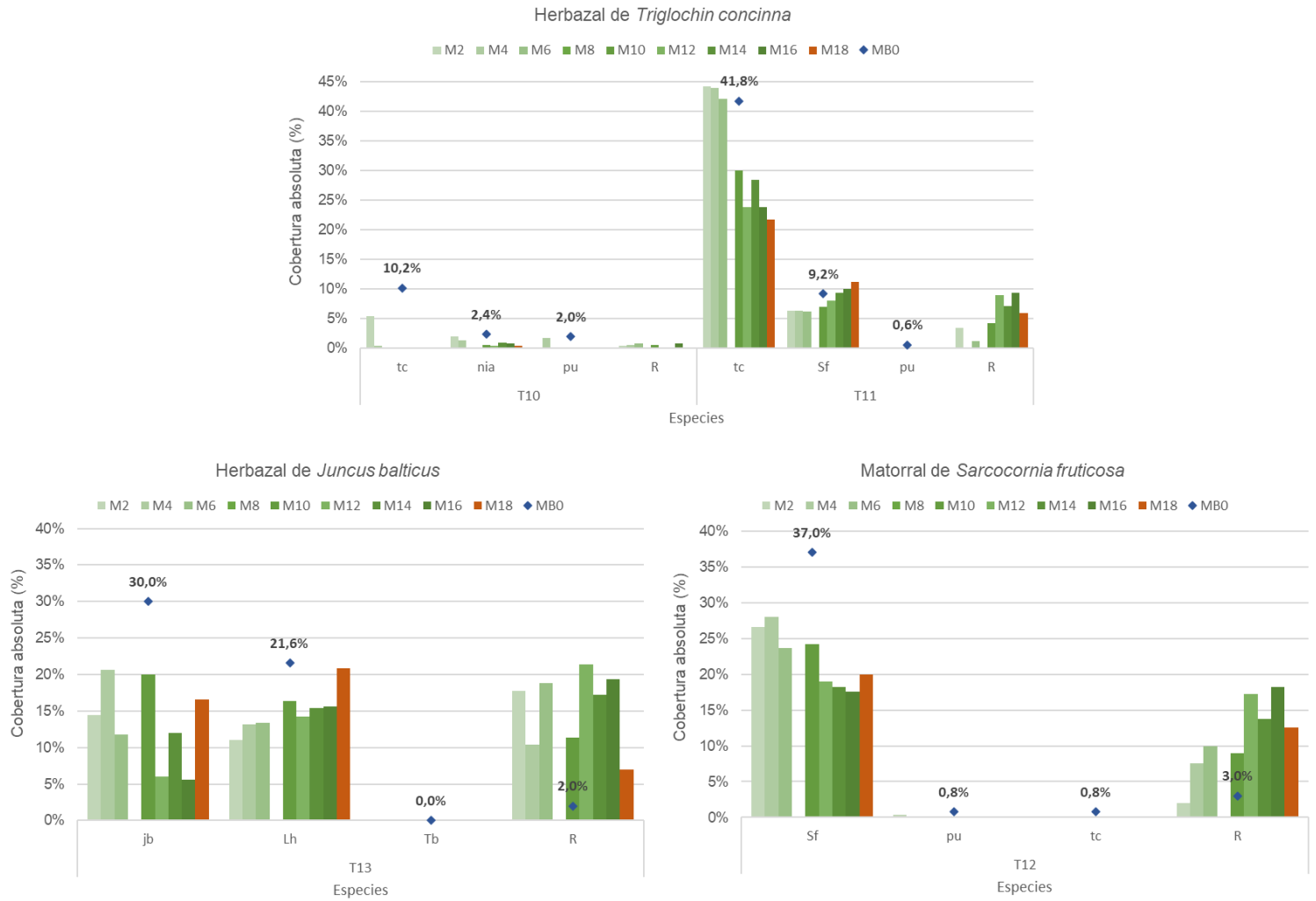
Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus,* bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata,* pu: *Puccinellia frigida*, cid: *Cistanthe densiflora*,Tb: *Tessaria absinthioides,* Sf: *Sarcocornia fruticosa* (*Sa*licornia neei), Aa: *Atriplex atacamensis,* Tt: *Tiquilia atacamensis,* R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 8 (M8) no se realizó por razones de seguridad a causa de la pandemia COVID-19.
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-21. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Tilopozo



Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus,* bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata,* jb: *Juncus balticus* nia: *Nitrophila atacamensis*, esp: *Eleocharis* sp., Tb: *Tessaria absinthioides,* Lh: *Lycium humile,* Sf: *Sarcocornia fruticosa (Salicornia neei);* R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 8 (M8) no se realizó por razones de seguridad a causa de la pandemia COVID-19.
Fuente: Elaboración propia.

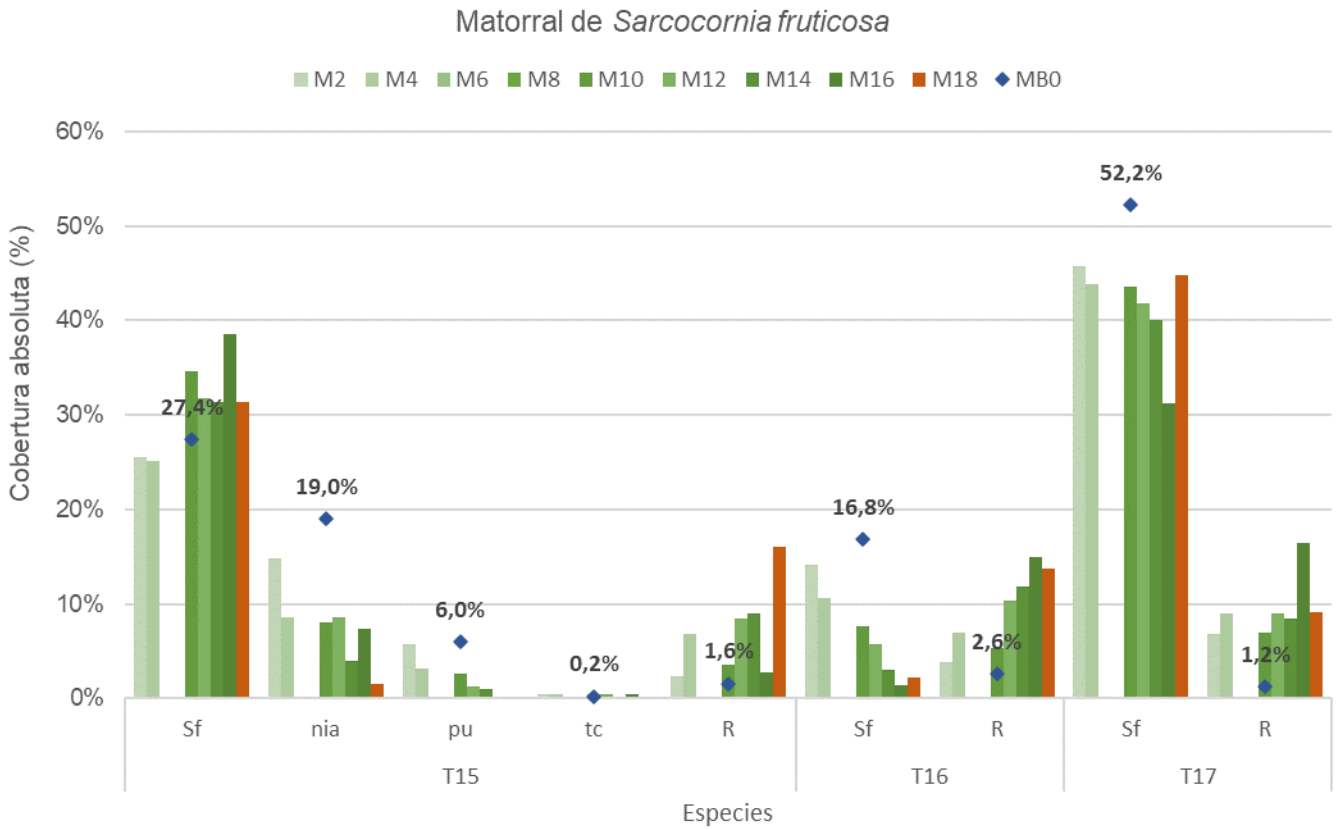
Figura N° 6-22. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector La Punta y La Brava



Donde: Especies: jb: *Juncus balticus,* nia: *Nitrophila atacamensis,* pu: *Puccinellia frigida,* tc: *Triglochin concinna,* Sf: *Sarcocornia fruticosa (Salicornia neei),* Lh: *Lycium humile,* Tb: *Tessaria absinthioides;* R: rastrojo (cobertura muerta); Monitoreo 8 (M8) no se realizó por razones de seguridad a causa de la pandemia COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6-23. Cobertura absoluta de las especies registradas en monitoreos de verano, en sector Aguas de Quelana



Donde: Especies: nia: *Nitrophila atacamensis,* pu: *Puccinellia frigida,* tc: *Triglochin concinna,* Sf: *Sarcocornia fruticosa* (*Salicornia neei*), R: rastrojo (cobertura muerta);
Monitoreo 6 (M6): sin muestreo de transectas por restricciones de acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos, según indicaciones de CONAF regional.
Monitoreo 8 (M8) no se realizó por razones de seguridad a causa de la pandemia COVID-19.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.2.2.2 Cobertura y riqueza de transectas (Monitoreo 18 - verano 2025)

En la **Figura N° 6-24** se presentan las coberturas absolutas, las coberturas promedio de la vegetación, la cobertura de rastrojo y de otros recubrimientos, además de la riqueza, para cada una de las transectas monitoreadas en la campaña de verano 2025 (Monitoreo 18), ordenadas por sector de estudio.

En **Figura N°1-1** a **Figura N°1-11** en **Anexo Vegetación y Flora Vol. 1** se presentan los valores de cobertura absoluta y promedio de M18 y en **Base de Datos de Consulta** todos los registros del PMB, incluido MB0**.**

En **sector Peine** se observa la mayor cobertura absoluta por transectas en los herbazales de *S. californicus,* en M18 (sobre un 100% en tres de las cuatro transectas), a diferencia de la cobertura promedio (bajo un 50%) dada la riqueza de especies que presenta esta formación (4 a 5 especies), indicando que hay superposición de cobertura entre ellas y representando una formación de alta cobertura vegetal con un registro casi nulo de otros recubrimientos (**Figura N° 6-24**). En el herbazal de *D. spicata* y matorral de *T. absinthioides* la mayor cobertura por transecta está representada por “otros recubrimientos”, donde T09 y las tres transectas del matorral registran coberturas vegetales bajo un 20%. Respecto a la cobertura de rastrojos, esta es variable entre las transectas, en general bajo un 20%, exceptuando a T02 (herbazal de *S. californicus*) con un 54,0% de cobertura muerta.

En relación con la composición comunitaria, la riqueza de especies varía entre 1 a 5 especies en las transectas del sector Peine. El herbazal de *S. californicus* registra la mayor riqueza con un máximo de cinco especies en T01, seguido de cuatro especies en T02, T03 y T04 (**Figura N° 6-24**). La cobertura de otros recubrimientos en el sector de Peine está representada por costra salina en los herbazales de *D. spicata* (T08 y T09) mientras que en el matorral de *T. absinthioides* esta cobertura es variable, representada principalmente por costra salina terrosa y en menor proporción por sustrato terroso en las tres transectas, en el herbazal de *S. californicus*, destaca la presencia de agua superficial, aunque en baja cobertura (≤3,0% en T01, T02 y T03) y presencia de otros recubrimientos en las cuatro transectas, entre costra salina, costra salina terrosa y sustrato terroso (ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora y en Base de Datos de Consulta**).

En el **sector Tilopozo** se observa una mayor representatividad de otros recubrimientos por sobre la cobertura vegetal, exceptuando las transectas del herbazal de *S. californicus* que registran sobre un 50% de cobertura vegetal en M18 (**Figura N° 6-24**). En el herbazal de *D. spicata* solo una transecta muestra una cobertura vegetal mayor en M18 (41,8% en T20) en contraste con T21, T22, T26, T27 y T28 que registran menos de un 15% de cobertura absoluta, destacando a T26 (borde salar) con la menor cobertura vegetal (1,4% en M18), asimismo una mayor cobertura de rastrojo que de vegetación en todas las transectas (excepto T20). En cuanto a las transectas del herbazal de *J. balticus,* T30 registra la mayor cobertura en M18 (16,6%), mientras que T18 y T31 registran menos de un 10% de cobertura vegetal en este verano. En el matorral de *T. absinthioides,* destaca la transecta T24 con un

41,4%, en contraste a las transectas T23 y T25 con menos de un 10% de cobertura vegetal. Por su parte, resalta el mayor registro de rastrojo en T29 (55,0%) y T19 (37,6%), ambas en el herbazal de *S. californicus*, en el resto de las transectas el rastrojo es menor al 30%.

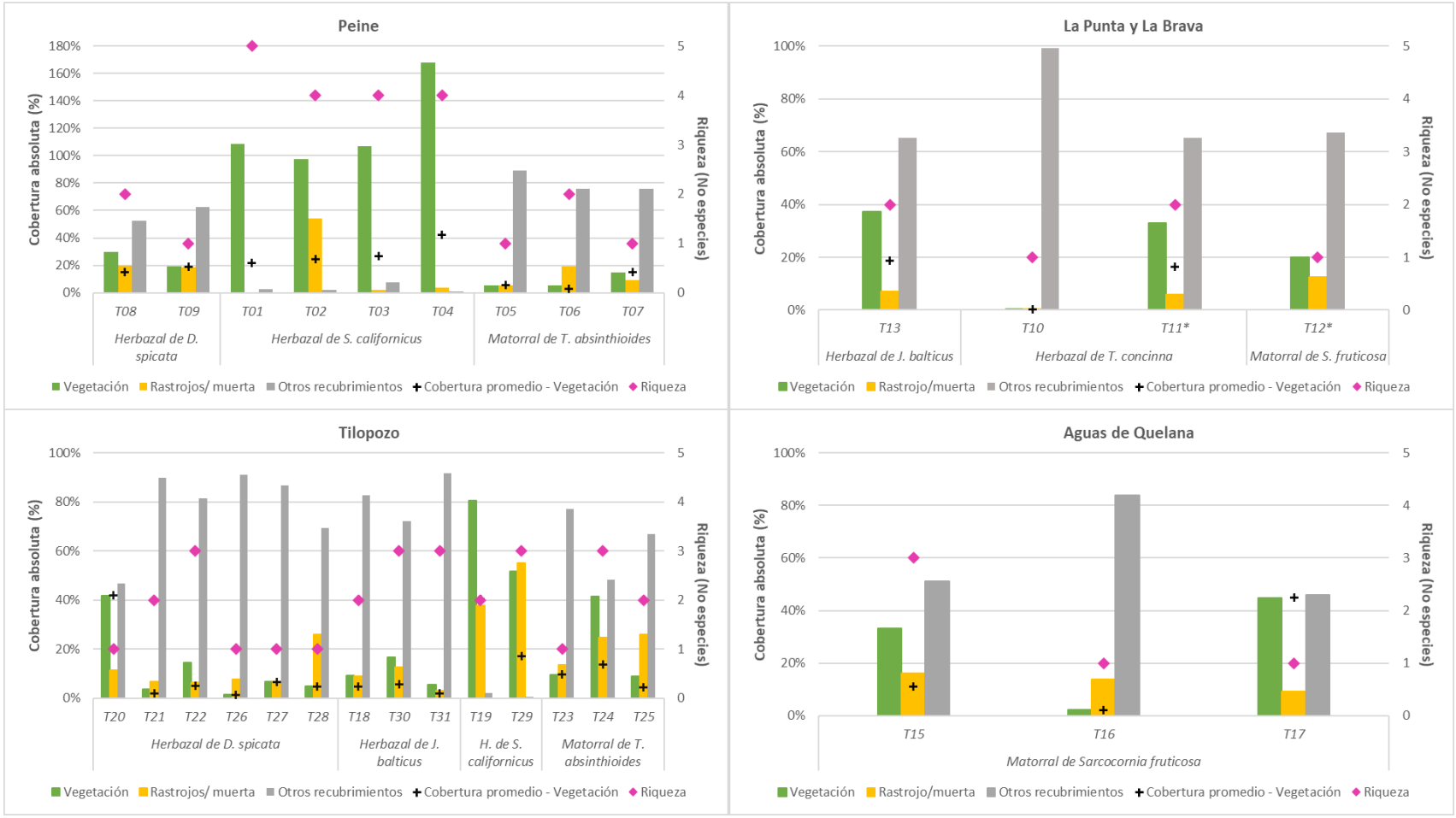
La composición comunitaria en el sector Tilopozo presenta una riqueza de especies variable entre transectas, entre 1 a 3 especies en las transectas en M18. En T22 (herbazal de *D. spicata*), T30-T31 (herbazal de *J. balticus*), T29 (herbazal de *S. californicus*) y T24 (matorral de *T. absinthioides*) se registra la mayor riqueza con tres especies (**Figura N° 6-24**).

La cobertura de otros recubrimientos en el sector está representada principalmente por costra salina, en los herbazales de *J. balticus*, en las transectas T20, T21, T22, T26 y T28 de *D. spicata* y en T23 en matorral de *T. absinthioides*. Y se registran otros tipos recubrimientos en las transectas T27 de *D. spicata* con sustrato terroso y una porción de costra salina terrosa, así como en T28 también una porción menor de ambos recubrimientos. En T24 y T25 en matorrales de *T. absinthioides* la cobertura está representada por costra salina terrosa y en los herbazales de *S. californicus* una mínima porción de costra salina terrosa en T19 y de sustrato terroso en T29 (<2%), ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora y en Base de Datos de Consulta**.

En el **sector de La Punta y La Brava** también se observa mayor representatividad de otros recubrimientos, presentando coberturas vegetales entre 20% y 40% en tres de las cuatro transectas del sector en M18, exceptuando a T10 que registra un 0,4% de cobertura vegetal en un herbazal de *Triglochin concinna*, en el subsector La Brava (**Figura N° 6-24**). La cobertura de rastrojo es menor a un 15% en las cuatro transectas del sector y la composición comunitaria muestra una baja riqueza, entre 1 a 2 especies por transecta. En relación con los otros recubrimientos, este sector presenta mayor variabilidad en los tipos de cobertura, aunque la mayor representatividad es la costra salina en T11, T12 y T13, seguido de la costra salina saturada en T10, T11 y T12, adicionalmente se registra costra salina sobresaturada en T11 y, además la presencia de agua superficial en la transecta T10 (48,6%) y T11 (0,8%), ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora y en Base de Datos de Consulta**.

En el **sector Aguas de Quelana** también se observa mayor representatividad de otros recubrimientos (sobre un 45%) en M18, presentando en dos transectas coberturas vegetales entre 30 y 45% (33,2% en T15 y 44,8% en T17), en contraste a la transecta T16 con un 2,2% de cobertura vegetal. En cuanto a la cobertura muerta, se registra menos de un 20,0% de rastrojo en las tres transectas (**Figura N° 6-24**). La composición comunitaria del sector muestra una baja riqueza, entre 1 a 3 especies por transecta, siendo el máximo de tres en T15. Respecto a los otros recubrimientos, se representa principalmente por costra salina en todas las transectas, y en el caso de T15 una mayor proporción de costra salina saturada en M18, ver detalle en **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**.

Figura N° 6-24. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 18 (verano 2025)



*Transectas T12, T15, T16 y T17 matorrales de *Sarcocornia fruticosa*, recordar que esta especie actualizó su nombre a *Salicornia neei*
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2.2.2.3 Cobertura promedio y composición del sector (Monitoreo 18 - verano 2025)

En la **Tabla N° 6-29** se observan los valores promedios del Monitoreo M18 (verano 2025) de cobertura por sector, donde destaca el subsector de Peine con la mayor cobertura promedio de vegetación (61,8%).

Seguidamente, el subsector Aguas de Quelana presenta una cobertura vegetal promedio de 26,7%, a diferencia del subsector Soncor, que se encuentra aledaño a éste y, que nunca ha presentado cobertura vegetal, ya que su transecta de monitoreo (T14) se encuentra sobre una costra salina y el sector corresponde mayoritariamente a un área desprovista de vegetación (salar). Por otra parte, La Punta y La Brava tiene una cobertura promedio similar de 22,7%, representando formaciones con vegetación parchosa correspondientes a herbazales de *Triglochin concinna* que se desarrollan en bordes de lagunas y, por último, el sector Tilopozo presenta la menor cobertura promedio por sector de 21,1%, y a su vez, la mayor cobertura de rastrojo con un promedio de 17,6% (**Tabla N° 6-29**).

En referencia a la cobertura promedio de la vegetación muerta, el subsector de Peine registra un 14,7%, seguido de La Punta y La Brava y Aguas de Quelana con menos de un 15% de rastrojo en M18 (**Tabla N° 6-29**).

Finalmente, la riqueza de especies se observa entre tres y siete especies de flora vascular por sector, destacando la mayor riqueza en Peine dada la aparición de dos nuevos registros en M18, correspondientes a *Eleocharis pseudoalbibracteata* y *Triglochin concinna* (**Tabla N° 6-29**). La **Tabla N° 6-30**, muestra la riqueza y la composición de las especies presentes por subsector.

Tabla N° 6-29. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 18 (verano 2025)

Subsector	Transectos en el sector	Promedio de la cobertura absoluta por sector		Riqueza (No. De especies)
		Vegetación (%)	Vegetación muerta - Rastrojo (%)	
La Punta y La Brava	4	22,7%	6,5%	5
Peine	9	61,8%	14,7%	7
Aguas de Quelana	3	26,7%	13,0%	3
Soncor*	0	-	-	0
Tilopozo	14	21,1%	17,6%	6

Donde: * Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo M18 debido a restricciones de acceso y malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6-30. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 18 (verano 2025)

Especie	Subsector Área de estudio*			
	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Tilopozo
Baccharis juncea (Cass.) Desf.		x		x
Distichlis spicata (L.) Greene		x		x
Eleocharis pseudoalbibracteata S. González & Guagl.		x		
Juncus balticus Willd.	x			x
Lycium humile Phil.	x			x
Nitrophila atacamensis (Phil.) Hieron. ex Ulbr.	x		x	
Salicornia neei Lag. (ex *Sarcocornia fruticosa* (L.) A.J. Scott)	x	x	x	
Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Soják		x		x
Tessaria absinthioides (Hook. & Arn.) DC.		x		x
Triglochin concinna Burtt Davy	x	x	x	
Riqueza total por subsector	**5**	**7**	**3**	**6**

Donde: * Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo M18 debido a restricciones de acceso por malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.
Fuente: Elaboración propia.

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

De acuerdo con el Anexo N°2, Adenda 5 RWL (2015), en este acápite se presentan los resultados obtenidos a partir del método NVDI - imágenes satelitales, que representan la cobertura vegetal y su grado de vigorosidad, es decir, vegetación activa para la frecuencia comprometida de seguimiento, veranos en la serie 2016 a 2025.

Es importante recordar que, la extracción de los valores de NDVI se realiza en el área correspondiente a la superficie de la Carta de Ocupación de Tierras (COT), que representa la vegetación zonal, azonal y otros recubrimientos en cuatro sectores del Salar en la campaña de verano de 2025: (i) Tilopozo, (ii) La Punta y La Brava, (iii) Peine, (iv) Soncor y (v) Aguas de Quelana.

Según los valores obtenidos en base a la metodología descrita en la **sección 6.1.3.5**, los resultados de la superficie de vegetación activa por formación vegetal correspondiente a cada sector se detallan en la **Tabla N° 6-31** y se grafican en los archivos cartográficos presentados en el **Anexo I de Vegetación y Flora** de este Informe Anual.

En la **Tabla N° 6-31** se presenta el análisis de la superficie de vegetación activa, medida a través del NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) superior al cuartil 75%, en los sectores La Punta – La Brava, Tilopozo, Peine, Soncor y Aguas de Quelana, durante el período de verano entre 2016 a 2025. Este método proporciona una visión de la superficie

de mayor vigorosidad de la vegetación, permitiendo identificar cambios significativos en las formaciones vegetales.

La vegetación activa calculada para las formaciones vegetales de verano 2025, corresponde a 1.734,0 ha, superficie que representa un 5,2% de la superficie total de la COT (33.070,1 ha), incluyendo áreas desprovistas de vegetación (**Tabla N° 6-31**). la superficie con vegetación de la COT 2025 es de 7.814,1 ha, donde la vegetación activa representa un 22,2%. Esta diferencia de superficie se debe a que el índice NDVI responde a múltiples factores, donde su principal aporte es mostrar del estado general de la vegetación, principalmente de la vigorosidad o actividad de la vegetación que ocupa un área.

En **Tabla N° 6-31** se observa el porcentaje (%) de variación de la vegetación activa (NDVI 2025) respecto a la superficie de vegetación activa del verano anterior (2024). En general, se aprecia una disminución de la vegetación activa en 2025, respecto al año anterior. No obstante, a nivel de sector se observan variaciones, donde los sectores de Peine y Aguas de Quelana aumentan la superficie de vegetación activa en este verano, principalmente debido al incremento de los índices NDVI por encima del percentil 75% en las formaciones zonales (matorrales de los sectores de Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana). En cuanto a las formaciones azonales, también se registra un aumento en los valores de superficie con mayor vigorosidad en comparación con el año anterior en Peine y Aguas de Quelana; sin embargo, persiste la disminución desde 2022 de la superficie activa de las formaciones azonales en el sector Peine (asociada a formaciones dominadas por *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa)* y *Schoenoplectus californicus*.

Por sector, se observa que en Tilopozo, varias formaciones mantienen niveles de vegetación activa con variaciones moderadas a lo largo del período. Algunas unidades presentan un vigor relativamente estable entre monitoreos, mientras que otras evidencian diferencias interanuales en su expresión fisiológica. Estas fluctuaciones se distribuyen de forma diferenciada entre las formaciones, sin una tendencia uniforme en el tiempo.

En La Punta - La Brava, la vegetación activa muestra una expresión variable dentro de las formaciones, con registros que se alternan entre seguimientos con mayor o menor vigor. Algunas asociaciones presentan repeticiones en sus niveles de vegetación activa, mientras que otras reflejan una mayor variabilidad entre distintos momentos de monitoreo. Esta dinámica sugiere una respuesta fisiológica fluctuante, posiblemente vinculada a condiciones ambientales puntuales.

En Peine, las formaciones presentan un comportamiento heterogéneo en cuanto a su vegetación activa. Se observan unidades que repiten niveles altos de vigor en distintos seguimientos, mientras otras muestran contrastes notorios entre periodos. La distribución temporal de la mayor actividad dentro de las formaciones es diversa, sin un patrón lineal, aunque con repeticiones frecuentes en ciertas unidades.

En Aguas de Quelana, los niveles de vegetación activa se mantienen relativamente constantes en algunas formaciones, con oscilaciones contenidas. La variación fisiológica entre seguimientos es perceptible, aunque no abrupta, y tiende a expresarse en márgenes similares a lo largo del período. Se distinguen unidades cuya respuesta vegetativa conserva cierta regularidad.

Finalmente, en Soncor, las formaciones con registros de vegetación activa tienden a mantener un comportamiento fisiológico similar entre seguimientos, con cambios sutiles en su expresión. Aunque la cobertura general es más limitada en comparación con otros sectores, el vigor vegetativo dentro de estas unidades muestra persistencia y estabilidad relativa a lo largo del tiempo.

Las variaciones en la vegetación activa observadas en los distintos sectores pueden estar influenciadas por la capacidad adaptativa de las formaciones vegetales y el desarrollo de mecanismos que les permiten maximizar el uso de los recursos disponibles. Si bien las precipitaciones han sido generalmente escasas, su distribución temporal y espacial podría haber favorecido a ciertas zonas del salar, permitiendo un aprovechamiento más eficiente del agua por parte de la vegetación. En este contexto, los valores de NDVI pueden reflejar tanto los ciclos naturales de crecimiento y senescencia como eventos puntuales de activación fisiológica.

Tabla N° 6-31. Superficies de vegetación activa (NDVI) por sector, temporada de verano.

SECTOR	TIPO DE VEGETACIÓN	FORMACIONES VEGETALES	VA 2017 (ha)	VA 2018 (ha)	VA 2019 (ha)	VA 2020 (ha)	VA 2021 (ha)	VA 2022 (ha)	VA 2023 (ha)	VA 2024 (ha)	VA 2025 (ha)
Tilopozo	Zonal	Matorral de *Ephedra breana*	97,30	54,70	183,00	111,70	12,70	45,10	11,80	139,87	147,21
		Matorral de *Tessaria absinthioides*	172,30	7,80	22,10	7,90	21,50	13,10	12,10	18,23	12,22
	Azonal	Matorral - Vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*	118,00	132,10	137,80	134,30	217,50	409,60	232,00	286,34	213,14
		Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile* y *Distichlis spicata*	1,70	1,50	2,60	3,10	8,10	5,50	10,90	13,55	12,53
		Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile* y *Juncus balticus*	11,60	20,60	13,80	7,50	20,20	32,00	32,10	32,52	35,78
		Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile*, *Distichlis spicata* y *Schoenoplectus californicus*	7,30	6,70	3,30	7,20	2,50	3,80	4,30	4,13	4,13
		Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile*, *Juncus balticus* y *Distichlis spicata*	3,10	3,00	2,00	2,90	2,70	6,20	19,10	8,58	7,35
		Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile*, *Juncus balticus* y *Schoenoplectus californicus*	5,40	5,00	2,80	6,40	2,30	4,10	3,40	3,55	3,55
		Matorral hídrico - Vega de *Salicornia neei y Triglochin concinna*	1,20	3,30	4,30	3,40	0,60	1,30	1,80	2,84	2,87
		Matorral hídrico de *Lycium humile*	12,40	8,90	9,90	7,70	3,50	4,10	13,80	13,92	12,46
		Matorral hídrico de *Salicornia neei (ex. Sarcocornia fruticosa)*	3,90	-	3,60	-	1,30	1,80	0,90	1,12	1,11
		Vega de *Distichlis spicata*	41,30	32,40	118,80	136,30	72,00	106,40	103,00	133,65	99,40
		Vega de *Distichlis spicata* y *Baccharis juncea*	2,40	-	-	-	10,90	6,30	2,40	2,65	2,61
		Vega de *Distichlis spicata*, *Schoenoplectus californicus y Phragmites australis*	10,30	9,10	11,10	14,20	10,40	10,10	11,30	10,63	10,63
		Vega de *Juncus balticus*	63,90	85,00	43,50	21,30	13,10	20,10	22,80	44,27	38,27
		Vega de *Juncus balticus* y *Distichlis spicata*	8,20	4,90	3,20	16,40	-	3,70	2,80	4,61	5,84
		Vega de *Nitrophila atacamensis* y *Distichlis spicata*	-	-	-	-	-	0,30	5,30	6,74	6,74

SECTOR	TIPO DE VEGETACIÓN	FORMACIONES VEGETALES	VA 2017 (ha)	VA 2018 (ha)	VA 2019 (ha)	VA 2020 (ha)	VA 2021 (ha)	VA 2022 (ha)	VA 2023 (ha)	VA 2024 (ha)	VA 2025 (ha)
		Vega de *Schoenoplectus californicus*	28,00	7,90	8,00	9,10	5,90	8,80	22,90	12,39	2,91
		Vega de *Schoenoplectus californicus y Baccharis juncea*	5,10	-	9,40	12,30	-	-	-	2,67	1,93
		Vega de *Schoenoplectus californicus* y *Distichlis spicata*	0,50	1,10	-	1,50	-	1,90	1,80	0,75	6,71
		Vega de *Schoenoplectus californicus*, *Baccharis juncea* y *Distichlis spicata*	4,20	30,20	9,80	9,60	40,40	36,10	13,80	3,23	0,64
		Vega de *Triglochin concinna*	1,60	2,80	4,90	2,30	0,90	0,50	3,60	5,62	5,62
Total Tilopozo			599,70	417,00	593,90	515,10	446,50	720,80	531,90	751,85	633,65
La Punta y La Brava	**Azonal**	Matorral hídrico - Vega de *Salicornia neei* y *Triglochin concinna*	-	-	-	-	-	1,20	2,30	3,77	3,74
		Matorral hídrico de *Salicornia neei* y *Puccinellia frigida*	8,60	3,40	7,90	9,60	4,80	7,50	8,60	10,27	10,49
		Vega de *Distichlis spicata*	0,10	0,10	0,00	0,30	0,20	0,30	0,20	0,57	0,35
		Vega de *Nitrophila atacamensis, Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna*	4,10	0,70	2,70	2,30	-	0,60	0,30	0,27	0,27
		Vega de *Nitrophila atacamensis* y *Triglochin concinna*	-	1,60	0,60	1,10	1,30	-	-	0,32	0,32
Total La Punta - La Brava			12,80	5,80	11,20	13,30	6,30	9,60	11,40	15,19	15,17
Peine	**Zonal**	Matorral de *Adesmia imbricata*	65,40	82,80	23,30	15,50	5,20	7,10	9,60	37,04	37,03
		Matorral de *Aloysia deserticola* y *Adesmia imbricata*	1,20	3,00	1,90	1,50	1,40	1,80	1,60	2,32	2,32
		Matorral de *Aloysia deserticola* y *Atriplex atacamensis*	18,20	27,40	12,00	5,20	8,70	7,00	16,40	14,99	15,00
		Matorral de *Atriplex atacamensis*	106,30	146,30	75,40	88,00	115,20	80,10	29,90	103,54	101,76
		Matorral de *Tessaria absinthioides*	287,50	84,50	368,20	263,00	186,40	256,30	240,30	293,17	317,00
		Matorral de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*	-	67,40	36,80	22,00	18,50	33,30	40,80	59,69	45,29
	Azonal	Matorral - Vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*	152,60	27,00	112,50	64,50	151,40	159,80	128,30	133,31	140,08

SECTOR	TIPO DE VEGETACIÓN	FORMACIONES VEGETALES	VA 2017 (ha)	VA 2018 (ha)	VA 2019 (ha)	VA 2020 (ha)	VA 2021 (ha)	VA 2022 (ha)	VA 2023 (ha)	VA 2024 (ha)	VA 2025 (ha)
		Matorral hídrico - Vega de *Salicornia neei y Distichlis spicata*	-	4,10	2,90	3,90	5,30	6,00	6,50	2,21	2,23
		Matorral hídrico - Vega de *Lycium humile y Distichlis spicata*	1,20	0,90	0,90	0,80	0,80	1,10	0,80	0,81	1,40
		Vega de *Distichlis spicata*	13,30	14,60	11,40	16,60	12,10	26,80	36,80	7,00	17,38
		Vega de *Distichlis spicata* y *Baccharis juncea*	0,40	26,30	8,10	17,80	10,70	5,10	4,30	13,00	13,46
		Vega de *Schoenoplectus californicus* y *Baccharis juncea*	10,50	7,40	3,20	3,10	16,90	11,10	9,60	1,00	2,91
		Vega de *Schoenoplectus californicus*	20,30	4,50	4,00	4,80		5,50	4,90	0,03	5,07
Total Peine			676,90	496,20	660,60	506,70	532,60	601,00	529,80	668,09	700,92
Aguas de Quelana	**Zonal**	Matorral de *Tessaria absinthioides*	16,30	12,20	21,80	29,20	30,80	34,60	19,60	23,77	23,33
		Matorral de *Tessaria absinthioides* y *Lycium humile*	-	2,10	2,00	6,00	2,20	2,80	2,40	2,46	2,46
	Azonal	Matorral - Vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*	241,70	209,30	104,60	139,70	131,50	96,30	130,70	156,21	160,86
		Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa* y *Nitrophila atacamensis*	27,20	2,10	4,30	2,00	2,80	2,50	4,60	4,69	4,68
		Matorral hídrico de *Salicornia neei*	103,80	58,60	81,50	69,30		56,40	109,20	118,14	132,96
		Vega de *Distichlis spicata*	4,90	7,20	34,30	28,10	43,00	62,20	49,90	48,62	50,39
Total La Punta - La Brava			393,90	291,50	248,50	274,30	210,30	254,80	316,40	353,88	374,67
Soncor	**Azonal**	Matorral - Vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*	4,30	2,80	1,60	2,70	31,00	3,60	3,30	4,00	4,01
		Vega de *Distichlis spicata*	3,30	3,20	4,50	3,10	3,50	4,20	4,70	5,73	5,62
Total Soncor			7,60	6,00	6,10	5,80	34,50	7,80	8,00	9,73	9,63

Donde: la especie *Salicornia neei* corresponde a la actualización del nombre de *Sarcocornia fruticosa*. Fuente: Elaboración propia.

6.2.4 Límites considerados en la evaluación de la flora y vegetación

Según lo dispuesto en la Adenda 5 y la RCA que aprueba al proyecto, Considerando 7 del Plan se Seguimiento Biótico, respecto a la variable "*Flora y Vegetación*", se indica respecto de los límites comprometidos "*Mantención dentro de su variación histórica (Ver Anexo 2*)"

El Anexo 2 corresponde al Plan de Seguimiento Biótico o Plan de Manejo Biótico (PMB), y la variable "*Flora y Vegetación"* se enmarca en el estado ecológico del sistema, el cual se analiza anualmente. Si bien no quedaron establecidos límites a considerar para las campañas estacionales (inviernos – veranos), esta variable es parte de un análisis integral del sistema. Asimismo, posterior al análisis de los resultados de frecuencia semestral, correspondientes al monitoreo de invierno y estival post-lluvias del noveno año de medición, se procederá a realizar el análisis de la evolución de este componente, la que se verá a su vez en conjunto con las otras dos variables de estado comprometidas en la evaluación del estado ecológico. Para ello se presentará en un documento independiente, como un complemento de Análisis de Estado Ecológico al Informe Anual PMB N°9, el que será entregado posterior al presente informe.

7 FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES

En el presente informe de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos semestrales de invierno 2024 y verano 2025 para el componente ambiental biota, subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Manejo Biótico comprometido en la RCA RE N°21/2016 del Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama de la empresa Albemarle Ltda., ubicado en la Región de Antofagasta.

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este componente y que son objeto de seguimiento, corresponden a: composición, riqueza y abundancia, según los parámetros a monitorear establecidos en la RCA del Proyecto.

Los períodos reportados en el presente informe se enmarcan entre los días 4 al 10 de agosto de 2024, fechas entre las que se llevó a cabo el monitoreo semestral de invierno, y entre los días 9 al 15 de marzo de 2025, correspondiente al monitoreo semestral de verano.

En la campaña de invierno 2024, se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo, mientras que en la campaña de verano 2025 se realizaron 19 de los 25 puntos de muestreo de las campañas previas, debido al cierre de las lagunas de Peine (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**, limitando en verano por quinta vez, en invierno por segunda vez y por séptima vez en total, en el marco del PMB, respectivamente, el acceso completo al sector de lagunas de Peine, debido a que es un área con poblaciones de flamencos en fase reproductiva. Lo anterior afecta significativamente el análisis y la comparación de los resultados, sobre todo en lo que respecta a la abundancia de aves acuáticas (y en particular, de los flamencos) en los sistemas lagunares. Para efectuar la campaña de monitoreo de fauna, se contó con el permiso de captura de animales de especies protegidas de fauna silvestre, a través de RE 551/2024 (Servicio Agrícola y Ganadero) el cual corresponde a la ampliación del permiso de captura inicial N°420/2017 (**Ver Acápite 1.1 del Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

El presente informe de monitoreo anual corresponde a la décimo séptima y décimo octava campaña de seguimiento semestral del Plan de Manejo Biótico del Proyecto (Anexo 2 Adenda 5 EIA), llevadas a cabo por Cedrem Consultores Limitada, por encargo del Titular del Proyecto.

Los objetivos del informe de seguimiento ambiental al subcomponente fauna terrestre, son los siguientes:

- Caracterizar la fauna presente y su distribución en el área de estudio, a escala general y en los distintos ambientes de fauna identificados, en cuanto a su

taxonomía, origen geográfico y estado de conservación en conformidad a lo señalado en el artículo 37 de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

- Describir la riqueza, composición, abundancia, frecuencia y similitud de la fauna de vertebrados terrestres (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) presentes para los distintos ambientes del área de estudio.
- Comparar, a distintas escalas (cualitativa y cuantitativamente) los resultados de las variables y parámetros de riqueza, composición y abundancia de la fauna registrada en estas campañas semestrales de invierno de 2024 y verano de 2025, con los resultados de monitoreo y/o línea de base previos, para establecer posibles desviaciones y evolución de éstos en el tiempo.

7.1 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1.1 Descripción del área de estudio

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

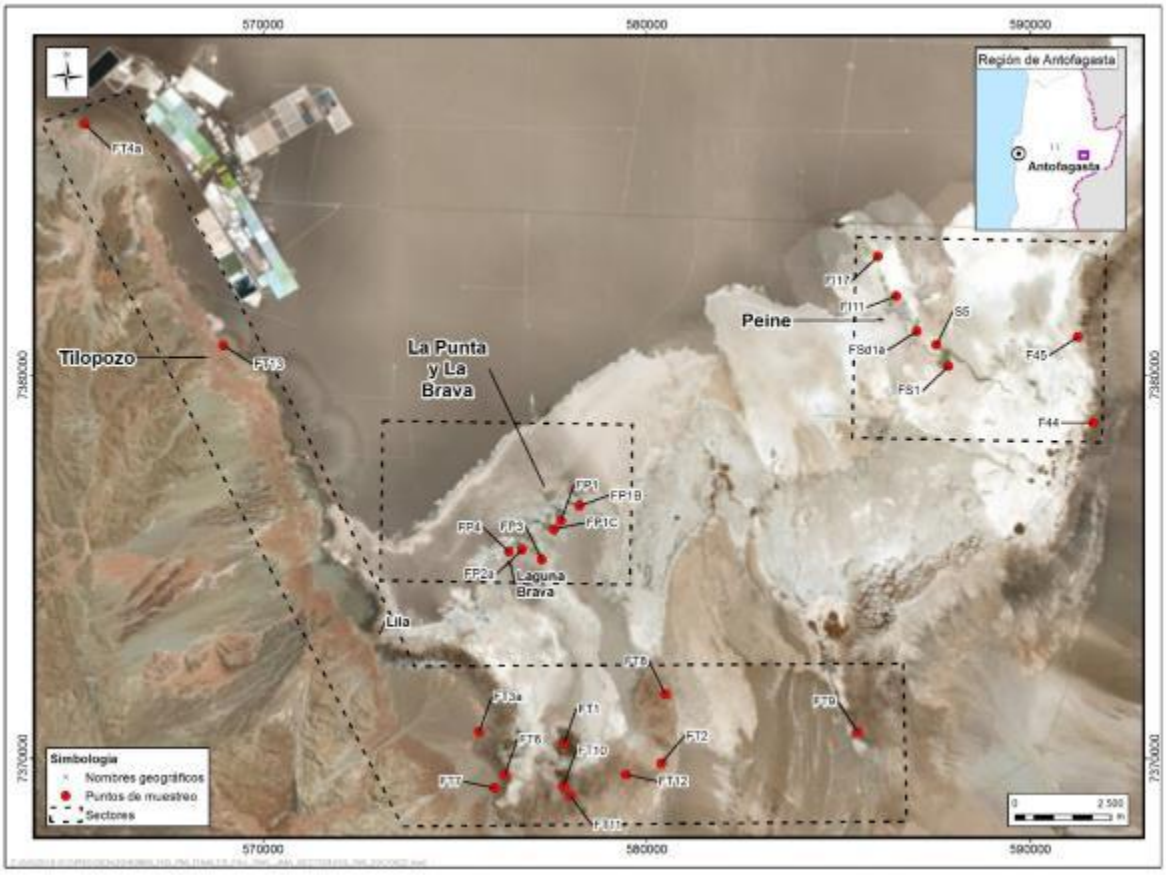
Para el área específica de estudio, y analizando los datos de muestreos de línea base (PMB, 2015), los que se resumen en varias campañas (desde los años 2006 a 2015), se ha registrado una riqueza acumulada de 62 especies de vertebrados, de las cuales 49 corresponden a aves (79%), 10 especies a mamíferos (16,1%), dos a reptiles (3,2%) y una a anfibios (1,6%). Del total, y considerando las actualizaciones de los procesos de clasificación (19 procesos oficiales a la fecha), 16 de dichas especies se encuentran en alguna categoría de conservación: una especie En Peligro (*Liolaemus fabiani*); seis clasificadas como Vulnerables (*Recurvirostra andina, Phoenicoparrus andinus, P. jamesi, Rhea pennata tarapacensis, Lama guanicoe* y *Vicugna vicugna*); tres categorizadas como Casi amenazadas (*Vultur gryphus, Phoenicopterus chilensis y Pleurodema thaul)* y seis catalogadas como de Preocupación menor (*Chroicocephalus serranus, Falco peregrinus, Liolaemus constanzae, Ctenomys fulvus, Lycalopex culpaeus* y *L. griseus).* Hay una alta proporción de especies nativas, siendo *Liolaemus constanzae* y *Liolaemus fabiani* representantes de las especies endémicas del área.

Respecto a la distribución de las especies en los distintos hábitats, se observó que la mayor representación de riqueza y abundancia estuvo presente en las lagunas, con ocho especies

de vertebrados, principalmente aves asociadas a cuerpos de agua. Le sigue el hábitat de matorral, con ocho especies de vertebrados, y el herbazal, con seis especies.

De las especies más sensibles, destacan las tres especies de flamencos, presentes en los sectores de a) La Punta y La Brava, y b) Peine (considerando sólo las lagunas Salada, Saladita e Interna), y que en campañas donde se efectuó estimación de abundancia (septiembre 2013, abril y julio 2014, y febrero 2015), fueron las especies de aves acuáticas más abundantes en los sistemas lacustres. De las restantes especies de vertebrados, destacan especialistas de hábitat como la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), presente en el borde de las lagunas de salares, y el tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*), roedor fosorial de Chile, y que se encuentra en ambientes de matorral y herbazal, en sustratos arenosos.

Figura N° 7-1. Área de Estudio Subcomponente Fauna de Vertebrados Terrestres, y Puntos de Muestreo en tres sectores (líneas discontinuas).



Fuente: Elaboración Propia.

7.1.2 Ubicación de puntos muestreo

En ambas campañas de monitoreo, se consideraron 25 puntos de muestreo, de los cuales 16 son los establecidos en la RCA, correspondientes a los considerados en campañas previas (PMB 2015), y otros nueve puntos son adicionales, ya incorporados y reportados en las campañas anteriores del PMB, desde el Informe Anual N°1. Al respecto, es importante señalar que dicha complementación de los puntos de monitoreo tuvo y tiene como objetivo aumentar la representatividad del muestreo, lo que es especialmente importante dada la extensión del área de seguimiento; además busca mejorar el estudio de hábitats específicos como humedales donde se concentra la fauna local (lagunas y surgencias de agua), y en definitiva representar todos los tipos de ambientes presentes en el área de estudio. Durante la evaluación ambiental se puso más énfasis en Tilopozo, y tal como se puede ver de los puntos complementados, se agregaron puntos en las demás zonas de monitoreo (LP y LB y Peine).

Por otra parte, para mejorar la representación de ambientes, desde la campaña N°1 (M1) a la fecha (M18), se procedió a reubicar seis (6) puntos de muestreo desde las coordenadas originales indicadas en el Anexo 2 del Plan de Manejo Biótico. Estos cambios se llevaron a cabo con el fin de ajustar la ubicación en el terreno para cumplir con los objetivos específicos establecidos para el seguimiento de la fauna terrestre. Estas adaptaciones, basadas en criterios como mejorar la visibilidad de cuerpos de agua, dirigir los transectos por los tipos de hábitats muestreados y asegurar la representación de todos los ambientes en el área de estudio, contribuyen a una mayor efectividad y representatividad en la recolección de datos de seguimiento de fauna. Esto ha reforzado la propuesta inicial (PMB, 2015), sin considerar modificaciones posteriores a este ajuste, por ende, estos puntos son los que se efectúan desde la campaña N°1 de monitoreo hasta la fecha.

Es importante reconocer que la fauna es inherentemente móvil y que su comportamiento de desplazamiento puede variar significativamente entre especies. En el contexto de un seguimiento de fauna en un punto específico, es fundamental entender que este enfoque se centra en el muestreo de especies de baja movilidad, es decir, en especies o individuos que tienden a permanecer dentro o en las cercanías del punto de muestreo; por lo tanto, verificar donde debe posicionarse el punto de muestreo es fundamental para acceder al registro de este tipo de especies. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las especies de alta movilidad tienen la capacidad de desplazarse considerablemente y pueden encontrarse en múltiples lugares dentro o fuera del área de muestreo designada. Por lo tanto, los recorridos exhaustivos y los muestreos complementarios en ambientes disimiles, aseguran mejores registros.

La ubicación detallada de los puntos (en coordenadas UTM, datum WGS84, Huso19), fue presentada e informada en el Informe Nº1 del PMB, e igualmente se presentan en la **Tabla N° 7-1** y **Figura N° 7-1** (ver también **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**).

Cabe mencionar que en la campaña de invierno 2024, por inconvenientes de permiso, no se accedió a tres de los 25 puntos (se efectuaron 22 de los 25 puntos), mientras que en verano 2025, no se pudo acceder a seis de los 25 puntos (lagunas de Peine: Salada, Saladita e Interna, y un punto de costra salar) por lo que el muestreo se efectuó en 19 de los 25 puntos **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones)** (detalle en **Tabla N° 7-1**).

En relación con el esfuerzo de muestreo, en invierno 2024 se efectuaron 22 transectos (uno en cada punto de muestreo), nueve estaciones de trampeo de micromamíferos, 11 estaciones con trampas cámara, cinco muestreos de aves nocturnas y dos muestreos nocturnos de anfibios. En verano 2025, se efectuaron 19 transectos, ocho estaciones de trampeo de micromamíferos y 11 estaciones con trampas cámara. Se realizaron los cinco puntos de monitoreo nocturno para aves y dos puntos para anfibios.

Tabla N° 7-1. Ubicación y caracterización de los puntos de monitoreo (PM) de fauna. Sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19.

PM	Coordenadas propuestas en LB		Coordenadas Finales PMB		Sector	Subsector	Ambiente	Transecto fauna				Adicional
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)				Anf	Rep	Aves	Mam	
S5	**-**	**-**	**587.551**	**7.380.785**	**Peine**	**Salada**	**Humedal salar (laguna)**	**No**	**Si**	**Si**	**Si**	**X (*)**
FS1	**587.869**	**7.380.233**	**587.869**	**7.380.233**	**Peine**	**Salada**	**Humedal salar (laguna)**	**No**	**Si**	**Si**	**Si**	**- (*)**
FSd1a	**587.090**	**7.381.075**	**587.043**	**7.381.143**	**Peine**	**Saladita**	**Humedal salar (laguna)**	**No**	**Si**	**Si**	**Si**	**- (*)**
FI11	**-**	**-**	**586.512**	**7.382.060**	**Peine**	**Interna**	**Humedal salar (laguna)**	**No**	**Si**	**Si**	**Si**	**X**
FI17	**-**	**-**	**586.032**	**7.383.098**	**Peine**	**Interna**	**Humedal salar (laguna)**	**No**	**Si**	**Si**	**Si**	**X**
F44	591.636	7.378.759	591.638	7.378.759	Peine	Peine terrestre	Matorral *Tessaria*	No	Si	Si	Si	-
F45	591.246	7.380.993	591.248	7.380.993	Peine	Peine terrestre	Matorral *Tessaria*	No	Si	Si	Si	-
FP1	577.768	7.376.209	577.768	7.376.209	La Punta y la Brava	La Punta	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	-
FP1B	-	-	578.241	7.376.584	La Punta y la Brava	La Punta	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X

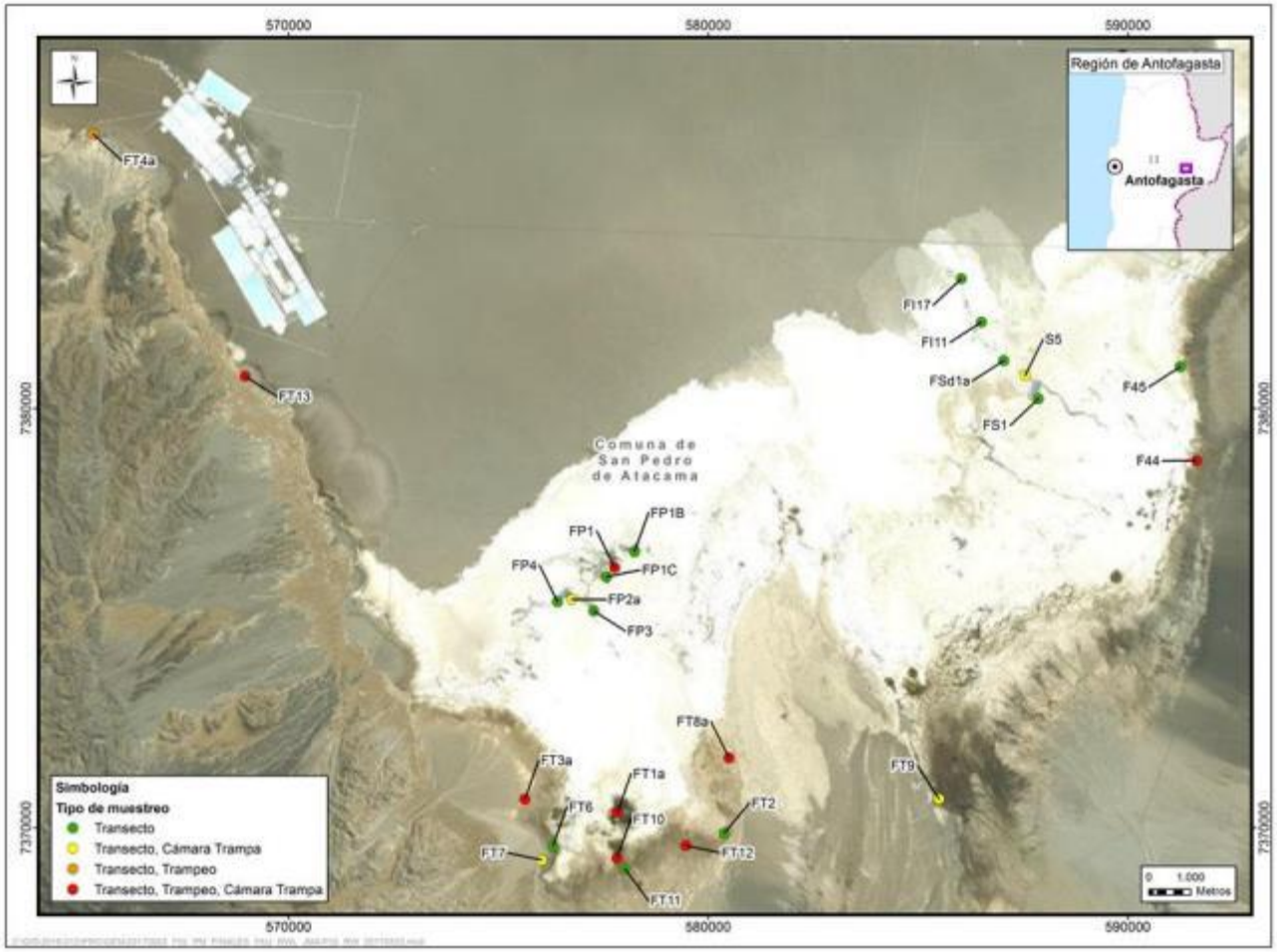
PM	Coordenadas propuestas en LB		Coordenadas Finales PMB		Sector	Subsector	Ambiente	Transecto fauna				Adicional
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)				Anf	Rep	Aves	Mam	
FP1C	-	-	577.574	7.375.983	La Punta y la Brava	La Punta	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FP2a	576.955	7.375.401	576.748	7.375.448	La Punta y la Brava	La Brava	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	-
FP3	-	-	577.271	7.375.175	La Punta y La Brava	La Brava	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FP4	-	-	576.403	7.375.395	La Punta y la Brava	La Brava	Humedal salar (laguna)	No	Si	Si	Si	X
FT10	577.822	7.369.282	577.822	7.369.282	Tilopozo	Tilopozo	Humedal pajonal	Si	Si	Si	Si	-
FT1a	577.841	7.370.458	577.830	7.370.368	Tilopozo	Tilopozo	Humedal pajonal	Si	Si	Si	Si	-
FT11	578.010	7.369.030	578.010	7.369.030	Tilopozo	Tilopozo	Matorral *Tessaria*	No	Si	Si	Si	-
FT2	580.379	7.369.871	580.379	7.369.871	Tilopozo	Tilopozo	Matorral *Tessaria*	No	Si	Si	Si	-
FT3a	575.689	7.371.561	575.626	7.370.684	Tilopozo	Tilopozo	Matorral *Ephedra*	No	Si	Si	Si	-
FT6	576.296	7.369.572	576.296	7.369.572	Tilopozo	Tilopozo	Matorral *Tessaria*	No	Si	Si	Si	-

PM	Coordenadas propuestas en LB		Coordenadas Finales PMB		Sector	Subsector	Ambiente	Transecto fauna				Adicional
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)				Anf	Rep	Aves	Mam	
FT7	576.027	7.369.223	576.027	7.369.223	Tilopozo	Tilopozo	Matorral *Ephedra*	No	Si	Si	Si	-
FT8a	580.508	7.371.630	580.492	7.371.669	Tilopozo	Tilopozo	Herbazal *Distichlis*	No	Si	Si	Si	-
FT12	-	-	579.466	7.369.580	Tilopozo	Tilopozo	Herbazal *Distichlis*	No	Si	Si	Si	X
FT9	585.499	7.370.694	585.499	7.370.694	Tilopozo	Tilopozo	Matorral *Tessaria*	No	Si	Si	Si	-
FT13	-	-	568.962	7.380.770	Tilopozo	Tilopozo	Quebrada	No	Si	Si	Si	X
FT4a	**565.572**	**7.386.532**	**565.347**	**7.386.540**	**Tilopozo**	**Tilopozo**	**ADV (Costra salar)**	**No**	**Si**	**Si**	**Si**	**-**

Nota: Las estaciones que presentan una letra a minúscula, representa una adecuación de la estación original, en cuanto a la ubicación exacta (ej. FT4a corresponde a la estación original FT4, que se cambió de lugar, manteniendo el ambiente). *: los puntos resaltados en negrita y con asterisco no fueron muestreados en la campaña de verano 2025, por razones indicadas de limitaciones de acceso por activación del periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos. En tanto que los puntos resaltados en negrita con y sin asterisco no se muestrearon en invierno 2024, por las mismas razones ya indicadas. **LB:** Línea de Base; **PMB:** Plan de Manejo Biótico.Fuente: Elaboración Propia

Los puntos de muestreo se agruparon en tres sectores: a) La Punta y La Brava (con 6 puntos); b) Peine, en las lagunas Salada, Saladita e Interna (con 5 puntos), además de 2 puntos en ambiente terrestre (7 puntos en total) y c) Tilopozo (12 puntos; **Figura N° 7-1**). Los dos primeros son sectores caracterizados por ambientes de borde de salar (humedal salar) y matorral (para Peine), mientras que en el sector Tilopozo, la gran mayoría de los ambientes (10 puntos) son matorrales (de *Tessaria sp.* y *Ephedra sp.*), herbazales (la mayoría de *Distichlis sp.*), quebradas y costras salinas en ambientes terrestres, a excepción de 2 estaciones de muestreo ubicados en humedales dulceacuícolas (pozas) de Tilopozo (**Figura N° 7-1**;**Fotografía N° 7-1**; ver también **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**). La disposición de los trampeos y muestreos nocturnos es representativa de todos los ambientes acuáticos y terrestres presentes en el área de estudio.

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



Fuente: Elaboración Propia.

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



Fuente: Elaboración Propia.

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

En el caso de la fauna de vertebrados, para las variables riqueza, composición y abundancia, los parámetros utilizados son a) número e identidad de especies, para la riqueza y composición, y b) número de ejemplares, para la abundancia (absoluta y relativa) y frecuencia (absoluta y relativa). Los parámetros se expresan además para cada tipo de ambiente predefinido y estandarizados por el número de puntos o transectos realizados por cada ambiente.

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

7.1.4.1 Tipos de muestreo

El presente estudio consideró cuatro tipos de muestreo para relevar la fauna vertebrada terrestre de acuerdo con lo establecido en el Plan de Seguimiento de la RCA (**Figura N° 7-2**). El principal tipo corresponde al transecto, al que se sumaron muestreos complementarios, los cuales están dirigidos a maximizar la detección de determinadas taxa de fauna vertebrada silvestre. Estos muestreos complementarios corresponden a: trampeo de roedores y marsupiales, muestreo nocturno de aves y anfibios, y cámara trampa con atrayente olfativo.

Las definiciones de los tipos de muestreo son las siguientes:

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

7.1.4.2 Diseño de muestreo

El diseño de muestreo consistió en la georreferenciación, en gabinete, de las unidades de muestreo que fueron posteriormente analizadas en terreno (puntos de muestreo). Una vez que se obtiene la cobertura de ambientes, y tras definir los taxa a muestrear por campaña de terreno (por ende, los tipos de muestreo a implementar), se eligen las unidades de muestreo por tipo de ambiente y para cada uno de los sectores en el área de estudio.

El diseño de muestreo utilizado fue del tipo estratificado-dirigido: estratificado, ya que los estratos correspondieron a los tipos de ambientes de fauna previamente delimitados; y dirigido, dado que el equipo de especialistas encargado utilizó los criterios de experto para localizar de manera efectiva los puntos de muestreo por taxón y/o tipo de muestreo.

Los criterios de experto usados para localizar/dirigir los transectos de muestreo, son:

- Representatividad y homogeneidad espacial del ambiente a caracterizar, muestreando un promedio del ambiente.
- Accesibilidad y condiciones de seguridad.
- Minimización de sobreposición de puntos de muestreo.

En el caso de muestreos complementarios, los criterios para establecer los puntos de muestreo específicos según la especie a detectar son:

- *Trampeo de roedores y marsupiales:* Según la disponibilidad de refugios y rastros (huellas y fecas).
- *Playback de aves nocturnas:* Según la disponibilidad de recursos para las aves y disponibilidad de distintos ambientes.
- *Playback de anfibios:* Según el tipo de hábitat (cursos de agua o humedales).
- *Cámaras trampa con atrayente olfativo:* Según la presencia de rastros (huellas o fecas) y/o según morfología del hábitat como puede ser la detección de cuevas (refugios) o quebradas (corredores).

7.1.4.3 Muestreo de terreno

A fin de caracterizar el componente fauna, describiendo su riqueza, composición y abundancia en el área de estudio y los sectores que la conforman, se ha consultado la Guía para Evaluación de Línea Base Componente Fauna Silvestre (SAG, 2012; SAG, 2016), complementado con la Guía para la descripción de los componentes suelo, flora y fauna de ecosistemas terrestres del SEA (2015).

En terreno, cada punto de muestreo fue georreferenciado utilizando GPS navegador en sistema de coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator), Datum WGS 84 y Huso 19 sur.

Posteriormente, el equipo de especialistas procedió a la validación de los ambientes previamente descritos (en estudios anteriores). Luego, se realizó el registro fotográfico en los cuatro puntos cardinales en el ambiente. Se definieron seis ambientes: humedal salar (con 11 puntos de muestreo, ubicados en el sector de La Punta y La Brava, y en las lagunas Salada, Saladita e Interna, de Peine), humedal pajonal (dos puntos, en Tilopozo), área desprovista de vegetación costra salina (un punto, en Tilopozo), herbazal (dos puntos, en

Tilopozo), matorral (con ocho puntos, seis en el sector de Tilopozo y dos en el sector de Peine) y quebrada (un punto, en Tilopozo; detalles en **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**).

Tras describir el ambiente en cada punto de muestreo, el equipo de especialistas procedió a implementar las metodologías de muestreo pertinentes a cada taxón objetivo, caracterizando la fauna mediante evidencias directas (visuales y/o auditivas) e indirectas (fecas, huellas, plumas, egagrópilas, cuevas, pelos, etc.). De ser posible, se fotografiaron los individuos avistados, además de las evidencias indirectas de especial interés, como restos óseos, egagrópilas, fecas y huellas.

Para la recolección de datos en terreno y su correcta sistematización en gabinete, se utilizaron formularios de datos específicos para cada tipo de muestreo.

7.1.4.4 Procedimiento de muestreo por taxón

Para las cuatro taxa muestreadas, la información recopilada fue registrada en formularios diseñados para cada actividad (monitoreo en transectos, trampeo, trampa cámara, muestreo nocturno).

7.1.4.4.1 Muestreo de Anfibios

Se estableció la composición, riqueza y abundancia de anfibios a través de transectos en las estaciones de muestreo (en las dos estaciones donde es posible su presencia, como las pozas de Tilopozo), removiendo piedras y costra salina, en la medida de lo posible. Se determinaron las especies con registros directos (auditivo, visual, larvas), dejando registro fotográfico de respaldo. Igualmente, se realizaron muestreos crepusculares-nocturnos con sistema de playback. En este caso, la reproducción del audio se efectuó por un minuto máximo con espera de respuesta (auditiva y/o visual) por cinco minutos. El orden de reproducción fue de menor a mayor tamaño de especie. El playback se realizó media hora después del crepúsculo o durante la noche, y se efectuaron tres repeticiones de cada especie (inicialmente, se reprodujeron dos especies potenciales: *Pleurodema thaul* y *Rhinella spinulosa*).

7.1.4.4.2 Muestreo de Reptiles

Se estableció la composición, riqueza, abundancia relativa y frecuencia a través de transectos de largo de 200 metros por 10 metros de ancho (a cada lado del eje), en los cuales se registraron los individuos presentes en ambos lados de la línea de proyección. Los muestreos se realizaron en los horarios de mayor actividad de este grupo; esto es,

entre las 09:00 y las 13:00; y entre las 16:00 y 18:00 horas. Se estableció un transecto por cada punto de muestreo.

7.1.4.4.3 Muestreo de Aves

Se establecieron puntos censales para la estimación de la composición, riqueza, abundancia relativa y la frecuencia de aves (acuáticas y terrestres). En cada punto de muestreo (terrestre), se efectuaron transectos de 200 metros de largo por 100 metros de ancho (a cada lado del eje), en los cuales se registraron los individuos presentes a ambos lados de la línea de proyección, o en estaciones de punto fijo (en los 11 puntos de humedal salar, en las lagunas), en que se registraron las especies observadas y/o escuchadas, en un lapso de aproximadamente 10 minutos (con radio de observación variable). Se utilizaron binoculares 10 x 50. Se buscó además evidencias indirectas de este grupo de fauna (nidos, cuevas, plumas, fecas, restos óseos, egagrópilas). En el caso de los sistemas acuáticos, se incluyeron los sistemas hidrológicos: La Punta-La Brava, Lagunas Salada, Saladita e Interna y sistema Tilopozo (pozas). Adicionalmente, para las especies de flamencos, su descripción se realizó mediante censos en puntos de observación incluyendo los siguientes sistemas hidrológicos: La Punta-La Brava y Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), registrando la actividad reproductiva (si existiese, como baile nupcial, nidificación, parejas echadas, etc.).

En forma complementaria, para aves nocturnas, se establecieron puntos fijos (representativos de los distintos ambientes) para la estimación de la composición, riqueza y abundancia de aves de hábito nocturno (rapaces nocturnas y especies crepusculares), a través de un muestreo crepuscular-nocturno con sistema de playback (respuesta a grabaciones). La reproducción fue por 30 segundos con espera de respuesta por 30 a 60 segundos, de las cinco especies posibles (lechuza, tucúquere, pequén, chuncho y gallina ciega), y se efectuaron al menos tres repeticiones sucesivas.

7.1.4.4.4 Muestreo de Mamíferos

Se establecieron diferentes métodos de muestreo para la estimación de la composición, riqueza, abundancia relativa y la frecuencia de mamíferos. Para meso y macromamíferos, se realizaron transectos de largo de 200 metros por 100 metros de ancho (a cada lado del eje), en los cuales se registraron los individuos presentes en ambos lados de la línea de proyección para la detección directa de individuos presentes y de evidencias indirectas (huellas, osamentas, restos de pelaje, fecas, cuevas, etc.), observados a ojo desnudo o con binoculares 10 x 50. Para este estudio se consideró a los lagomorfos, edentados[19] y a la familia chinchillidae del orden de los roedores como una categoría intermedia (mesomamíferos) y se consideraron como macromamíferos a los carnívoros, artiodáctilos

[19]Si bien no han sido registrados dentro del área de estudio son parte del listado potencial (Iriarte, 2008).

(camélidos y venados) y perisodáctilos (equinos). En los transectos se incluyen registros de cuevas activas de roedores fosoriales (ej. *Ctenomys fulvus*).

Como complemento para macromamíferos (y especialmente carnívoros), se utilizaron cámaras trampa, utilizando atractores olfativos. Las cámaras trampa se ubicaron en lugares estratégicos cercanos a las lagunas y en los distintos ambientes (**Figura N° 7-2**).

Para la detección de micromamíferos se realizaron trampeos nocturnos, utilizando trampas de captura viva (Sherman). Éstas fueron cebadas con una mezcla de avena, frutos secos y esencia de vainilla, ubicándolas en las estaciones de muestreos propuestas en el seguimiento (representativa de los distintos ambientes, **Fotografía N° 7-3**). Estas trampas fueron revisadas a primera hora del día siguiente durante tres noches consecutivas. Las trampas fueron dispuestas de manera lineal separadas entre cinco a 10 metros entre sí, abarcando un largo aproximado de 100 metros (con 20 trampas por punto). Para evitar el conteo repetido de individuos, los ejemplares capturados fueron fotografiados y marcados (marca de plumón no tóxico en la oreja del ejemplar). Con respecto a los micromamíferos presentes en Chile, éstos corresponden a: marsupiales, quirópteros (murciélagos) y roedores (excepto integrantes de la familia Chinchillidae). Sin embargo, de este grupo, los quirópteros no están considerados en el muestreo específico.

La captura de micromamíferos (reptiles y anfibios) fue autorizada por el Servicio Agrícola y Ganadero Región de Antofagasta, a través de Resolución Exenta N°420 del 07 de agosto de 2017 y su correspondiente ampliación en la Resolución Exenta N°222/2021 del Servicio Agrícola y Ganadero de la Región de Antofagasta, que se adjunta en el **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres.**

Fotografía N° 7-2. Instalación de cámara trampa con atrayente olfativo.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 7-3. Instalación de trampa tipo Sherman cebada.



Fuente: Elaboración Propia.

7.1.4.5 Trabajo en gabinete post terreno

7.1.4.5.1 Traspaso y procesamiento de datos

Los datos en bruto obtenidos de los distintos tipos de formularios llenados en terreno fueron traspasados a una base digital en gabinete, junto con el traspaso de las fotografías.

7.1.4.5.2 Análisis de datos

A continuación, se detalla la metodología del análisis de datos realizada en gabinete, *a posteriori* del trabajo de terreno de Cedrem Consultores.

7.1.4.5.3 Riqueza y composición

La riqueza se estimó en base al número total de especies detectadas, ya sea por evidencias directas e indirectas, en cada transecto (incluyendo muestreos complementarios) ejecutado para un mismo ambiente por sector. Así:

$$Riqueza\ de\ especies = \sum_{i=1}^{n} sp_i$$

En algunos casos, se estimó la riqueza media, en función del esfuerzo de muestreo de transectos, de modo de estandarizar los datos y hacerlos más comparables.

La composición se analiza en base a la identidad de las especies registradas.

7.1.4.5.4 Caracterización de los taxa

Las especies detectadas en terreno fueron descritas considerando su clasificación taxonómica, origen geográfico, grado de movilidad, estatus de residencia, estado de conservación y, de corresponder, su condición de especialista de hábitat, condición de monumento natural, o bien si cumple con algún criterio de protección (BSE)[20]. Esta información fue extraída del listado de fauna potencial realizado previo al terreno y complementada, cuando fuese necesario, mediante la misma metodología.

[20] BSE = criterios de protección definidos como especies beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), con densidades poblacionales reducidas (S) y/o benéficas para el equilibrio de los ecosistemas (E).

El detalle de caracterización se indica a continuación:

a) Origen geográfico

La asignación del origen geográfico se basó principalmente en lo descrito por el Ministerio del Medio Ambiente, el que incluye las siguientes categorías:

- *Nativas*: son aquellas especies originarias del lugar en donde habitan (MMA, 2016).
- *Endémicas:* especies nativas con una distribución natural restringida al territorio nacional (Chile), pudiendo incluso estar restringida a una región política administrativa, una región biogeográfica, una isla o una zona particular del país (SEA, 2015).
- *Introducidas* o exóticas: son aquellas especies foráneas que han sido introducidas fuera de su distribución natural, de igual modo, una especie exótica es aquella que, aunque sea nativa del mismo país, ha sido introducida en una zona del país donde no tiene distribución natural (MMA, 2016).

b) Estados de conservación y otros criterios de protección.

El proceso de revisión de antecedentes incluyó para cada una de las especies, la determinación de las categorías de conservación, los criterios de protección nacionales y otras categorías de protección internacionales, tal como el estatus de migración de aves según la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres [CMS] (1971).

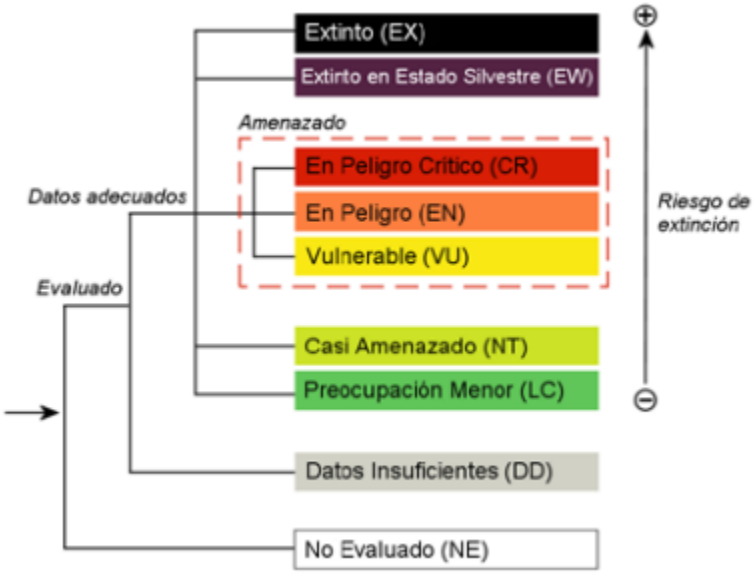
Las categorías de conservación de cada una de las especies, fueron determinadas según los criterios de clasificación definidos en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (2005) y sus decretos supremos asociados posteriores, donde se listan las especies clasificadas y su categoría de conservación (19 Procesos a la fecha): D.S. N°151/2007, D.S. N°50-51/2008, D.S. N°23/2009 del MINSEGPRES; y D.S. N°33/2011, D.S. N°41-42/2011, D.S. Nº19/2012, D.S. N°13/2013, D.S. N°52/2014, D.S. N° 38/2015, D.S N°16/2016, D.S. N°6/2017, D.S. N°79/2018, D.S. N°23/2019, D.S. N°16/2020, D.S. N° 44/2021, D.S. N°10/2023 y D.S. N°02/2024 del Ministerio del Medio Ambiente [MMA].

Las categorías de conservación dictadas en los Decretos Supremos antes mencionados, se basan en las Categorías y Criterios de Lista Roja de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2012). Por ende, al igual que en este documento, se clasifican como "*bajo amenaza*" las especies clasificadas en las siguientes categorías de conservación: En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN), Vulnerable (VU), incluyéndose, además, las especies clasificadas Casi amenazada (NT)[21]. El resto de las categorías, se consideran de menor riesgo de extinción o como "*sin amenaza*".

[21]Para efecto del presente monitoreo, se incluye como categoría de amenaza en base a la Guía para la descripción del área de influencia (Servicio de Evaluación Ambiental [SEA], 2015).

En la **Figura N° 7-3** se muestra la estructura de las categorías de conservación de la UICN usadas en el presente estudio, señalando cuáles tienen mayor y menor riesgo de extinción, y destacando las categorías amenazadas.

Figura N° 7-3. Categorías de conservación de la UICN



Fuente Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2012.

Las categorías de aquellas especies que no se incluyen en los citados Decretos Supremos, fueron definidas según los estados consignados en la Ley de Caza N° 19.473 y su Reglamento (SAG, 2012a). Ambos cuerpos legales definen los estados de conservación con sustento legal para la fauna silvestre, y que corresponden a: Peligro de extinción; considerada homóloga a la categoría En Peligro (EN) de la UICN (2012), Vulnerable (VU, ambas "*bajo amenaza*"), y Rara (R), Escasamente o Inadecuadamente Conocida (I) y Fuera de Peligro (F, estas tres últimas se consideran "*sin amenaza"*).

Para el caso de especies que no se encuentran definidas en los documentos anteriores, su estado de conservación se determinó según prelación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente [CONAMA] (2009), mediante Núñez et al. (1997); Corporación Nacional Forestal [CONAF] (1988); Glade (1993), Díaz-Páez y Ortiz (2003), Rottmann & López-Callejas (1992); y Cofré & Marquet, (1999). Las categorías utilizadas en estos documentos fueron usadas tal y como se presentan en ellos, sin embargo, fueron consideradas categorías "bajo amenaza" todas las que fueron naturalmente homologables a las dictadas como tal por la UICN, de lo contrario fueron consideradas sin amenaza. Según lo anterior, se incluyen

especies cuyas categorías no están estandarizadas, como las de Amenaza Indeterminada (A, Glade, 1993), Frágil (FR) y Sin Prioridad inmediata (NP; Cofré & Marquet, 1999).

Por otra parte, los criterios de protección de las especies se determinaron siguiendo los criterios señalados en el D.S. N°5/1998 MINAGRI (SAG, 2012a), correspondientes a: beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria (B), densidades poblacionales reducidas (S) o benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E). Al igual que las especies en estado de conservación, todas las especies bajo estos criterios de protección tienen prohibida su caza y/o captura en todo el territorio nacional (Ministerio de Agricultura [MINAGRI], 1998; SAG, 2012a, b; SAG, 2016).

En relación con la determinación de las especies consideradas como monumentos naturales de Chile, se sigue lo establecido en el D.S. Nº 2/2006 del MINAGRI.

Cabe mencionar, que el listado sistemático de especies sigue a Vidal y Labra (2008) para anfibios y reptiles; Martínez y González (2005, 2017) para aves e Iriarte (2008) para mamíferos (los que en su mayoría coinciden con los listados aceptados por la autoridad).

c) Movilidad y especialistas de hábitat

La *movilidad* de una especie se entiende como la capacidad de escape natural de un individuo ante cambios en su hábitat, ya que mientras menor es la movilidad de las especies, menor es la probabilidad de migración o escape natural ante perturbaciones. Se clasifican de la siguiente forma según SAG (2004):

- Movilidad alta: Individuos que tienen la capacidad de desplazarse grandes distancias en poco tiempo por sus propios medios.
- Movilidad media: Individuos que tienen la capacidad de desplazarse distancias intermedias o bajas, por sus propios medios.
- Movilidad baja: Individuos que poseen rangos de desplazamiento muy reducidos, generalmente lo hacen sólo a unos pocos metros de sus cuevas o madrigueras.

La movilidad se definió para todos los registros a nivel de especie. Además, esta característica se precisó a nivel de género cuando todas las especies representantes del género compartían la misma capacidad de movimiento.

Por último, las especies especialistas de hábitat corresponden a las especies con distribución restringida a ambientes específicos (ej.: humedales) o escasos (ej.: bosques o ambientes de mayor productividad), por lo tanto, son más sensibles que las especies generalistas o de amplia distribución frente a alteraciones de estos ambientes particulares (SAG, 2014).

d) Índice de Riesgo

Adicionalmente, las especies detectadas fueron clasificadas según el índice de riesgo basado en el libro “Medidas de mitigación de impactos ambientales en fauna silvestre” (SAG & CEDREM, 2004) pero actualizado según bibliografía en cuanto a nombre científico, distribución, endemismo y categoría de conservación de las especies.

El índice de riesgo (IR) refleja el grado de prioridad para la conservación de las especies y considera la suma ponderada de los siguientes criterios: estado de conservación (40%), grado de agregación (15%), movilidad (15%), especialista de hábitat (15%), endemismo (10%) y BSE[22] (5%). Los rangos de valores para la categorización en base al índice de riesgo son: > 75-100: máximo; > 50-75: alto; > 25-50: medio y 0-25: bajo. Este índice se calculó para todos los registros de fauna nativa identificados a nivel de especies. Las especies introducidas y/o domésticas se excluyeron de este cálculo por no ser aplicable a ellas, ya que no son naturales de los ambientes estudiados.

7.1.4.5.5 Abundancia y Densidad

La abundancia de las especies detectadas fue evaluada para cada sector y ambiente, según grupo taxonómico y método de detección empleado (transecto, trampeo, cámara trampa, etc.).

Para ello, en primer lugar, se determinó el número de individuos por especie en el total de puntos de muestreo (N). A partir del cálculo de abundancia (N), se determinó la abundancia relativa, en dos escalas: a) la abundancia relativa total de la especie por clase, medida como el cuociente entre el número de ejemplares de la especie en estudio y el número total de ejemplares de todas las especies (de cada clase), expresada en porcentaje; b) la abundancia relativa de la clase, por ambiente (y por transecto), medida como el cuociente entre el número de ejemplares de todas las especies de cada clase (ej. reptiles y aves) observados en cada ambiente, y el número de transectos o puntos de muestreo efectuados en dicho ambiente.

Para el caso de los roedores y/o marsupiales capturados mediante trampeo, la abundancia relativa se expresa en relación con un esfuerzo de muestreo (número de trampas-noche). En estos casos se calculó el Índice de Densidad Relativa (IDR), como:

$$IDR\ (\%) = (\text{Número de individuos capturados} / \text{Esfuerzo de muestreo}) * 100$$

[22] Criterios de protección de especies: B: especie beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; S: especie con densidades poblacionales reducidas; E: especie catalogada benéfica para el equilibro de los ecosistemas naturales (SAG, 1998).

Siendo el esfuerzo de muestreo el producto entre el número de trampas y el número de noches de trampeo (trampas-noche). Cabe destacar, que para este cálculo no se consideraron especies registradas por evidencia indirecta.

7.1.4.5.6 Frecuencia

La frecuencia (F) puede ser expresada de forma relativa como una razón o un porcentaje, se calcula como el cuociente entre el número de puntos de muestreo en los cuales se detectó la especie (PM_{sp}), dividido por el número total de puntos muestreados (PM_{total}), y se expresa mediante la siguiente fórmula:

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

En esta medida de frecuencia se consideraron todos los tipos de muestreo salvo los registros únicos, debido que, al no estar dirigido a todas las especies de un taxón, se puede sobreestimar la frecuencia de solo algunas de las especies registradas. Calcular la frecuencia relativa por sobre otras medidas, como abundancia relativa, posee la ventaja de utilizar sólo las presencias o ausencias de las especies en las unidades de muestreo, por tanto, permite utilizar tanto las evidencias directas como indirectas.

En este caso, se estimó la frecuencia agrupando todos los ambientes dentro de cada sector, por lo que se tiene un valor de frecuencia por especie.

7.1.4.5.7 Índice de similitud de Kulczynski

Para evaluar el grado de similitud faunística entre ambientes, se utilizó el índice de Kulczynski (variable adicional utilizado), basado en los registros de presencia/ausencia de las especies dentro de cada ambiente del área de estudio.

Este índice corresponde a una medida de similitud para datos binarios (presencia-ausencia). Entrega un valor de distancia entre pares de ambientes. De acuerdo con Podani (2000) el índice de Kulczynski (d_{jk}) trata de la media aritmética de dos probabilidades condicionales con respecto al número de datos coincidentes entre los ambientes. Este índice tiene un límite inferior de 0 y carece de límite superior. Se expresa a partir de la siguiente formula:

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

Donde: d_{jk} corresponde al valor de distancia entre los ambientes *j* y *k*; M corresponde al número de especies presentes simultáneamente en ambos ambientes; N_1 corresponde al número de especies presentes en el ambiente *j* que se encuentran ausentes en el ambiente *k;* N_2 corresponde al número de especies presentes en el ambiente *k* que se encuentran ausentes en el ambiente *j.*

Para visualizar esquemáticamente el grado de similitud entre distintos ambientes de fauna, se realizó un análisis de clúster, el que agrupa las unidades de comparación según los valores del índice de Kulczynski, formando un fenograma[23]. Este corresponde a una representación gráfica en forma de árbol, donde las unidades afines en similitud se disponen cercanas entre sí y son separadas por una menor cantidad de nodos.

Cabe destacar la utilidad del Índice de Similitud de Kulczynski, en cuanto permite comparar, visualmente la semejanza en la composición de especies en cada tipo de ambiente (basado en la presencia o ausencia de especies en dichos ambientes). A pesar de no estar solicitado en la RCA, se añade como un complemento a los parámetros de evaluación, con el fin de comparar la variable composición de especies del subcomponente fauna.

7.1.5 Materiales y equipos utilizados

Los materiales y equipos utilizados del componente fauna son:

Materiales: Formularios de terrenos para cada tipo de muestreo (transectos, trampeos, trampa cámara, playback), mapas, trampas Sherman, cebo (avena y esencia de vainilla para roedores, jurel para carnívoros).

Equipos: GPS, Cámara fotográfica, Binoculares 10 x 50, radio Handy, trampas cámara Bushnell, equipo de reproducción de playback.

El equipo de profesionales estuvo integrado por seis especialistas, divididos en tres grupos de trabajo.

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

El muestreo y medición de cada parámetro se efectuó para el monitoreo de invierno 2024 a través de trabajo efectivo en terreno entre los días 6 al 9 de agosto (duración campaña: 4 al 10 de agosto de 2024) debido a las restricciones de acceso por parte de la comunidad de Peine, mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 12 de agosto al 15 de octubre de 2024.

[23] Se utiliza también dendrograma como término análogo.

El muestreo y medición de cada parámetro se efectuó para el monitoreo de verano entre el 9 y 15 de marzo de 2025 (campaña efectiva entre el 11 al 14 de marzo), mientras que el procesamiento de datos y su análisis se realizó entre el 16 de marzo al 23 de abril de 2025.

7.2 RESULTADOS

7.2.1 Resultados del monitoreo campaña de invierno 2024

7.2.1.1 Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres

Los resultados de la campaña de invierno 2024 se presentan en detalle **en el Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres,** y en la **Tabla N° 7-2.**

En el área de estudio, en la presente campaña de monitoreo, se registraron 28 especies, siendo éstas: una especie de reptil, 18 especies de aves y nueve especies de mamíferos, no registrándose especies de anfibios (**Tabla N° 7-2**). En esta campaña de invierno 2024 no se registraron nuevas especies para el periodo de monitoreo.

De las 28 especies de fauna detectadas, 12 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: de ellas, casi todas 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 detalle, estas especies en categoría corresponden a la única especie de reptil, cinco especies de aves y seis especies de mamíferos (Ver detalle en **Tabla N° 7-2)**.

Del total de 12 especies en categoría de conservación, cinco se consideran "*bajo amenaza*"; es decir, en las categorías En Peligro Crítico (una especie de mamífero), Vulnerable (tres especies; tres aves) y Casi amenazada (una especie; un ave). Por otra parte, las otras siete especies se catalogan *"sin amenaza"* (precautorias; **Tabla N° 7-2**).

En tanto, bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 23 de las 28 especies detectadas en el área de estudio se encuentran en condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; en condición de densidades poblacionales reducidas y/o beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas (categorías no excluyentes, ya que una especie puede incluirse en uno, dos o los tres criterios; detalles en **Tabla N° 7-2**).

En cuanto a su origen geográfico, cabe destacar que sólo una de las 28 especies registradas en la campaña (3,6%) son endémicas de Chile (la única especie de reptil registrada); otras 25 especies (89,3%) se clasifican como nativas (18 especies de aves y siete especies de mamíferos), mientras que dos especies (7,2%) son catalogadas como introducidas (incluyendo domésticas), ambas mamíferos (**Tabla N° 7-2**).

En relación con las especies especialistas de hábitat[24], 10 especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un mamífero, la chinchilla de cola corta (*Chinchilla chinchilla,* en quebradas con roqueríos), y nueve especies de aves (habitantes de ambientes de humedal; **Tabla N° 7-2**).

Por otro lado, la movilidad de las especies detectadas se desglosa de la siguiente forma: dos especies son de baja movilidad, tres especies se catalogan con movilidad media, y por último 23 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 7-2**).

En cuanto al índice de riesgo, cuatro especies se encuentran clasificadas con índice de riesgo alto (tres especies de aves; caití, flamenco andino y flamenco de James y un mamífero, la chinchilla de cola corta), otras cinco se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, tres aves y un mamífero), y por último 16 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (nueve aves y tres mamíferos). A las especies introducidas/domesticadas (cabra, burro y llama) no les fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 7-2**).

Finalmente, en el análisis por sector, se observa que la mayor riqueza se registró en Tilopozo con 19 especies (un reptil, nueve aves y nueve mamíferos); seguido por Peine donde se registró una riqueza de 11 especies (nueve aves y dos mamíferos), mientras que La Punta y La Brava presenta la riqueza más baja, con nueve especies (todas aves). Considerando las especies y su presencia en cada sector, ninguna especie fue detectada en los tres sectores, en tanto que otras especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (la mitad de las aves), y otras sólo se encuentran en ambientes terrestres (detalle en **Tabla N° 7-2**).

[24] Especies que están restringidas a un solo hábitat (Maliakal, 2003).

Tabla N° 7-2. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la campaña de monitoreo de invierno 2024. Se indica presencia (X) en cada sector.

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
REPTILIA												
SQUAMATA												
TROPIDURIDAE												
Liolaemus constanzae	Lagartija de Constanza	LC[6]	SE	-	E	N/A	N	B	30,35			X
									TOTAL RIQUEZA REPTILIA	**0**	**0**	**1**
AVES												
ACCIPITRIFORMES												
ACCIPITRIDAE												
Geranoaetus polyosoma	Aguilucho común	-	BE	-	N	R	N	A	3,35		X	X
Circus cinereus	Vari ceniciento	-	BE	-	N	R	S	A	18,35			X
ANSERIFORMES												
ANATIDAE												
Anas flavirostris	Pato jergón chico	-	-	-	N	R	S	A	30,00	X		X
Lophonetta specularioides	Pato juarjual	-	-	-	N	R	S	A	15			X
CHARADRIIFORMES												
CHARADRIIDAE												
Charadrius alticola	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	R	N	A	10,85	X	X	
LARIDAE												
Chroicocephalus serranus	Gaviota Andina	LC[5]	S	-	N	R	S	A	18,65	X	X	
RECURVIROSTRIDAE												
Recurvirostra andina	Caití	VU[7]	BS	-	N	R	S	A	57,85	X	X	
SCOLOPACIDAE												
Calidris bairdii	Playero de Baird	-	B	-	N	V	S	A	31,65		X	
FALCONIFORMES												
FALCONIDAE												

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
Phalcoboenus megalopterus	Carancho cordillerano	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
Falco sparverius	Cernícalo	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
PASSERIFORMES												
FURNARIIDAE												
Leptasthenura aegithaloides	Tijeral común	-	B	-	N	R	N	A	1,65			X
HIRUNDINIDAE												
Pygochelidon cyanoleuca	Golondrina de dorso negro	-	BE	-	N	R	N	A	10,85	X		
MOTACILLIDAE												
Anthus correndera	Bailarín chico común	-	BE	-	N	R	N	A	3,35	X		X
TYRANNIDAE												
Muscisaxicola cinereus	Dormilona cenicienta	-	BE	-	N	R	N	A	3,35		X	
Agriornis montanus	Mero gaucho	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
PHOENICOPTERIFORMES												
PHOENICOPTERIDAE												
Phoenicoparrus andinus	Flamenco andino o Parina grande	VU[3]	SE	-	N	R	S	A	65,35	X	X	
Phoenicoparrus jamesi	Flamenco de James o Parina chica	VU[5]	SE	-	N	R	S	A	65,35	X	X	
Phoenicopterus chilensis	Flamenco chileno	NT[5]	SE	-	N	R	S	A	49,35	X	X	
									TOTAL RIQUEZA AVES	**9**	**9**	**9**
MAMMALIA												
ARTIODACTYLA												
CAMELIDAE												
Capra hircus	Cabra	N/A	-	-	D	N/A	N	A	N/A			X
Lama glama	Llama	N/A	-	-	N	N/A	N	A	N/A			X
CARNIVORA												
CANIDAE												
Lycalopex griseus	Zorro chilla	LC[1]	E	-	N	N/A	N	A	3,65			X
Lycalopex culpaeus	Zorro culpeo	LC[1]	E	-	N	N/A	N	A	3,65		X	X
PERISSODACTYLA												

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
EQUIDAE												
Equus asinus	Burro	N/A	-	-	I	N/A	N	A	N/A			X
RODENTIA												
CHINCHILLIDAE												
Chinchilla chinchilla	Chinchilla cordillerana o de cola corta	CR	S	MN	N	N/A	S	M	64,15			X
CRICETIDAE												
Abrothrix andina	Ratón andino	NP[8]	E	-	N	N/A	N	M	11,15			X
Phyllotis xanthopygus	Ratón orejudo amarillo	NP[8]	S	-	N	N/A	N	M	11,15		X	X
CTENOMYIDAE												
Ctenomys fulvus	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	LC[6]	S	-	N	N/A	N	B	33,65			X
									TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	**0**	**2**	**9**
									TOTAL RIQUEZA SECTOR	**9**	**11**	**19**

EC (Estado de conservación): CR: En Peligro crítico; **EN**: En peligro**; LC:** Preocupación menor; **DD**: Datos Insuficientes; **IC:** Inadecuadamente conocida**; NP:** Sin prioridad inmediata; **NT:** Casi amenazada; **VU:** Vulnerable; **S/EC.:** Sin estado de conservación.
FUENTES EC: **(1)** D.S. N°13/2011 MMA (2) D.S. N°13/2013 MMA **(3)** D.S. N°38/2015 MMA; **(4)** D.S. N°16/2016 MMA; **(5)** D.S. N°23/2019 MMA; **(6)** D.S. N°16/2020 MMA**; (7)** D.S. N°44/2021 MMA**; (8)** Cofré & Marquet 1999. MMA. **BSE: B:** condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; **S:** condición de densidades poblacionales reducidas; **E:** condición benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales. Especies ordenadas sistemáticamente según Martínez & González (2005) para aves e Iriarte (2008) para mamíferos. **MN:** Monumento natural.
O (origen): E: endémica; **N:** nativa; **I:** introducida; **D**: Domesticada.
EH (Especialista de hábitat): S: si; **N**: no
M (movilidad): B: baja; **M**: media; **A**: alta.
IR: Índice de riesgo: > 75-100: máximo; > 50-75: alto; > 25-50: medio y 0-25: bajo.
N/A: No aplica; **-** : relleno de celda que no debe contener información
Fuente: Elaboración Propia

7.2.1.2 Análisis por clase

El análisis por cada clase de vertebrado es el siguiente:

7.2.1.2.1 Anfibios

En el caso de los anfibios, para esta campaña de invierno 2024, no se detectaron especies en los dos puntos de Tilopozo en que se realizó muestreo nocturno.

7.2.1.2.2 Reptiles

Del total de 28 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, sólo una corresponde a reptiles (3,6%), del Orden Squamata y de la familia Liolaemidae (**Tabla N° 7-2; Fotografía N° 7-4**).

Ambas especies de reptiles se encuentran clasificadas en categoría de conservación. Una especie, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), se clasifica En peligro (EN), mientras que la lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*) se encuentra en categoría Preocupación menor (**Tabla N° 7-2**).

La especie de reptil registrada se encuentra clasificada en categoría de conservación: La lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*) se encuentra en categoría Preocupación menor (**Tabla N° 7-2**). La especie de reptil registrada es endémica de Chile y presenta baja movilidad. Además, se encuentra catalogada con densidades poblacionales reducidas (S) y benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E), **Tabla N° 7-2**). En cuanto al índice de riesgo, la lagartija de Constanza presenta un riesgo medio (30,35; **Tabla N° 7-2**). En relación con su presencia en los sectores, la lagartija de Constanza se ubica más bien en sectores terrestres de Tilopozo (**Tabla N° 7-2**).

Fotografía N° 7-4. Reptil del área de estudio: lagartija de Constanza (*L. constanzae*).
Foto tomadas en la campaña de invierno 2024.



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.2.3 Aves

Del total de 28 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, 18 corresponden a aves (64,3%), las que se distribuyen en seis órdenes y 12 familias (**Tabla N° 7-2; Fotografía N° 7-5**).

Del total de aves registradas en el área de estudio, cinco (27,8%) se encuentran en categoría de conservación, correspondientes a la gaviota andina (Preocupación menor); caití, flamenco andino y flamenco de James, clasificadas como Vulnerables, y flamenco chileno, clasificado como Casi amenazado (**Tabla N° 7-2**).

En relación con la clasificación de las especies de aves en las categorías BSE, de las 18 especies, 16 se encuentran en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que 12 especies se consideran beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), seis especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), y 11 especies son benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E). Ninguna de las especies de aves se considera Monumento Natural (**Tabla N° 7-2**).

En relación con el origen, todas las especies son nativas, mientras que nueve especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 18 especies de

aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, tres especies presentan un riesgo alto (caití, flamenco andino y flamenco de James), otras tres presentan un riesgo medio, y 12 especies presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 7-2**).

Por otra parte, comparando los sectores, los tres sectores presentaron la misma riqueza, con nueve especies (**Tabla N° 7-2**).

Fotografía N° 7-5. Aves del área de estudio: Caití (superior, izquierda), Parina grande y Flamenco chileno (superior, derecha), Bailarín chico (inferior, izquierda) y Chorlo de la puna (inferior, derecha). Fotos tomadas en campaña invierno 2024.



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.2.4 Mamíferos

Del total de 28 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, nueve corresponden a mamíferos (32,1%), las que se distribuyen en cuatro órdenes y cinco familias (**Tabla N° 7-2**; **Fotografía N° 7-6; Fotografía N° 7-7**).

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

En relación con la clasificación de las especies de mamíferos en las categorías BSE, de las nueve especies, seis se encuentran catalogadas en categoría S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que ninguna especie se considera beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria (B), tres especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), mientras que tres especies se consideran benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E; **Tabla N° 7-2**)**.** Una especie, la chinchilla de cola corta, se considera Monumento Natural.

En relación con el origen de las especies de mamíferos, siete son nativas, y dos introducidas (el burro y la cabra). Una especie es catalogada como movilidad baja (el tuco-tuco de Atacama), tres especies presentan movilidad media, y el resto son de alta movilidad. En cuanto al índice de riesgo de las especies, una especie presenta riesgo alto (la chinchilla), otra especie presenta un riesgo medio (el tuco-tuco de Atacama), otras cuatro especies restantes presentan un índice de riesgo bajo, en tanto que para las especies domesticadas y/o introducidas (llama, cabra y burro) no se calcula el índice de riesgo **(Tabla N° 7-2).**

Por su parte, comparando el registro de especies por sectores, el sector de La Punta y La Brava corresponde al de menor riqueza, sin especies, seguido por Peine con dos especies, en tanto que Tilopozo registró el máximo, con las nueve especies (**Tabla N° 7-2**).

Fotografía N° 7-6. Macromamíferos en el área de estudio: Chinchilla de cola corta (arriba) y Zorro chilla (abajo). Fotos tomadas en campaña invierno 2024.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 7-7. Micromamíferos del área de estudio: lauchón orejudo amarillo (izquierda) y ratón andino (derecha). Fotos tomadas en campaña invierno 2024.



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.3 Composición por ambiente

Para los reptiles, sólo en el ambiente de humedal pajonal de Tilopozo se registró la lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*; **Tabla N° 7-3**).

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra en el humedal salar de La Punta y La Brava, con nueve especies registradas durante la campaña (siete de ellas acuáticas), seguido por el humedal pajonal de Tilopozo, con siete especies, y luego por el humedal salar de Peine, con seis especies, mientras que los otros ambientes presentan una baja riqueza, con ninguna a tres especies de aves (**Tabla N° 7-3**).

Para los mamíferos, la mayor riqueza se encuentra en el ambiente de humedal pajonal de Tilopozo con seis especies, seguido por el matorral de Peine, con cinco especies. Por otra parte, el ambiente de herbazal de Tilopozo registró cuatro especies, mientras que el resto de los ambientes presentaron entre ninguna a tres especies de mamíferos (**Tabla N° 7-3**).

Agrupando las tres clases de vertebrados, el ambiente con mayor riqueza corresponde al humedal pajonal de Tilopozo, con 14 especies registradas, que corresponden a un 50% de la riqueza total; le siguen los ambientes de humedal salar de La Punta y La Brava, con nueve especies; y el humedal salar de Peine junto con el matorral de Tilopozo, con seis especies. El matorral de Peine presenta cinco especies, junto con el herbazal de Tilopozo, y la quebrada de Tilopozo presenta tres especies. Por su parte, el ambiente área desprovista de vegetación costra salar (ADV costra salar) no presentó registros durante esta campaña (**Tabla N° 7-3**).

En general, los ambientes de menor riqueza son un subconjunto de las especies presentes en los ambientes con mayor riqueza; ya que por una parte, también se encuentran en dichos ambientes, y por otra, no poseen especies únicas.

Tabla N° 7-3. Especies de fauna registradas por ambiente (invierno 2024). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.

CLASE	AMBIENTE POR SECTOR							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
NOMBRE COMÚN	Humedal salar	Matorral	Humedal salar (Salada-Saladita interna*)	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
REPTILIA								
Lagartija de Constanza						X		
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**
AVES								
Aguilucho común		X				X		
Vari Ceniciento						X		
Pato jergón chico	X					X		
Pato juarjual						X		
Chorlo de la puna	X		X					
Gaviota Andina	X	X						
Caití	X		X					
Playero de Baird			X					
Carancho cordillerano						X		
Cernícalo						X		
Tijeral común					X			
Golondrina de dorso negro	X							
Bailarín chico común	X					X		
Dormilona cenicienta		X						
Mero gaucho							X	
Flamenco andino o Parina grande	X		X					
Flamenco chileno	X		X					
Flamenco de James o Parina chica	X		X					
TOTAL RIQUEZA AVES	**9**	**3**	**6**	**0**	**1**	**7**	**1**	**0**
MAMMALIA								
Cabra						X		
Llama					X	X	X	
Zorro chilla							X	
Zorro culpeo		X			X	X	X	X

CLASE	AMBIENTE POR SECTOR							
	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
NOMBRE COMÚN	Humedal salar	Matorral	Humedal salar (Salada-Saladita interna*)	ADV costra salar	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
Burro					X	X	X	
Chinchilla cordillerana o de cola corta								X
Ratón andino						X		
Ratón orejudo amarillo		X			X			X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama						X	X	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	**0**	**2**	**0**	**0**	**4**	**6**	**5**	**3**
RIQUEZA POR AMBIENTE	**9**	**5**	**6**	**0**	**5**	**14**	**6**	**3**

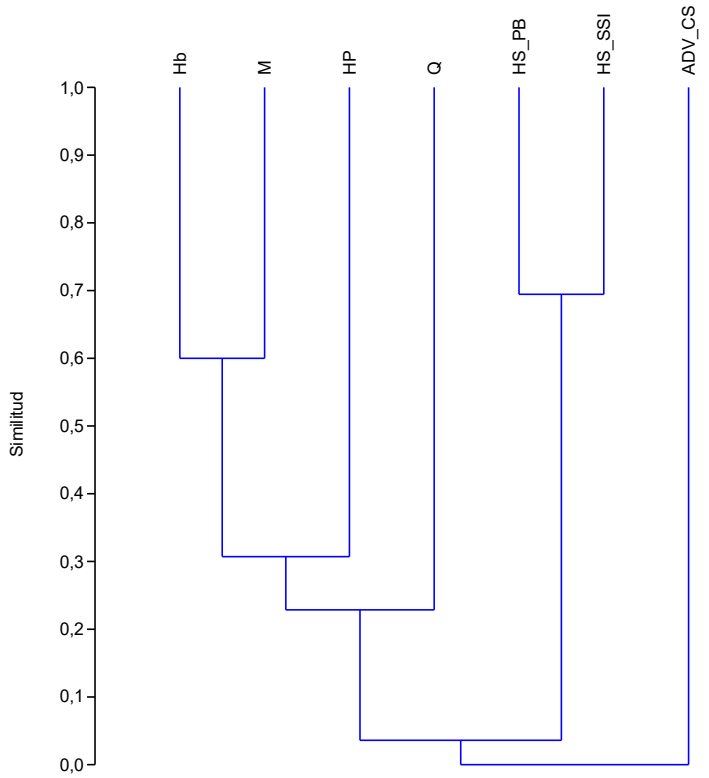
Nota: El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 7-2.
Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.4 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 1-3**, se obtiene el fenograma de similitud (**Figura N° 7-4**).

Según los resultados de similitud, se forman dos agrupaciones. Primero, se agrupan los dos sistemas acuáticos de humedal salar con cerca de un 70% de similitud, correspondientes a La Punta y La Brava por una parte, y a las lagunas de Peine por otra. Luego, se agrupa un conjunto de cuatro ambientes (un ambiente acuático y tres terrestres) a una similitud cercana al 24%, dentro de los cuales los más similares son el matorral y el herbazal, con un 60% de similitud. Fuera de los grupos queda el ambiente ADV costra salar de Tilopozo, sin similitud con los demás ambientes (**Figura N° 7-4**).

Figura N° 7-4. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña invierno 2024.



Abreviaturas de ambientes: ADV_CS: área desprovista de vegetación costra salar; **Hb**: herbazal; **HP**: humedal pajonal; **HS_PB:** humedal salar La Punta y la Brava; **HS_SSI:** humedal salar Salada, Saladita e Interna; **M:** matorral; **Q**: quebrada.
Fuente: Elaboración Propia.

7.2.1.5 Abundancia y Frecuencia

En el caso de la única especie de reptil, la lagartija de Constanza, la abundancia y frecuencia fue muy baja, con sólo un ejemplar avistado, lo que representa un 4,5% de frecuencia relativa (**Tabla N° 7-4**).

En relación a las aves censadas, sobre un total de 139 individuos contabilizados, las especies más abundantes fueron la parina chica, con 29 ejemplares (20,9% de abundancia relativa), seguido por el flamenco chileno (24 ejemplares; 17,3%), y el chorlo de la puna junto con la parina grande (16 individuos, lo que representa un 11,5% de abundancia relativa para cada una), mientras que el resto de las especies presentó una abundancia menor, variando entre uno a 11 ejemplares (**Tabla N° 7-4**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el chorlo de la puna y la gaviota andina (registradas en seis puntos; con un 27,3% de frecuencia), seguidos por la parina chica y el caití (cuatro puntos; 18,2%) y parina grande junto con flamenco chileno (tres puntos, 13,6%). En tanto, el resto de las especies son menos frecuentes, variando en su registro en uno a dos puntos, con un 4,5% a 9,1% de frecuencia (**Tabla N° 7-4**).

En el caso de los macromamíferos, las especies más abundantes fueron la llama, con 95 ejemplares en dos puntos y registros indirectos en otros dos puntos, con una frecuencia de 18,2%. De la cabra se observaron 15 ejemplares en un punto (sólo 4,5% de frecuencia) y del zorro culpeo, hubo registro directo de tres individuos en tres puntos de muestreo, además de registro indirecto en otros cuatro puntos, con una frecuencia del 31,8%, siendo el macromamífero con mayor frecuencia. Para el caso del burro, hubo registro directo de cuatro individuos en un punto, además de registro indirecto en otros cuatro puntos, lo que representa un 22,7% de frecuencia, mientras que el chululo se observó sólo con registros indirectos en cuatro puntos de muestreo, con una frecuencia de 18,2% (**Tabla N° 7-4**). Las otras dos especies de roedores fueron observadas por trampeo, con dos capturas del ratón andino y cinco del lauchón orejudo amarillo.

Tabla N° 7-4. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. (invierno 2024).

CLASE NOMBRE COMÚN	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA (%)
REPTILIA				
Lagartija de Constanza	1	100,0	1/22	4,5
TOTAL REPTILIA	**1**	**100,0**		
AVES				
Aguilucho común	2	1,4	2/22	9,1
Vari Ceniciento	1	0,7	1/22	4,5
Pato jergón chico	7	5,0	2/22	9,1
Pato juarjual	2	1,4	1/22	4,5
Chorlo de la puna	16	11,5	6/22	27,3
Gaviota Andina	11	7,9	6/22	27,3
Caití	11	7,9	4/22	18,2
Playero de Baird	6	4,3	1/22	4,5
Carancho cordillerano	1	0,7	1/22	4,5
Cernícalo	1	0,7	1/22	4,5
Tijeral común	2	1,4	1/22	4,5
Golondrina de dorso negro	4	2,9	1/22	4,5
Bailarín chico común	4	2,9	2/22	9,1
Dormilona cenicienta	1	0,7	1/22	4,5
Mero gaucho	1	0,7	1/22	4,5
Flamenco andino o Parina grande	16	11,5	3/22	13,6
Flamenco chileno	24	17,3	3/22	13,6
Flamenco de James o Parina chica	29	20,9	4/22	18,2
TOTAL AVES	**139**	**100,0**		
MAMMALIA				
Cabra	15(1)	-	1/22	4,5
Llama	95(2)+ 2X*	-	4/22	18,2
Zorro chilla	2(1)	-	1/22	4,5
Zorro culpeo	3(3)+4X	-	7/22	31,8
Chinchilla cordillerana o de cola corta	1(1) + 1X	-	1/22	4,5
Burro	4(1)+4X	-	5/22	22,7
Ratón andino	2(1)	-	-	-
Ratón orejudo amarillo	5(4)	-	-	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	4X	-	4/22	18,2

Nota 1: Para la clase Mammalia no es aplicable la suma total de ejemplares (como si ocurre para las clases Reptilia y Aves), ya que se mezclan grupos muy heterogéneos en tamaño corporal, tipo de registros (evidencia directa y/o indirecta), y metodologías de muestreo (transectos y trampeo de micromamíferos). **Nota 2:** El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 7-2 La X indica presencia indirecta. Para mamíferos, entre paréntesis se detalla el número de puntos de muestreo asociados a la abundancia absoluta directa. **Nota 3:** * se debe interpretar como que se observaron 95 ejemplares en dos puntos de muestreo, más otros dos puntos con registro indirecto. Fuente: Elaboración propia

7.2.1.6 Abundancia por ambiente (Densidad)

En cuanto a la abundancia relativa por ambiente (y estandarizando por el número de transectos), los reptiles presentaron la mayor abundancia relativa en el ambiente de humedal pajonal de Tilopozo, con 0,5 ind/transecto (en dos puntos de muestreo), En tanto, en el resto de los ambientes no se registró ningún ejemplar (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

En el caso de las aves, la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar (ocho puntos de muestreo repartidos en los sectores de La Punta y La Brava y Peine), con 15,00 individuos/transecto; valor considerablemente mayor a los siguientes ambientes. Le sigue el ambiente de humedal pajonal, con 6,50 ind/transecto, y luego el ambiente de herbazal con 1,00 individuos/transecto y el matorral, con 0,5 ind/transecto. En tanto, los ambientes de quebrada y área desprovista de vegetación costra salar, no presentaron registros de aves (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

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

En el caso de los micromamíferos, se registraron dos especies mediante trampeo: el ratón andino y el ratón orejudo amarillo (**Tabla N° 7-5**). El ratón andino fue registrado sólo en uno de los cinco ambientes en los que se llevó a cabo el trampeo (humedal pajonal), con un IDR = 1,7%, con dos ejemplares capturados (**Tabla N° 7-5**). Para el caso del ratón orejudo amarillo, éste fue registrado en tres ambientes, y la mayor abundancia fue en herbazal, con un IDR = 2,5% (con tres capturas), seguido por la quebrada (IDR = 1,7%) y el matorral (IDR = 0,8%; **Tabla N° 7-5**)**.** En tanto, en los ambientes de humedal salar y humedal pajonal, no hubo registro (**Tabla N° 7-5**).

Cabe destacar que por restricciones de acceso, en el ambiente de área desprovista de vegetación salar no se realizó trampeo de micromamíferos.

Tabla N° 7-5. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. (invierno 2024).

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%)												
Nombre común	HS		ADV_CS		Hb		HP		M		Q	
	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR
Ratón andino	**0**	0 / 60	**0**	0 / 0	**0**	0 / 120	**1,7**	2 / 120	**0**	0 / 120	**0**	0 / 60
Ratón orejudo amarillo	**0**	0 / 60	**0**	0 / 0	**2,5**	3 / 120	**0**	0 / 120	**0,8**	1 / 120	**1,7**	1 / 60

Donde: **IDR** = (Nº Individuos / trampa-noche)*100; **N / TR** = Nº Individuos totales trampeados / Nº Trampas-noche). **AMBIENTES: HS:** Humedal salar; **ADV_CS**: área desprovista de vegetación costra salar; **Hb**: herbazal; **HP**: humedal pajonal; **M:** matorral; **Q**: quebrada. **Nota:** en esta campaña, por limitaciones de permiso, no se realizó trampeo en el ambiente de área desprovista de vegetación costra salar. Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2 Resultados del monitoreo campaña de verano 2025

7.2.2.1 Riqueza, composición y caracterización de fauna de vertebrados terrestres

Los resultados de la campaña de marzo de 2025 se presentan en detalle en el **Anexo Fauna de Vertebrados Terrestres**, y en la **Tabla N° 7-6**.

En el área de estudio, en la décimo octava campaña de monitoreo, se registraron 24 especies, con dos especies de reptiles, 13 especies de aves y nueve especies de mamíferos, no registrándose anfibios (**Tabla N° 7-6**). En esta campaña de verano 2025 se registró una especie nueva, no observada en los monitoreos de verano (la chinchilla cordillerana, aunque si se había registrado en invierno). Esta especie no se había registrado en la Línea de Base del PMB (2015).

De las 24 especies de fauna detectadas, 13 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 11 especies se encuentran clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (D.S. N° 75/2005, que fue remplazado por el D.S. N° 29/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, y decretos posteriores); en tanto que las dos especies restantes se encuentran clasificadas en alguna de las categorías de conservación no oficiales definidas por Cofré & Marquet (1999). En detalle, estas especies en categoría corresponden a las dos especies de reptiles detectadas, cinco de las especies de aves y seis de las especies de mamíferos. (Ver detalle en **Tabla N° 7-6)**.

Del total de 13 especies en categoría de conservación, seis se consideran "*bajo amenaza*"; es decir, en las categorías En Peligro crítico (una especie; la chinchilla cordillerana), En Peligro (una especie; un reptil), Vulnerable (tres especies: todas aves) y Casi Amenazada (una especie de ave). Por su parte, las otras siete especies se catalogan *"sin amenaza"* (precautorias; **Tabla N° 7-6**).

Bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 20 de las 24 especies detectadas en el área de estudio se encuentran en condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria; en condición de densidades poblacionales reducidas y/o beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas (categorías no excluyentes, ya que una especie puede incluirse en uno, dos o los tres criterios; detalles en **Tabla N° 7-6**). Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, una de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural, y corresponde a la chinchilla cordillerana (**Tabla N° 7-6**).

En cuanto a su origen geográfico, cabe destacar que dos de las 24 especies registradas en la campaña (8,3%) son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles registradas); otras 20 especies de las 24 detectadas (83,3%) se clasifican como nativas (13 especies de aves y siete especies de mamíferos), mientras que dos especies son catalogadas como introducidas y/o domesticadas, *Equus asinus* (burro) y *Capra hircus* (cabra; **Tabla N° 7-6**).

En particular, para las aves, el estatus de residencia indica que 10 especies son residentes y tres son visitantes de verano (**Tabla N° 7-6**).

En relación con las especies especialistas de hábitat[25], 10 especies se consideran especialistas, siendo una de ellas un reptil, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani,* en borde de salar), ocho especies de aves (habitantes de ambientes de humedal) y una especie de mamífero, la chinchilla cordillerana, habitante de roqueríos; **Tabla N° 7-6**).

Por otro lado, la movilidad de las especies detectadas se desglosa de la siguiente forma: tres especies son de baja movilidad, tres especies se catalogan con movilidad media, y por último 18 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 7-6**).

En cuanto al índice de riesgo, destaca la presencia de una especie clasificada con un índice de riesgo máximo, un reptil (*Liolaemus fabiani*, lagartija de Fabián), cuatro se encuentran clasificadas con índice de riesgo alto (dos especies de flamencos, el caití y la chinchilla cordillerana), otras cinco se encuentran clasificadas con un índice de riesgo medio (un reptil, tres aves y un mamífero), y por último 12 se encuentran clasificadas con un índice de riesgo bajo (ocho aves y cuatro mamíferos). A las especies introducidas y/o domesticadas no les fue asignado un índice de riesgo (**Tabla N° 7-6**).

Finalmente, en el análisis por sector, se observa una riqueza mayor en Tilopozo, con 14 especies (un reptil, cinco aves y ocho mamíferos), seguido de La Punta-La Brava, con 10 especies (un reptil y nueve aves), mientras que Peine registró sólo tres especies (solo mamíferos). Es importante señalar que, en esta campaña de verano (al igual que las cuatro anteriores de verano), debido a restricciones de acceso, no se pudo ingresar al sector de

[25] Especies que están restringidas a un solo hábitat (Maliakal, 2003).

lagunas de Peine, lo que impidió el muestreo de cinco puntos de monitoreo de fauna (además de otro punto sin acceso, fuera del sector Peine). Considerando la presencia de las especies en cada sector, ninguna especie se encuentra presente en los tres sectores, en tanto que otras nueve especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (la lagartija de Fabián y ocho aves acuáticas, en La Punta y La Brava), y otras sólo se encuentran en ambientes terrestres (detalle en **Tabla N° 7-6**).

Tabla N° 7-6. Lista sistemática de especies de fauna registradas en la décimo octava campaña de monitoreo (verano 2025). Se indica además, la presencia (X) en cada sector.

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
REPTILIA												
SQUAMATA												
TROPIDURIDAE												
Liolaemus constanzae	Lagartija de Constanza	LC[6]	SE	-	E	N/A	N	B	30,35			X
Liolaemus fabiani	Lagartija de Fabián	EN[9]	SE	-	E	N/A	S	B	83,35	X		
TOTAL RIQUEZA REPTILIA										**1**	**0**	**1**
AVES												
ACCIPITRIFORMES												
ACCIPITRIDAE												
Geranoaetus polyosoma	Aguilucho común	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
ANSERIFORMES												
ANATIDAE												
Lophonetta specularioides	Pato juarjual	-	-	-	N	R	S	A	15	X		X
CHARADRIIFORMES												
CHARADRIIDAE												
Anarhynchus alticola	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	R	N	A	10,85	X		
RECURVIROSTRIDAE												
Recurvirostra andina	Caití	VU[7]	BS	-	N	R	S	A	57,85	X		
SCOLOPACIDAE												
Tringa flavipes	Pitotoy chico	LC[7]	BS	-	N	V	S	A	27,85	X		
Calidris bairdii	Playero de Baird	-	B	-	N	V	S	A	31,65	X		
PASSERIFORMES												
HIRUNDINIDAE												
Hirundo rustica	Golondrina bermeja	-	BSE	-	N	V	N	A	5			X
TYRANNIDAE												

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
Lessonia oreas	Colegial del norte	-	BE	-	N	R	N	A	3,35	X		
Agriornis montanus	Mero gaucho	-	BE	-	N	R	N	A	3,35			X
PELECANIFORMES												
ARDEIDAE												
Ardea alba	Garza grande	-	B	-	N	R	S	A	16,65			X
PHOENICOPTERIFORMES												
PHOENICOPTERIDAE												
Phoenicoparrus andinus	Flamenco andino o Parina grande	VU[3]	SE	-	N	R	S	A	65,35	X		
Phoenicoparrus jamesi	Flamenco de James o Parina chica	VU[5]	SE	-	N	R	S	A	65,35	X		
Phoenicopterus chilensis	Flamenco chileno	NT[5]	SE	-	N	R	S	A	49,35	X		
									TOTAL RIQUEZA AVES	**9**	**0**	**5**
MAMMALIA												
ARTIODACTYLA												
CAMELIDAE												
Capra hircus	Cabra	N/A	-	-	D	N/A	N	A	N/A			X
Lama glama	Llama	N/A	-	-	N	N/A	N	A	N/A			X
CARNIVORA												
CANIDAE												
Lycalopex griseus	Zorro chilla	LC[1]	E	-	N	N/A	N	A	3,65			X
Lycalopex culpaeus	Zorro culpeo	LC[1]	E	-	N	N/A	N	A	3,65		X	X
PERISSODACTYLA												
EQUIDAE												
Equus asinus	Burro	N/A	-	-	I	N/A	N	A	N/A			X
RODENTIA												
CHINCHILLIDAE												
Chinchilla chinchilla	Chinchilla cordillerana o de cola corta	CR[2]	S	MN	N	N/A	S	M	64,15			X
CRICETIDAE												
Abrothrix andina	Ratón andino	NP[8]	E	-	N	N/A	N	M	11,15		X	

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMUN	EC	BSE	MN	O	E	EH	M	IR	SECTOR		
										La Punta y La Brava	Peine	Tilopozo
Phyllotis xanthopygus	Ratón orejudo amarillo	NP[8]	S	-	N	N/A	N	M	11,15		X	X
CTENOMYIDAE												
Ctenomys fulvus	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	LC[6]	S	-	N	N/A	N	B	33,65			X
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA										**0**	**3**	**8**
TOTAL RIQUEZA SECTOR										**10**	**3**	**14**

EC (Estado de conservación): CR: En Peligro crítico; EN: En peligro; LC: Preocupación menor; IC: Inadecuadamente conocida; NP: Sin prioridad inmediata; NT: Casi amenazada; VU: Vulnerable; S/EC.: Sin estado de conservación. FUENTES EC: (1) D.S. N°13/2013 MMA (2) D.S. N°52/2014 MMA (3) D.S. N°33/2011 MMA; (4) D.S. N°38/2015 MMA; (5) D.S. N°16/2016 MMA; (6) D.S. N°23/2019 MMA; (7) D.S. N°16/2020 MMA; (8) D.S. N°44/2021 MMA; (9) 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 (incluye D: Domesticada). E(Estatus): R: Residente; V: Visitante; N/A: No aplica; EH (Especialista de hábitat): S: si; N: no; M (movilidad): B: baja; M: media; A: alta. IR: Índice de riesgo: > 75-100: máximo; > 50-75: alto; > 25-50: medio y 0-25: bajo.

Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.2 Análisis por clase

El análisis por cada clase de vertebrado es el siguiente:

7.2.2.2.1 Anfibios

En el caso de los anfibios, para esta campaña de verano 2025, no se detectaron especies en los dos puntos de Tilopozo, en que se realizó muestreo nocturno.

7.2.2.2.2 Reptiles

Del total de 24 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, dos corresponden a reptiles (8,3%), ambas del Orden Squamata y de la familia Liolaemidae (**Tabla N° 7-6; Fotografía N° 7-8**).

Ambas especies de reptiles se encuentran clasificadas en categoría de conservación. Una especie, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), se clasifica En peligro (EN), mientras que la lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*) se encuentra en categoría Preocupación Menor (**Tabla N° 7-6**).

Las dos especies de reptiles registradas son endémicas de Chile y presentan baja movilidad. Ambas especies se encuentran catalogadas con densidades poblacionales reducidas (S) y benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E), y una es especialista de hábitat (la lagartija de Fabián, asociada a bordes de salares; **Tabla N° 7-6**). En cuanto al índice de riesgo de los reptiles registrados, la lagartija de Fabián presenta un riesgo máximo (83,35), mientras que la lagartija de Constanza presenta un riesgo medio (30,35; **Tabla N° 7-6**).

En relación con su presencia en los sectores, es interesante mencionar que ambas especies se segregan espacialmente: mientras que la lagartija de Fabián se encuentra en el borde de salares de los ambientes acuáticos de La Punta y La Brava y Peine, la lagartija de Constanza se ubica más bien en sectores terrestres de Tilopozo y Peine (**Tabla N° 7-6**).

Fotografía N° 7-8. Reptiles del área de estudio: lagartija de Fabián (arriba), lagartija de Constanza (abajo). Fotos tomadas en la campaña de verano 2025 (Marzo, 2025).



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.2.3 Aves

Del total de 24 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante la campaña, 13 corresponden a aves (54,2%), las que se distribuyen en seis órdenes y nueve familias (**Tabla N° 7-6**; **Fotografía N° 7-9**).

En esta campaña no se registraron nuevas especies de aves para el monitoreo.

Del total de aves registradas en el área de estudio, cinco (38,5%) se encuentran en categoría de conservación, correspondientes a la parina grande, parina chica y caití (Vulnerable), y el flamenco chileno (Casi amenazado, **Tabla N° 7-6**).

En relación con la clasificación de las especies de aves en las categorías BSE, de las 13 especies, casi todas (12) se encuentran en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que nueve especies se consideran beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria (B), siete especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), y siete especies son benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E). Ninguna de las especies de aves se considera Monumento Natural (**Tabla N° 7-6**).

En relación con el origen, todas las especies son nativas, mientras que ocho especies se consideran especialistas de hábitat (de ambientes de humedales). De las 13 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, tres especies presentan un riesgo alto (la parina grande, la parina chica y el caití), otras tres presentan un riesgo medio, y siete especies presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 7-6**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de la Punta y La Brava presenta la mayor riqueza, con nueve especies, seguido de Tilopozo, con cinco especies, mientras que en Peine no se registró ninguna especie debido a la limitación de acceso debido al cierre de las lagunas de Peine (**Tabla N° 7-6**).

Fotografía N° 7-9. Aves del área de estudio: chorlo de la puna (superior, izquierda), caití (superior, derecha), flamenco chileno y parina grande (inferior, izquierda) y playero de Baird (inferior, derecha). Fotos tomadas en la campaña de verano 2025 (Marzo, 2025).



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.2.4 Mamíferos

Del total de 24 especies de fauna detectadas en el área de estudio durante la campaña, nueve corresponden a mamíferos (37,5%), las que se distribuyen en cuatro órdenes y seis familias (**Tabla N° 7-6; Fotografía N° 7-10; Fotografía N° 7-11**).

Cabe mencionar como especie nueva para la estación de verano el registro de la chinchilla cordillerana (*Chinchilla chinchilla*) detectado en esta campaña de verano 2025. Cabe destacar que esta especie sí había sido registrada en el monitoreo previo (en invierno), pero no en la línea de base histórica (PMB 2015).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, seis especies (66,7%) se encuentran clasificados en categoría de conservación, correspondientes a la chinchilla cordillerana (*Chinchilla chinchilla*), clasificada como En Peligro crítico, al tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*), el zorro chilla (*Lycalopex griseus*) y el zorro culpeo (*L. culpaeus*), catalogados en Preocupación menor y el ratón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*) junto con el ratón andino (*Abrothrix andina*) considerados Sin prioridad inmediata (**Tabla N° 7-6**).

En relación con la clasificación de las especies de mamíferos en las categorías BSE, de las nueve especies, seis se encuentran catalogadas en categoría B, S y/o E. Con mayor detalle podemos señalar que tres especies presentan densidades poblacionales reducidas (S), mientras que tres especies se consideran benéficas para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (E) y ninguna especie se considera beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria (B). Una de las especies de mamíferos se considera Monumento Natural, y corresponde a la chinchilla cordillerana (**Tabla N° 7-6**).

En relación con el origen de las especies de mamíferos, siete especies son nativas, y las restantes son introducidas. Por otro lado, una especie de mamífero se considera especialista de hábitat (la chinchilla cordillerana). Cinco especies presentan movilidad alta, tres especies presentan movilidad media (la chinchilla, el ratón orejudo amarillo y el ratón andino), y una especie movilidad baja (el tuco-tuco de Atacama). En cuanto al índice de riesgo que presentan las especies, una especie (la chinchilla) presenta un Riesgo alto, una especie presenta un índice de riesgo medio (el tuco-tuco de Atacama), y el resto de las especies presentan un índice de riesgo bajo, en tanto que para las especies introducidas o domésticas no se calcula el índice de riesgo **(Tabla N° 7-6**).

Por su parte, comparando el registro de especies por sectores, el sector de La Punta y La Brava corresponde al de menor riqueza, sin especies, en tanto que Tilopozo presenta la

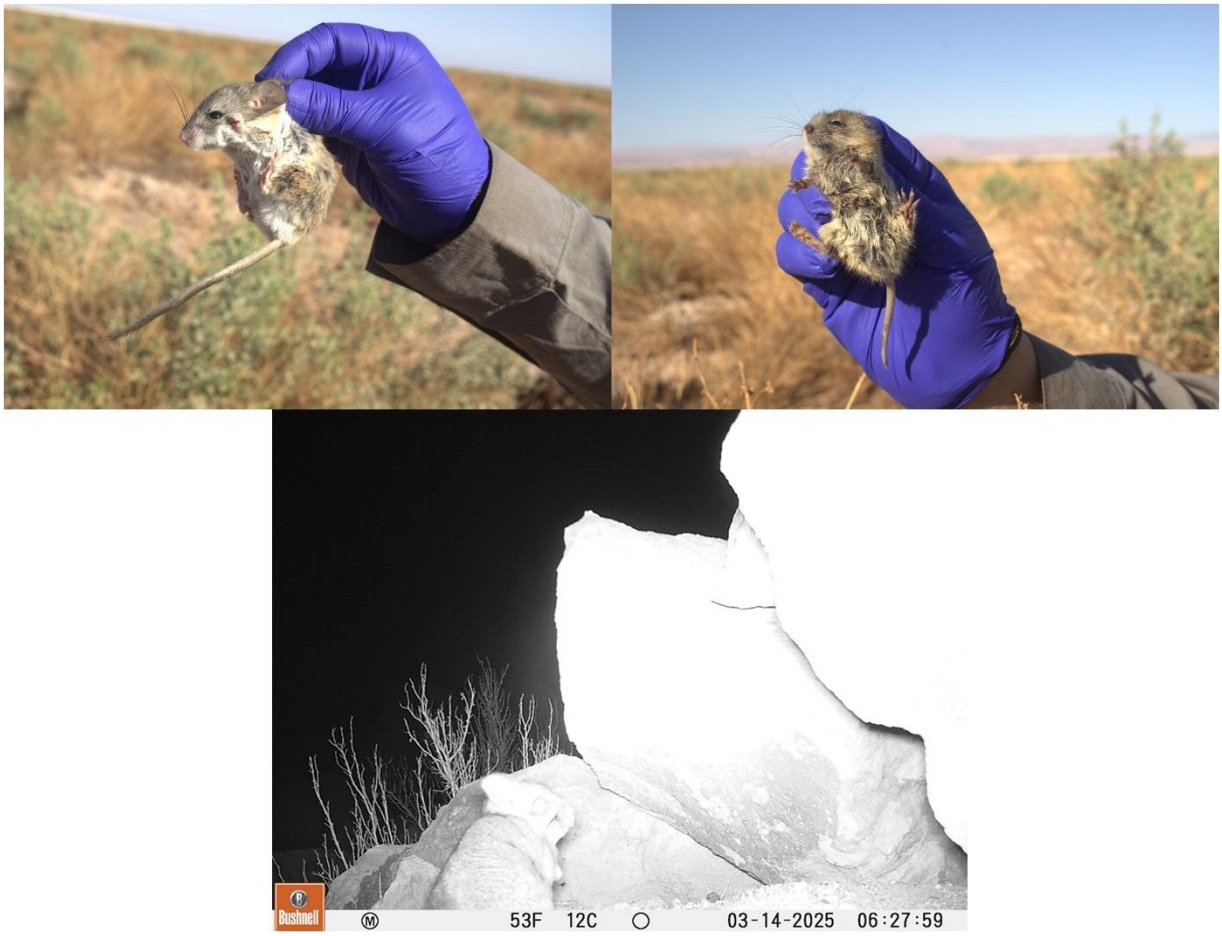
mayor riqueza con ocho especies, seguida del sector de Peine con tres especies registradas de mamíferos (**Tabla N° 7-6**).

Fotografía N° 7-10. Macromamíferos en el área de estudio: zorro culpeo (cría y adulto, arriba) y zorro chilla (abajo).



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 7-11. Micromamíferos del área de estudio: ratón orejudo amarillento (arriba, izquierda), ratón andino (arriba, derecha) y chinchilla cordillerana (abajo).
Fotos tomadas en la campaña de verano 2025 (Marzo, 2025).



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.3 Composición por ambiente

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

En el caso de las aves, la mayor riqueza se encuentra en el humedal salar de La Punta y La Brava, con nueve especies registradas durante la campaña (todas acuáticas), seguido por el humedal pajonal de Tilopozo, con cinco especies, mientras que en el resto de los

ambientes no se registraron especies de aves. El humedal salar de Peine no fue evaluado, por imposibilidad de acceso debido a la época de reproducción de flamencos, además del ambiente área desprovista de vegetación costra salar (ADV-costra salar; **Tabla N° 7-7**).

Para los mamíferos, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes de humedal-pajonal de Tilopozo, con cinco especies, seguido por el matorral de Peine y Tilopozo, ambos con tres, el herbazal, con dos especies, y la quebrada con una especie. Para el único ambiente presente en el sector de La Punta y La Brava (humedal salar) no se observó ninguna especie de mamífero, en tanto que los otros dos ambientes no fueron muestreados por restricciones de acceso (**Tabla N° 7-7**).

Agrupando las tres clases de vertebrados (y considerando la imposibilidad de acceso para el muestreo en las lagunas de Peine), el ambiente con mayor riqueza es el humedal pajonal de Tilopozo, con 11 especies registradas en total (un reptil, cinco aves y cinco mamíferos), seguido por el humedal salar de la Punta y La Brava, con 10 especies (un reptil y nueve aves), y tres ambientes (los matorrales de Tilopozo y Peine, y la quebrada), con tres especies. En tanto, el ambiente de herbazal de Tilopozo, presentó sólo dos especies. Por su parte, el ambiente área desprovista de vegetación costra salar (ADV costra salar), junto con el humedal salar de Peine no fueron muestreados durante esta campaña (**Tabla N° 7-7**).

Tabla N° 7-7. Especies de fauna registradas por ambiente. Décimo octava campaña de monitoreo (verano 2025). Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.

CLASE	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
NOMBRE COMÚN	Humedal salar	Matorral	Humedal salar (Salada-Saladita interna*)	ADV costra salar*	Herbazal	Humedal pajonal	Matorral	Quebrada
REPTILIA								
Lagartija de Constanza					X	X		X
Lagartija de Fabián	X							
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	**1**	**0**	**NE**	**NE**	**1**	**1**	**0**	**1**
AVES								
Aguilucho común						X		
Pato juarjual	X					X		
Chorlo de la puna	X							
Caití	X							
Pitotoy chico	X							
Playero de Baird	X							

CLASE / NOMBRE COMÚN	La Punta - La Brava	Peine		Tilopozo				
	Humedal salar	Matorral	Humedal salar (Salada-Saladita interna*)	ADV costra salar*	Herbazal	Humedal [illegible]	Matorral	Quebrada
Golondrina bermeja						X		
Colegial del norte	X							
Mero gaucho						X		
Garza grande						X		
Flamenco andino o Parina grande	X							
Flamenco chileno	X							
Flamenco de James o Parina chica	X							
TOTAL RIQUEZA AVES	**9**	**0**	**NE**	**NE**	**0**	**5**	**0**	**0**
MAMMALIA								
Cabra						X		
Llama						X		
Zorro chilla							X	
Zorro culpeo		X				X	X	
Burro						X		
Chinchilla cordillerana o de cola corta								X
Ratón andino		X						
Ratón orejudo amarillo		X				X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama					X			
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	**0**	**3**	**NE**	**NE**	**1**	**5**	**3**	**2**
RIQUEZA POR AMBIENTE	**10**	**3**	**NE**	**NE**	**2**	**11**	**3**	**3**

Nota: El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 7-6. No evaluado en esta campaña (no se muestreó Interna, Salada y Saladita y el punto de ADV-Costra salar). NE = No evaluada.
Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.4 Similitud

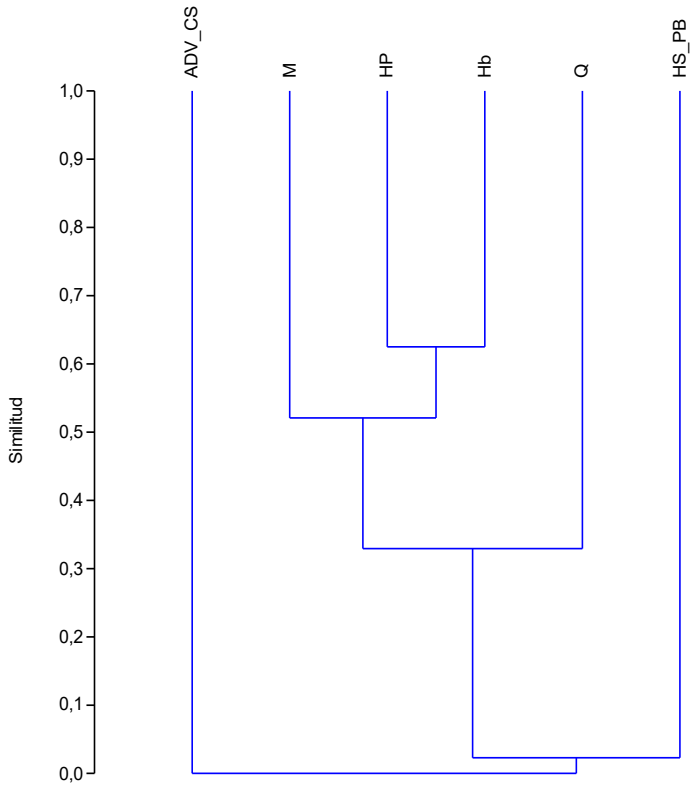
En base a la composición de fauna en los distintos ambientes, se obtiene el fenograma de similitud (**Figura N° 7-5**).

Según los resultados de similitud, se forman dos agrupaciones. La mayor similitud (cercana al 64%) se presenta entre los ambientes de herbazal y humedal-pajonal, los que se unen al matorral (50%) y luego a la quebrada a una menor similitud (cercana al 34%; **Figura N° 7-5**).

En esta campaña el humedal salar de la Punta y La Brava se asocia al grupo señalado con anterioridad a una similitud cercana al 0%, dado que casi no comparte especies. Junto con

lo anterior, dado que no se tuvo acceso al monitoreo en zonas de Peine, es que el fenograma de similitud no incluye las lagunas (Humedal Salar-Salada, Saladita e Interna), ni el ADV- costra salar, por limitaciones de acceso, de forma que no hay muestreo), por lo que dicho fenograma no es completamente comparable con las campañas en que sí se muestrearon todos los ambientes, de modo que se requiere cautela en el análisis.

Figura N° 7-5. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes. Campaña verano 2025.



Abreviaturas de ambientes: Hb: herbazal; **HP**: humedal pajonal; **HS_PB:** Humedal salar La Punta y la Brava; **M:** matorral; **Q**: quebrada. En esta campaña, el ambiente **HS_SSI:** Humedal salar Salada, Saladita e Interna y **ADV_CS**: área desprovista de vegetación costra salar; no pudieron ser muestreadas, por lo que no se incluyen en el análisis.
Fuente: Elaboración Propia.

7.2.2.5 Abundancia y Frecuencia

En el caso de las dos especies de reptiles, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, con 18 ejemplares avistados, lo que representa un 64,3% de abundancia relativa, mientras que la lagartija de Constanza presenta una abundancia relativa de 35,7%, con 10 individuos registrados (**Tabla N° 7-8**). En el caso de la frecuencia (y considerando la menor cantidad de puntos de muestreo de esta campaña), el patrón se iguala, ya que ambas especies se registran en cinco puntos, con una frecuencia relativa de 26,3%, **Tabla N° 7-8**).

En relación a las aves censadas (y considerando el muestreo de 19 de los 25 puntos, en esta campaña), sobre un total de 67 individuos contabilizados, las especies más abundantes fueron el chorlo de la puna, con 13 ejemplares (19,4% de abundancia relativa), seguido por el flamenco chileno (12 ejemplares; 17,9% de abundancia relativa), el playero de Baird (11 individuos, lo que representa un 16,4% de abundancia relativa) y el caití (n = 10; 14,9%), mientras que el resto de las especies presentaron una abundancia comparativamente menor, variando entre uno a seis ejemplares (**Tabla N° 7-8**). En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el flamenco chileno (registrado en cuatro de los 19 puntos; con un 21,1% de frecuencia), seguido por el playero de Baird junto al chorlo de la puna (registradas en tres puntos; 15,8% de frecuencia). En tanto, el resto de las especies son poco frecuentes, variando en su registro en uno a dos puntos, con un 5,3% a 10,5% de frecuencia (**Tabla N° 7-8**).

En el caso de los macromamíferos, la especie más abundante fue la llama, registrada con 43 ejemplares observados en un punto de muestreo, además de registros indirectos en otros tres puntos, por lo que su frecuencia es de 21,1%. De la cabra se contabilizaron 12 ejemplares en un punto (frecuencia de 5,3%). En el caso del burro, hubo registro directo de cuatro ejemplares en un punto, y registros indirectos en otros dos puntos, lo que representa un 15,8% de frecuencia (**Tabla N° 7-8**). Del zorro culpeo se observaron cinco ejemplares en cuatro puntos, y registros indirectos en otro punto, con una frecuencia de 26,3%, mientras que se registró un ejemplar de zorro chilla. En el caso de la única especie de micromamífero fosorial detectada en la campaña (Tilopozo), el tuco-tuco de Atacama, se observó dos individuos en dos puntos, además de registros indirectos en cinco puntos, por lo que su frecuencia fue de 36,8% (**Tabla N° 7-8**). De la chinchilla cordillerana, se registró un ejemplar, en tanto que las otras dos especies de roedores fueron observadas por trampeo, con una captura del ratón andino y 10 del lauchón orejudo amarillo.

Tabla N° 7-8. Abundancia y frecuencia absoluta y relativa (por clase) de fauna. Décimo octava campaña de monitoreo (verano 2025).

CLASE NOMBRE COMÚN	ABUNDANCIA ABSOLUTA TOTAL	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA*	FRECUENCIA RELATIVA (%)
REPTILIA				
Lagartija de Constanza	10	35,7	5/19	26,3
Lagartija de Fabián	18	64,3	5/19	26,3
TOTAL REPTILIA	**28**	**100,0**		
AVES				
Aguilucho común	1	1,5	1/19	5,3
Pato juarjual	5	7,5	2/19	10,5
Chorlo de la puna	13	19,4	3/19	15,8
Caití	10	14,9	1/19	5,3
Pitotoy chico	2	3,0	2/19	10,5
Playero de Baird	11	16,4	3/19	15,8
Golondrina bermeja	6	9,0	1/19	5,3
Colegial del norte	3	4,5	2/19	10,5
Mero gaucho	1	1,5	1/19	5,3
Garza grande	1	1,5	1/19	5,3
Flamenco andino o Parina grande	1	1,5	1/19	5,3
Flamenco chileno	12	17,9	4/19	21,1
Flamenco de James o Parina chica	1	1,5	1/19	5,3
TOTAL AVES	**67**	**100,0**		
MAMMALIA				
Cabra	12(1)	-	1/19	5,3
Llama	43(1) +3X	-	4/19	21,1
Zorro chilla	1(1)	-	1/19	5,3
Zorro culpeo	5(4) +X	-	5/19	26,3
Burro	4(1) +2X	-	3/19	15,8
Chinchilla cordillerana o de cola corta	1(1)	-	1/19	5,3
Ratón andino	1(1)	-	-	-
Ratón orejudo amarillo	10(4)	-	-	-
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	2(2) +5X	-	7/19	36,8

(*) No se consideran los 6 puntos de muestreo a los que no se tuvo acceso por restricción de acceso debido a la activación del periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos (por eso, el total de puntos es 19).

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

Nota 2: El orden en el listado de las especies sigue a la Tabla 1 – 6. La X indica presencia indirecta. Para mamíferos, entre paréntesis se detalla el número de puntos de muestreo asociados a la abundancia absoluta directa.

Fuente: Elaboración propia

7.2.2.6 Abundancia por ambiente (Densidad)

En cuanto a la abundancia relativa por ambiente (y estandarizando por el número de transectos), los reptiles presentaron la mayor abundancia relativa en el ambiente de humedal salar de la Punta y La Brava, con 3,0 individuos/transecto (en seis puntos), al igual que el humedal pajonal (en dos puntos), seguido por el herbazal de Tilopozo, con 1,5 ind/transecto, y la quebrada, con 1,0 individuos/transecto, mientras que en el matorral de Tilopozo y Peine no hubo registro de reptiles (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

En el caso de las aves, claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar (con seis puntos de muestreo de La Punta y La Brava y ningún punto de Peine), con 9,0 individuos/transecto; valor mayor al humedal pajonal, con 6,5 ind/transecto. En los restantes ambientes no se registró ningún ejemplar (ver **Anexo Fauna Vertebrados Terrestres**).

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

En el caso de los micromamíferos, fueron registradas dos especies mediante trampeo: el ratón andino y el ratón orejudo amarillo (**Tabla N° 7-9**). El ratón andino fue registrado en uno de los cinco ambientes en los que se llevó a cabo el trampeo, ambiente de matorral (M), con un IDR de 0,8%, con sólo un ejemplar capturado. El ratón orejudo amarillo fue registrado en tres de los cinco ambientes en los que se llevó a cabo el trampeo; y con un IDR variando entre 2,5% (en el ambiente de humedal pajonal) a 4,2% (en matorral), con dos a cinco ejemplares capturados en los ambientes mencionados (**Tabla N° 7-9**). En los ambientes de humedal salar y herbazal, en tanto, no hubo registro de especies (**Tabla N° 7-9**).

Tabla N° 7-9. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Décimo octava campaña de monitoreo (verano 2025).

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%)												
Nombre común	**HS**		**ADV_CS***		**Hb**		**HP**		**M**		**Q**	
	IDR	**N/TR**	**IDR**	**N/TR**	**IDR**	**N/TR**	**IDR**	**N/TR**	**IDR**	**N/TR**	**IDR**	**N/TR**
Ratón andino	**0,0**	0 / 60	**-**	-	**0,0**	0 / 120	**0,0**	0 / 120	**0,8**	1 / 120	**0,0**	0 / 60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0 / 60	**-**	-	**0,0**	0 / 120	**2,5**	3 / 120	**4,2**	5 / 120	**3,3**	2 / 60

Donde: **IDR** = (Nº Individuos / trampa-noche)*100; **N / TR** = Nº Individuos totales trampeados / Nº Trampas-noche).
AMBIENTES: HS: Humedal salar; **ADV_CS**: área desprovista de vegetación costra salar; **Hb**: herbazal; **HP**: humedal pajonal; **M:** matorral; **Q**: quebrada. * = no se muestreó este ambiente en verano 2025.
Fuente: Elaboración Propia.

7.2.3 Límites considerados en la evaluación

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

8 TAPETES MICROBIANOS

Para esta componente, se presentan las actividades y resultados obtenidos a partir de los monitoreos semestrales de invierno 2024 y verano 2025, para las comunidades de microorganismos extremófilos, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Manejo Biótico comprometido en la RCA RE-N°21/2016 del Proyecto.

Los monitoreos de invierno 2024 y verano 2025 corresponden al decimoséptimo (M17) y decimosoctavo (M18) monitoreo semestral del subcomponente tapetes microbianos. Este seguimiento quedó comprometido en la Adenda 5 del EIA, justamente con el fin de ir generando información de esta variable y que permita conocer su comportamiento en el tiempo.

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este subcomponente y que son objeto de seguimiento, corresponden a la caracterización laminar de tapetes microbianos; presencia de microbialitos; y presencia de evaporitas, según lo establecido en la RCA del Proyecto.

El período reportado en el presente informe se enmarca para los días **12 y 14 de agosto de 2024,** invierno tardío, y **18 al 21 de marzo de 2025,** verano post-lluvias, fechas entre las que se llevó a cabo la campaña en terreno del monitoreo de invierno 2024 y verano 2025 de esta variable, respectivamente.

El objetivo del seguimiento de las comunidades de microorganismos asociados a tapetes microbianos es evaluar el comportamiento en el tiempo de dichas comunidades en los sistemas lagunares de Peine (laguna Salada, Saladita, Interna), La Punta-La Brava y Sector vegas de Tilopozo, a través de la caracterización de la estructura del tapete microbiano respecto a la pigmentación de las capas, con una frecuencia de monitoreo semestral. Es importante mencionar que los tapetes si bien forman parte del PMB, también conforman más bien una línea investigativa y de análisis, ya que no se tenía registros previos en dichas lagunas cuando se diseñó el PMB (Anexo 2, Adenda 5). Asimismo, durante el desarrollo del PMB, se indicó que el monitoreo estaría enfocado en una primera fase a localizar el componente Tapete Microbiano, presentes en cada laguna (La Punta, La Brava, Salada, Saladita e Interna), y en una segunda fase al seguimiento de la morfología de la estratificación de los colores de los tapetes microbianos, con una frecuencia de monitoreo semestral.

Cabe destacar, que los **tapetes microbianos** son definidos como ecosistemas de comunidades microbianas organizadas por funcionalidad ecológica los cuales se agrupan

de forma estratificada o laminada, horizontalmente, en el sedimento (Prieto-Barajas *et al*., 2018; Chen *et al*., 2020). Por otro lado, los **microbialitos** son estructuras órgano-sedimentarias mineralizadas, formados a partir de antiguos tapetes microbianos litificados y en los cuales coexisten microorganismos que han ido precipitando minerales, manteniendo un rol ecológico funcional (i.e. quimiolitoautótrofos, quimioheterótrofos) (Eymard *et al*., 2020; Saona *et al*., 2024). Las **evaporitas** son estructuras sedimentarias de comunidades endolíticas, que retienen agua la cual luego se puede evaporar, en las cuales los microorganismos pueden existir protegidos de la radiación UV, pero con un rol fotosintético (Manaa y Aref, 2021; Saona *et al*., 2024).

8.1 MATERIALES Y MÉTODOS

8.1.1 Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se localiza en el Salar de Atacama, el cual se encuentra ubicado en el altiplano de la región de Antofagasta. Corresponde a una cuenca endorreica, cuya superficie alcanza los 15.620 km², flanqueada en toda su extensión por cordones cordilleranos, lo que determina que el agua que precipita en ella escurre superficial o subterráneamente hasta la parte baja de la hoya, donde se localiza el Salar propiamente tal. En términos climáticos, la cuenca del Salar de Atacama está bajo la influencia del tipo climático Desértico Marginal de Altura (CADE-IDEPE 2004), mientras que, de acuerdo con el régimen hídrico, se encuentra dentro de la zona denominada Árida Estepárica Fría de Altura, caracterizada por una estación de lluvias estivales que va de diciembre a marzo, un régimen térmico extremadamente frío y registro de heladas durante todo el año (Santibáñez et al. 2008).

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

El área de estudio incluye tres sectores, Sector Peine que incluye al complejo lagunar formado por Salada, Saladita e Interna, Sector La Punta-La Brava formado por las lagunas La Punta y La Brava, y finalmente el Sector vegas de Tilopozo donde se ubica un par de

pozas profundas y un afloramiento de agua y que fueron incorporados de forma adicional para su inspección y registro (**Figura N° 8-1**).

Durante los monitoreos de invierno 2024 el Sector Peine fue parcialmente muestreado debido a la imposibilidad de acceder al sector con la finalidad de evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua o por ser época de reproducción (**ver Anexo Cartas y Prohibiciones**), mientras que no se pudo acceder a este en verano 2025. Por estas razones, no es posible realizar análisis temporales de las campañas de invierno y verano, no obstante y sin perjuicio de aquello, en este documento se presentan los resultados de las campañas de invierno (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2022, 2023, 2024) y verano (2017, 2018, 2019, 2022, 2023, 2024 y 2025). En este punto es importante señalar que **se considera muy importante poder contar con el acceso a todas las zonas, por un lado, para poder realizar todos los puntos establecidos por RCA y por otro, para poder hacer seguimiento de manera adecuada a la evolución de las componentes en el tiempo**.

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

8.1.2 Estaciones de Monitoreo

En el área de estudio se emplazó entre los sectores un total de 16 estaciones de monitoreo, cuya codificación asignada corresponde a las lagunas y pozas de referencia en donde se ubican las estaciones. Se presenta además las coordenadas y plano de ubicación de las estaciones de monitoreo (**Tabla N° 8-1**; **Figura N° 8-1**). Como ya fuera mencionado, para el sector vegas de Tilopozo se incorporaron adicionalmente tres estaciones de muestreo, identificadas como TB-1, TB-2 y TB-3, con el objetivo de detectar o descartar presencia de tapetes microbianos, y en el caso de registrar presencia, evaluarla e incorporar esta información al análisis.

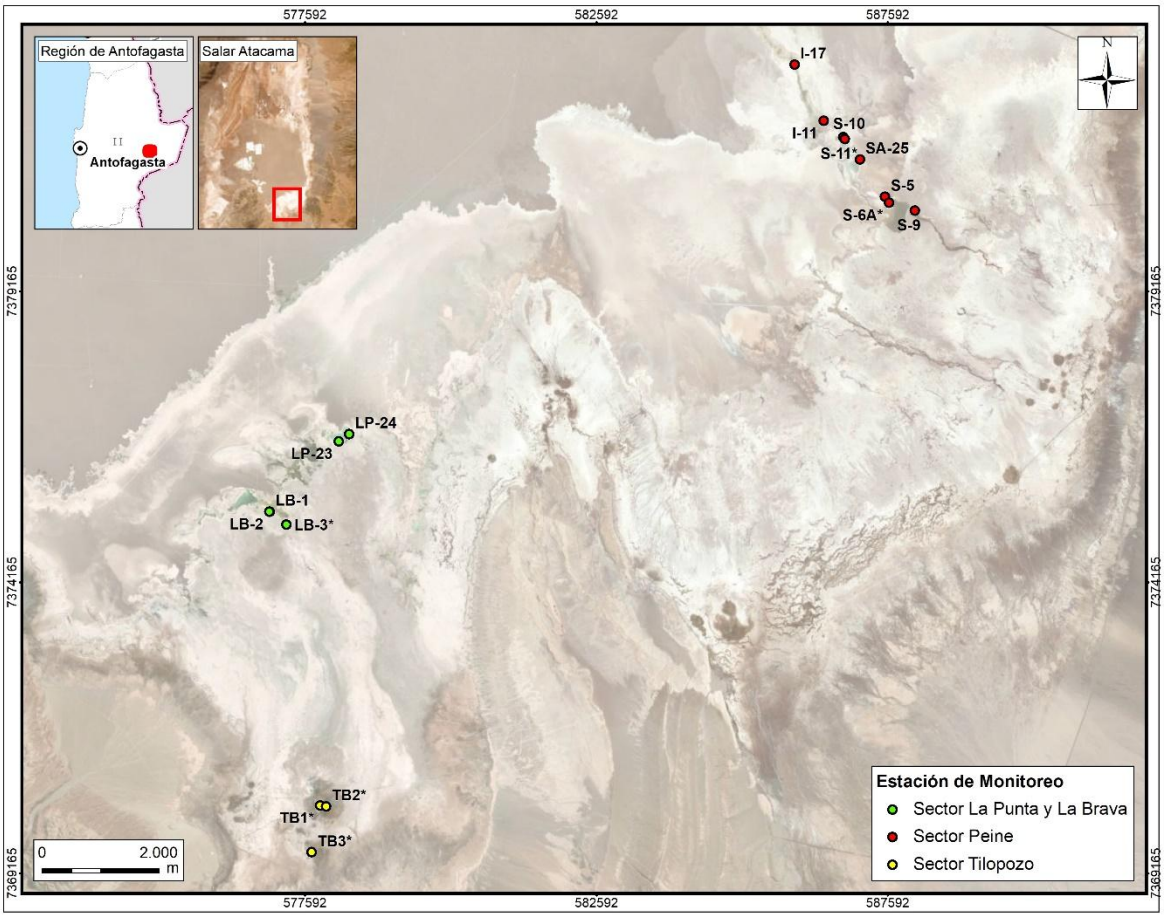
Tabla N° 8-1. Estaciones y coordenadas de monitoreo, Tapetes Microbianos, PMB.

Sector	Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM (WGS 84; Huso 19K)	
		Este (m)	Norte (m)
Sector Peine	S-5	587.547	7.380.789
	S-6A*	587.618	7.380.684
	S-9	588.061	7.380.551
	SA-25	587.117	7.381.430
	S-10	586.833	7.381.812
	S-11*	586.859	7.381.778
	I-11	586.494	7.382.095
	I-17	585.995	7.383.061
Sector La Punta y La Brava	LP-23	578.169	7.376.584
	LP-24	578.347	7.376.709
	LB-1	576.985	7.375.376
	LB-2	576.978	7.375.378
	LB-3*	577.270	7.375.157
Sector Tilopozo	TB1*	577.852	7.370.329
	TB2*	577.952	7.370.316
	TB3*	577.705	7.369.526

*Estaciones adicionales al PMB original. El año 2016, en base a un examen visual de localización de tapetes microbianos y con el fin de levantar información sobre esta materia, se determinaron los puntos adicionales de monitoreo a lo señalado por el Plan de Manejo Biótico, los cuales se identificaron como **S-6A**, **S-11** en Sistema Peine**, LB-3** en La Punta-La Brava. Los dos primeros puntos corresponden a sectores donde se evidenció una importante presencia de tapetes microbianos.

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 8-1. Ubicación estaciones de monitoreo, Tapetes Microbianos.



Fuente: Elaboración Propia

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

Para evaluar el estado y evolución de los tapetes microbianos se establecieron los siguientes parámetros:

- La caracterización del perfil pigmentario laminar de los tapetes microbianos, el número de capas y el espesor.
- Determinación de macrozonas y tipologías
- Determinación visual de la presencia/ausencia de microbialitos y evaporitas, y su seguimiento en el tiempo.

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

La campaña de monitoreo fue realizada entre los días 12 y 14 de agosto de 2024, correspondiente al periodo de invierno y entre los días 18 al 21 de marzo de 2025, correspondiente al periodo de verano (post-lluvias). Para ello se realizó un reconocimiento visual y una evaluación de la matriz sedimentaria de las zonas con tapete microbiano, microbialito y/o evaporita en cada estación de monitoreo. Luego, se colectaron muestras de tapetes microbianos en triplicado (N=3).

En la estación de monitoreo se analizaron 3 microhábitats denominados Superficial (área de costa); Sumergido en el borde lagunar; y Profundo bajo la columna de agua. Cabe señalar que cada estación de monitoreo se encuentra estacada para levantar sistemáticamente en el tiempo y en el mismo punto las muestras de tapetes. De este modo, para tapetes superficiales (ubicados en el área de costa de las lagunas) se utilizó espátula metálica con la cual se extrajo una muestra expuesta de área húmeda, en tanto, para tapetes sumergidos (borde lagunar, bajo la columna de agua) se utilizaron palas y/o testigos de PVC de 5 cm de diámetro y 20 cm de largo. A continuación, se realizó *in situ* la caracterización general del microhábitat, y en gabinete a través del registro fotográfico con fotografías de alta resolución que incorpora una regla milimetrada se complementa la caracterización pigmentaria de cada tapete, el conteo de las capas estratificadas, la determinación del espesor total.

Por último, para microhábitat Profundo, bajo la columna de agua a metros de la línea de costa en la parte profunda se extrae con una pala o con saca testigo sedimento de fondo para evaluar y descartar la presencia-ausencia de tapetes microbianos y biofilms y se realiza la medición de la profundidad de la columna de agua con una regla milimetrada y se obtiene el registro fotográfico en el punto.

A partir del número de capas estratificadas y del espesor total de los tapetes, se calculó el promedio respectivo usando la siguiente ecuación:

$$Promedio = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Esto fue realizado por cada tipo de tapete (superficial plano o sumergido). Para la caracterización general de una estación de monitoreo, se calculó el promedio considerando los datos obtenidos de tapetes superficiales planos y sumergidos en conjunto, asimismo para describir el Sector estudiado.

Para el caso de microbialitos y evaporitas, se realizó una evaluación visual del área detectándose y sugiriendo solo la presencia o ausencia de tales estructuras en las estaciones de monitoreo correspondientes, ya que la determinación para ambas estructuras requiere de un análisis microscópico de la estructura y composición interna para diferenciar evaporitas y microbialitos (Burne y Moore, 1987; Gischler *et al.*, 2010).

Adicionalmente, se midieron *in situ* los parámetros físicos y químicos: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto y turbiedad, y datos de laboratorio de salinidad y alcalinidad total obtenidos de la columna de agua y potencial redox, fósforo total, COT y Nitrógeno Total Kjeldahl, entre otros, obtenidos desde los sedimentos para cada estación monitoreada. Las muestras agua y sedimentos fueron obtenidas para cada estación de monitoreo y enviadas para su posterior análisis al laboratorio acreditado ETFA, a cargo de la empresa ANAM S.A. (Análisis Ambientales S.A.). Por otra parte, se analizan datos de radiación solar proporcionados por la estación meteorológica de Albemarle Ltda., ubicada dentro de las instalaciones de la faena minera en el salar (**Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Aguas y Anexo Acreditaciones SMA Empresas ETFAs**).

La paleta de colores para Tapetes Microbianos (Rodriguez-Aranda y Sanz-Montero, 2015), para la caracterización de la estructura pigmentaria de los tapetes y análisis de los resultados siguen los criterios teóricos de zonas macroscópicas pigmentadas, propuestas por *Riding y Awramik (2000) y Konhauser (2007*):

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

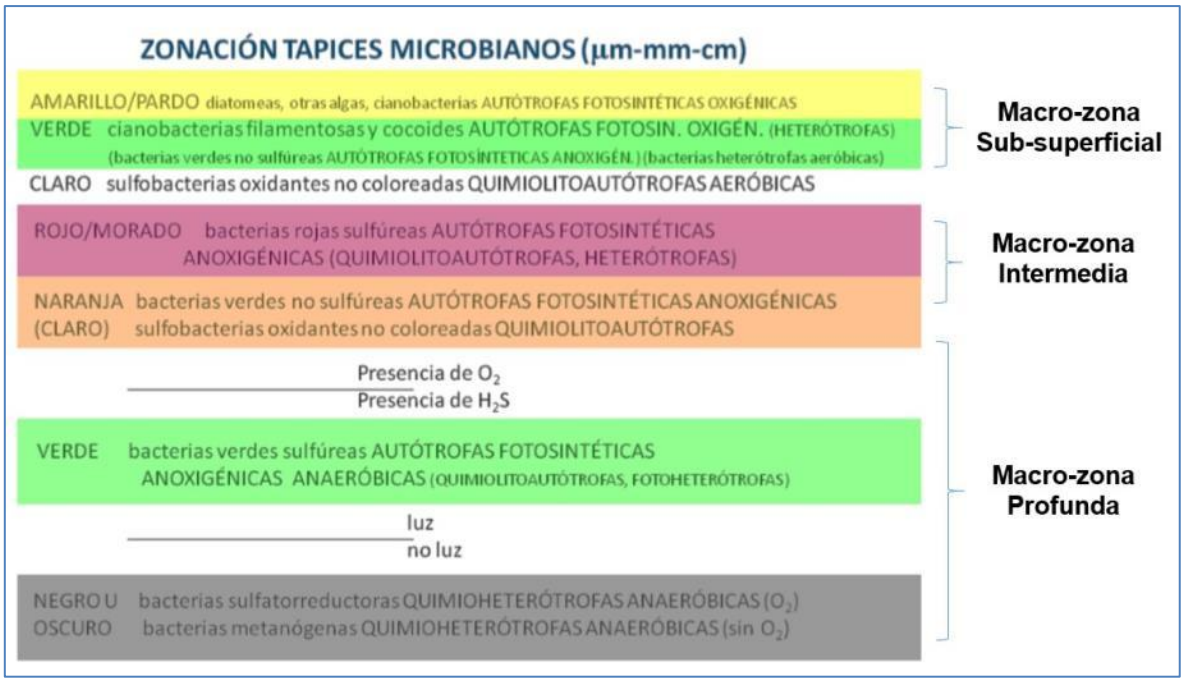
En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, se obtienen tres principales tipologías de tapetes:

i) TIPOLOGÍA 1, tapetes que presentan 3 macro-zonas de pigmentación;
ii) TIPOLOGÍA 2, tapetes que presentan 2 macro-zonas de pigmentación; y
iii) TIPOLOGÍA 3, tapetes que presentan solo una macro-zona.

Cabe destacar que cada zona macroscópica está formada a su vez por un número variable de laminaciones. La clasificación de macrozonas se esquematiza en la **Figura N° 8-2**, elaborada de acuerdo con la zonación teórica de un tapete microbiano según las

descripciones en Riding y Awramik (2000) y Konhauser (2007). Esta paleta de colores para Tapetes Microbianos (Rodriguez-Aranda y Sanz-Montero, 2015) se encuentra indicada en la metodología de los Informes Anuales, en Figura 8.2 (Pág., 263) de Capítulo "*8.1.4 Metodología de muestreo, medición y análisis para la componente"* Cap. 8. "Tapetes Microbianos" del Informe Anual N°6 PMB.

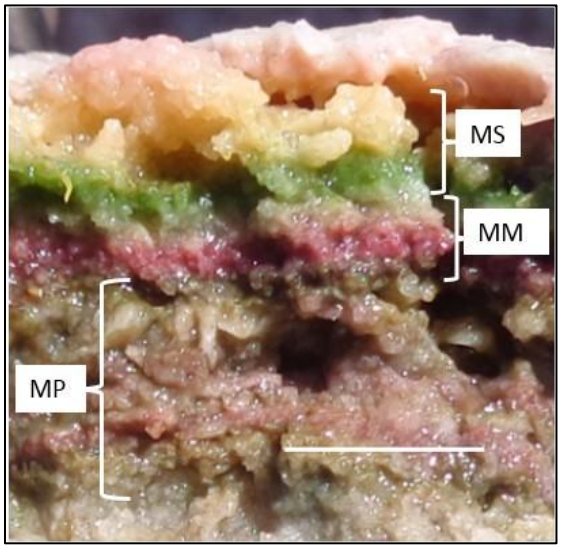
Figura N° 8-2. Zonación macroscópica utilizada para la caracterización de pigmentación laminar de tapetes microbianos en el área de estudio.



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

La **Fotografía N° 8-1** muestra un ejemplo de las capas pigmentadas observadas, en planicies del margen externo de la Laguna Salada (2016). Se indican las macrozonas (M) presentes: Subsuperficial (MS), Intermedia (MM), Profunda (MP).

Fotografía N° 8-1. Ejemplo de zonación de un Tapete microbiano.



(Marca de escala=10 mm)
Fuente: Elaboración propia

8.1.5 Materiales y Equipos Utilizados

Los materiales utilizados para el monitoreo de Tapetes son los siguientes:

- Equipo GPS Garmin GPSMAP 64sc,
- Cámara digital Sony α ILCE 6000L, con objetivo Macros α SEL30M35
- Testigos de PVC de 5 cm de diámetro y 20 cm de largo,
- Espátulas metálicas,
- Regla milimetrada de precisión,
- Flexómetro,
- Guantes de nitrilo y de goma.

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

El muestreo se llevó a cabo los días 12 y 14 de agosto de 2024, correspondiente al periodo de invierno y entre los días 18 al 21 de marzo de 2025, correspondiente al periodo de verano (post lluvias).

La caracterización de los tapetes microbianos *in situ*, el registro de parámetros físicos y químicos y la caracterización del hábitat fueron consignados en una ficha de terreno para cada sector evaluado, las que se encuentran disponibles en el **Anexo Limnología y**

Tapetes Microbianos - Calidad de Aguas. Posteriormente, se realizó el análisis de los datos obtenidos en terreno en gabinete luego de finalizar el monitoreo.

8.2 RESULTADOS

8.2.1 Resultados Campaña Invierno 2024

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo de invierno 2024.

8.2.1.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos

En la campaña invierno 2024, solo se analizaron *in situ* muestras de 13 de las 16 estaciones de monitoreo, distribuidas principalmente en el sector Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo. El sector de Peine fue muestreado parcialmente, ya que no se obtuvo acceso a Laguna Salada debido a restricciones de acceso por la comunidad de Peine, para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones).**

De este modo, se detectó la presencia de tapetes microbianos en 9 de las 13 estaciones evaluadas (69,2%), no detectándose la presencia de tapetes en las estaciones pertenecientes al sector vegas de Tilopozo (TB-1, TB-2 y TB-3).

Entre las 9 estaciones de monitoreo con presencia de tapetes microbianos, 3 de ellas (33,3%) presentaron tapetes en planicies expuestas del borde lagunar, correspondientes a las estaciones S-11 (laguna Saladita), I-17 (laguna Interna) y LP-23 (laguna La Punta) y las 6 estaciones restantes con un 66,7%, presentaron tapetes localizados tanto en planicies expuestas del borde lagunar como también sumergidos bajo el agua (0,1 – 6 cm), las que correspondieron a las estaciones SA-25 (laguna Saladita), I-11 (laguna Interna), LP-24 (laguna La Punta), LB-1, LB-2 y LB-3 (laguna La Brava). En esta campaña, no se reportaron estaciones exclusivamente con presencia de tapetes sumergidos (**Tabla N° 8-2** y **Tabla N° 8-1**). Esta condición, observada en la presente campaña, también fue la misma observada en las campañas de invierno de 2022 y de 2023.

Tabla N° 8-2. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos. Campaña invierno 2024.

Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	3	33,3
Estaciones con Tapetes sumergidos	0	0,0
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	6	66,7
Total Estaciones	9	100

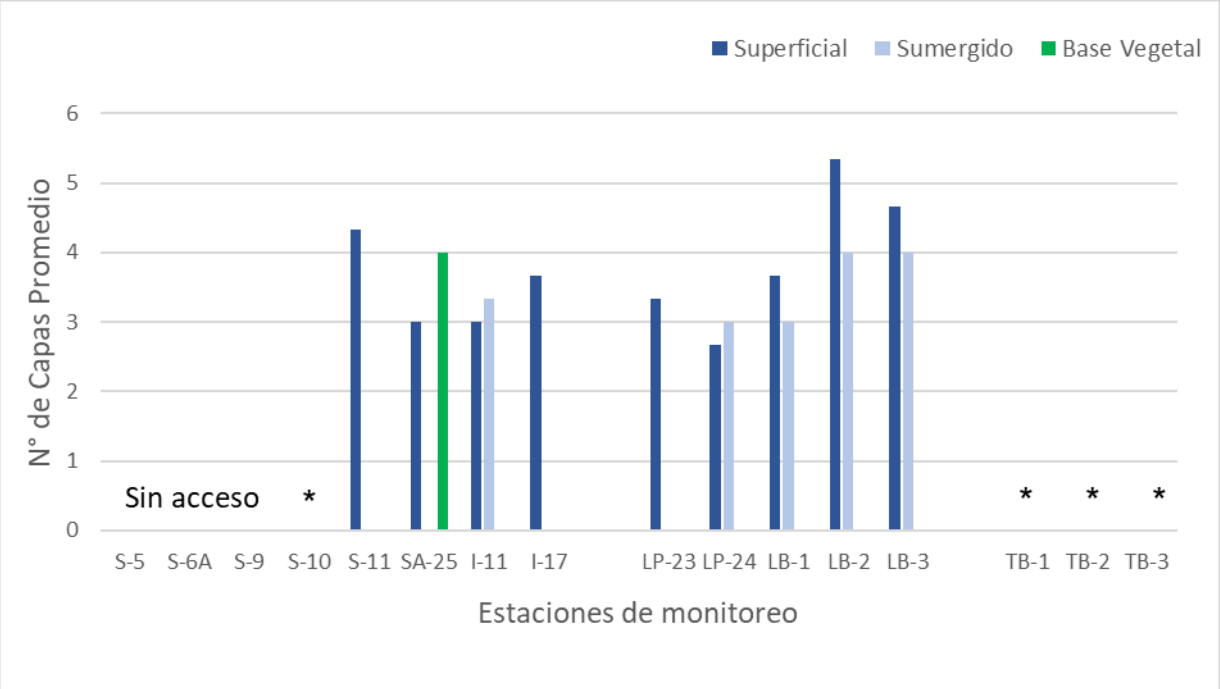
(*) De un total de 16 estaciones se monitorearon solo 13 (S-5, S-6A, S-9, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine).
Fuente: Elaboración propia

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

Tomando en cuenta los valores promedios por estación, considerando ambos sectores evaluados y tomando en conjunto tanto tapetes superficiales planos como sumergidos, según corresponda, el mayor número de capas promedio, fue observado en la estación LB-2 (Laguna La Brava) con 4,7 capas, mientras que, el menor valor registrado fue en la estación LP-24 (Laguna La Punta) con un promedio de 2,8 capas.

En específico, respecto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor número de capas promedio, fue detectado en LB-2 (Laguna La Brava) con 5,3 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en LP-24 (Laguna La Punta) con 2,7 en promedio (**Figura N° 8-3**). Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor número de capas fue detectado en SA-25 (Laguna Saladita), LB-2 y LB-3 (Laguna La Brava) con 4,0 y la menor en LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1 (Laguna La Brava) con 3,0 (**Figura N° 8-3**).

Figura N° 8-3. Número de capas ($\bar{x}$) y distribución de tapetes microbianos. Invierno 2024.

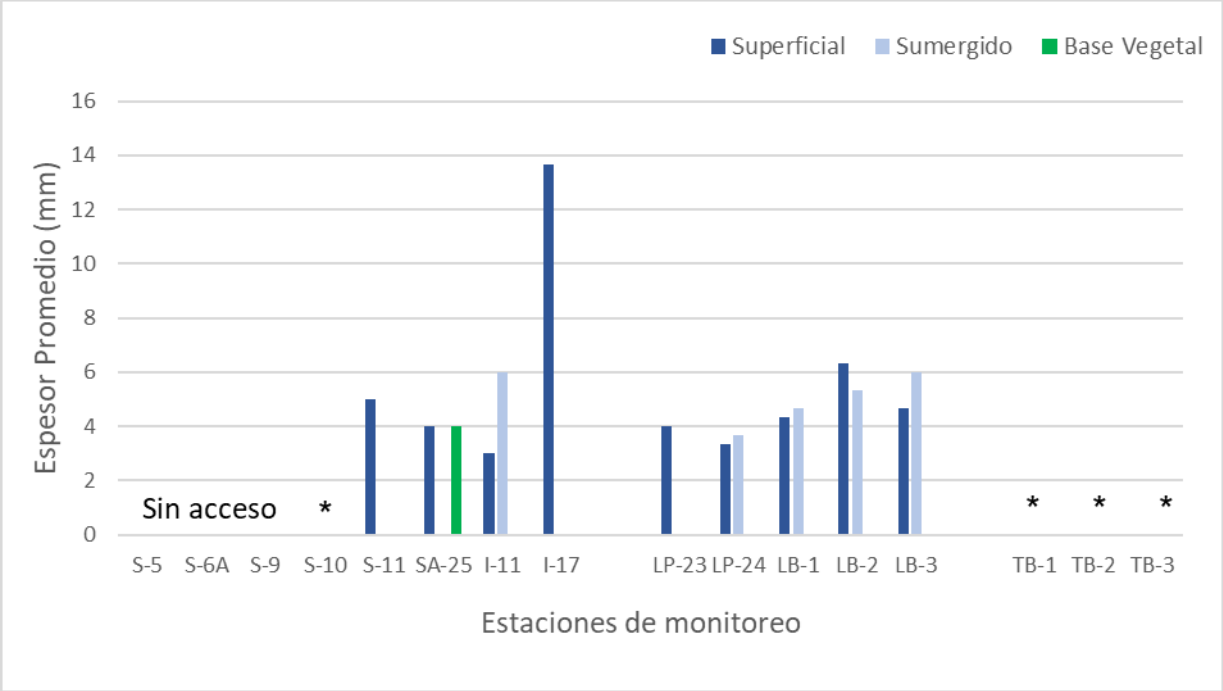


(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.
De un total de 16 estaciones se monitorearon solo 13 (S-5, S-6A y S-9, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine).
Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor promedio de los tapetes, por estación, considerando ambos sectores evaluados y tomando en conjunto tanto tapetes superficiales planos como sumergidos, según corresponda, se determinó que el mayor espesor promedio, fue observado en I-17 (Laguna Interna), con 13,7 mm, mientras que los menores valores, fueron registrados en LP-24 (Laguna La Punta), con 3,5 mm (**Figura N° 8-4**).

Específicamente, en cuanto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor espesor promedio, fue detectado en I-17 (Laguna Interna), con 13,7 mm, mientras que, fue menor I-11 (Laguna Interna), con 3,0 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en I-11 (Laguna Interna) y LB-3 (Laguna La Brava) con 6,0 mm y el menor fue en LP-24 (Laguna La Punta) con 3,7 mm (**Figura N° 8-4**).

**Figura N° 8-4. Espesor de tapetes microbianos ($\bar{x}$).
Invierno 2024.**



(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.
De un total de 16 estaciones se monitorearon solo 13 (S-5, S-6A y S-9, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine).
Fuente: Elaboración propia

8.2.1.2 Tipología y Morfología de Tapetes Microbianos

La caracterización de las capas pigmentadas, según zonación macroscópica de los tapetes detectados en el Sector La Punta-La Brava, mostró 2 tipos de tipologías:

- **Tipología 1:** presentó tres macro-zonas pigmentarias y se observó tanto en el Sector Peine, como en el Sector La Punta y La Brava, siendo la segunda tipología más frecuente entre los sectores. Presentaron en general capas subsuperficiales de color verde y/o naranja, capas intermedias color púrpura y/o rosado, y capas profundas con tonalidades marrón (**Tabla N° 8-3**, **Tabla N° 8-22** y **Tabla N° 8-13**).

- **Tipología 2:** exhibió la presencia de dos macro-zonas y fue detectado en el Sector Peine y Sector La Punta-La Brava, siendo la tipología más frecuente entre los sectores. Estos tapetes presentaron principalmente macro-zonas subsuperficiales

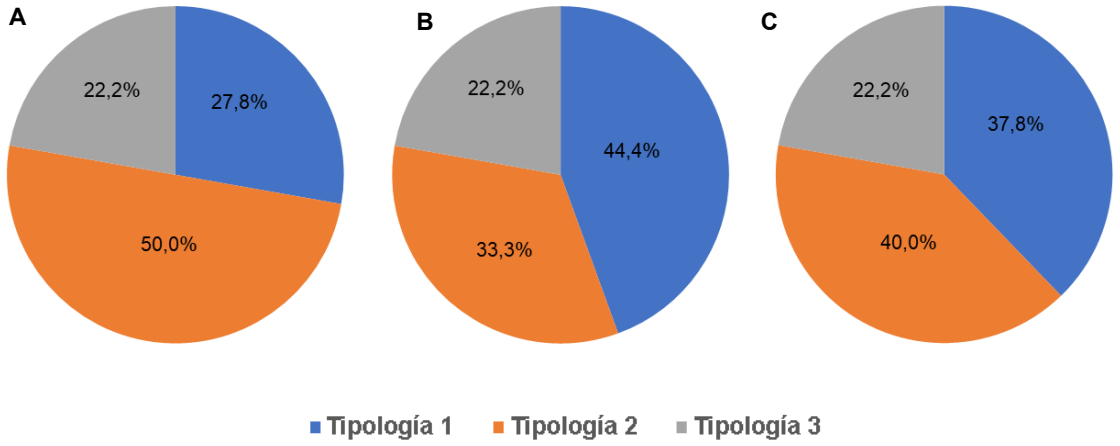
color verde y/o naranja, seguidas de capas color rosado y/o púrpura (**Tabla N° 8-3**, **Tabla N° 8-23** y **Tabla N° 8-14**).

- **Tipología 3:** presentó, principalmente, la macro-zona subsuperficial, donde predominaban las capas de coloración verde, naranjo y en menor medida rosado o amarillo, en el Sector Peine y La Punta-La Brava (**Tabla N° 8-3**, **Tabla N° 8-24** y **Tabla N° 8-15**).

En cuanto a la proporción de Tipología de tapetes presentes, se observó que en el Sector Peine la Tipología 2 fue la más abundante con 50,0% (**Figura N° 8-5 A**), mientras que en el Sector La Punta-La Brava la mayor prevalencia correspondió a Tipología 1 con un 44,4% (**Figura N° 8-5 B**). Las Tipologías 1 y 3, mostraron un 27,8% y 22,2%, en el sector Peine, respectivamente; mientras que en el Sector La Punta-La Brava, las Tipologías 2 y 3, se reportaron en un 33,3% y 22,2%, respectivamente.

En el mismo contexto, al considerar el área total de estudio, se observó que la Tipología 2 fue predominante entre los tapetes con un 40,0%, seguido de Tipología 1 con 37,8% y finalmente la Tipología 3 con 22,2% (**Figura N° 8-5 C**).

Figura N° 8-5. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava y (C) Área total de estudio. Invierno 2024.

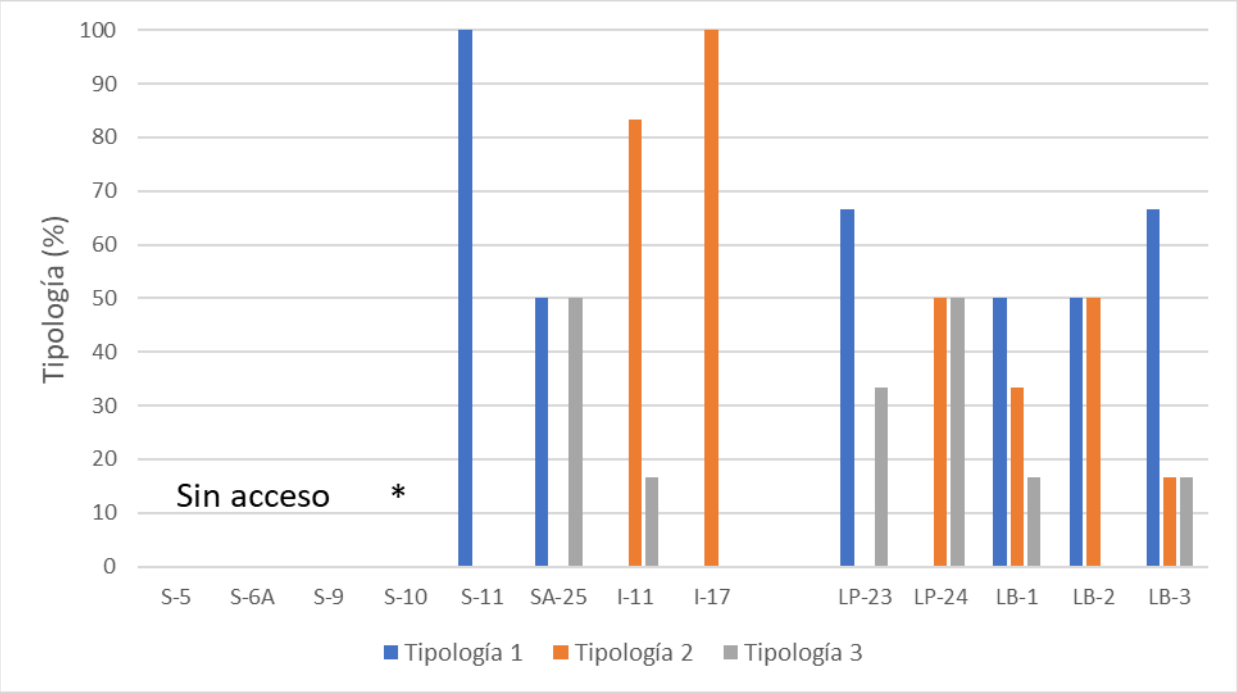


Fuente: Elaboración propia

A su vez, en cada estación de monitoreo, se determinó el porcentaje de la tipología de tapetes presentes del total de muestras tomadas (**Figura N° 8-6**). Se destaca la presencia de tapetes de Tipología 1 en el Sector Peine, principalmente en las estaciones S-11 con un 100%, seguido de SA-25 con 50% de representatividad. En el Sector La Punta-La Brava,

se distingue la presencia de tapetes de Tipología 1, en un 67% en las estaciones LP-23 y LB-3, seguido de 50% en LB-1 y LB-2. Respecto de la Tipología 2, se observó una alta representatividad en las estaciones I-11 e I-17, en el Sector Peine, con 100% y en el Sector La Punta-La Brava, en las estaciones LP-24 y LB-2 con 50%. Por último, la Tipología 3, en el Sector Peine, mostró un 50% en SA-25; en tanto, en el Sector La Punta-La Brava en LP-24, esta tipología exhibió un 50% seguido de un 33% en LP-23.

Figura N° 8-6. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo en los sectores Peine, La Punta-La Brava. Invierno 2024.



(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.
De un total de 16 estaciones se monitorearon solo 13 (S-5, S-6A y S-9, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine).
Fuente: Elaboración propia

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

- Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados, estratificados y pigmentados, característicos de Laguna La Punta (S-11).
- Tapetes convexos, de consistencia mucilaginosa, los cuales se detectaron principalmente en Laguna La Brava (LB-1 y LB-2).
- Tapetes planos, de consistencia blanda, detectados especialmente en Laguna La Brava (LB-2).

Los tapetes microbianos en la campaña de invierno 2024, presentaron tres tipologías, predominando la Tipología 2. Las morfologías macroscópicas, presentaron, principalmente, morfologías planas o convexas, de estructura coriácea y algunos con consistencia mucilaginosa. El rango de espesor varió entre 2 y 16 mm, mientras que, el rango en el número de capas detectadas varió entre 1 y 6 (**Tabla N° 8-3**).

Tabla N° 8-3. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos. Campaña Invierno 2024.

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

De un total de 16 estaciones se monitorearon solo 13 (S-5, S-6A y S-9, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine).
Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3 Tapetes microbianos por Sector y Estación de Monitoreo

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

8.2.1.3.1 Sector La Punta-La Brava

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

En relación con el número de capas promedio por estación de monitoreo (considerando tanto tapetes superficiales planos como sumergidos coriáceos), la Laguna La Punta presentó los tapetes con mayor estratificación en promedio, en LP-23 con 3,3 capas, por otro lado, la menor estratificación se observó en LP-24, con 2,8 capas. En Laguna La Brava, la mayor cantidad de estratificaciones, se observó en LB-2, con 4,7 capas promedio y la menor cantidad promedio fue de 3,3 detectada en LB-1 (**Figura N° 8-3**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes (considerando tanto superficiales planos como sumergidos coriáceos), según el sector evaluado, se observó que en la Laguna La Punta hubo una variación que fue de un máximo de 4,0 mm en LP-23 y un mínimo de 3,5 en LP-24. Por otro lado, en la Laguna La Brava variaron entre un máximo de 5,3 mm en la estación LB-3 y un mínimo promedio de 4,5 mm en la estación LB-1 (**Figura N° 8-4**).

En general, en la Laguna La Punta y en la estación LB-1 de la Laguna La Brava se observó as una continuidad espacial de los tapetes con morfología plana. En tanto, en las estaciones LB-2 y LB-3, se observó una continuidad espacial y morfología plana y convexa.

En relación con la tipología, se observó que la Tipología 1 fue la más frecuente (44,4 %) en el sector, siendo las tonalidades predominantes en sus respectivas macro-zonas el verde (~44,0%) en la macro-zona subsuperficial, rosado (~58%) en la macro-zona intermedia y marrón (~100%) en la macro-zona profunda (**Tabla N° 8-13**).

Cabe señalar que los tapetes mejor estructurados en cuanto a una laminación macroscópica definida visualmente se detectaron principalmente en la Laguna La Brava (LB-1), en tanto, los menos estructurados se visualizaron en la Laguna La Punta, específicamente en la estación LP-24. La Laguna La Brava presentó tapetes convexos de textura superficial coriácea y tapetes planos de textura superficial gelatinosa (LB-1), de consistencia blanda y granular (LB-2).

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

8.2.1.3.1.1 Laguna La Punta: Estación de monitoreo LP-23

La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2313 msnm, se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa, con flujos de agua superficiales y subsuperficiales, y con aguas ligeramente turbias. Las muestras provienen de una planicie expuesta ubicada en el borde de la laguna, la que exhibe una superficie rugosa y levemente húmeda; sin presencia de huellas humanas, con evidencia de pisoteo de aves y vegetación ribereña. Además, presenta flujos de agua superficiales y subsuperficiales (**Fotografía N° 8-2 a**).

Las áreas de coloración fueron predominantemente blanca-rosada, con presencia de costra salina (~1,5 mm). En relación con la estación de monitoreo destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes (**Fotografía N° 8-2 c**; **Tabla N° 8-4**). Respecto del sedimento bajo la columna de agua (13,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-2 d**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-2 e**; **Tabla N° 8-25**).

Fotografía N° 8-2. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento; e. Presencia de microbialitos. Laguna La Punta, invierno 2024.

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, dos de las muestras presentan las tres macro-zonas (Tipología 1), configurándose en Subsuperficial, Intermedia y Profunda, mientras que la muestra restante presentó una macro-zona (Subsuperficial), correspondiendo a Tipología 3. En la zona Subsuperficial, predominaron igualmente las tonalidades verde y naranjo. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó solo la tonalidad rosada. En la zona Profunda, se observó, únicamente, la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 3 y 5 mm, con un número de entre 2 y 4 capas (**Tabla N° 8-4**).

Tabla N° 8-4. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra rosada	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo	Naranjo	Naranjo
		Verde	Verde	Verde

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
	Intermedio	Rosado	Rosado	S/C
	Profunda	Marrón	Marrón	S/C
Total de laminaciones		4	4	2
Espesor (mm)		5	4	3
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

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

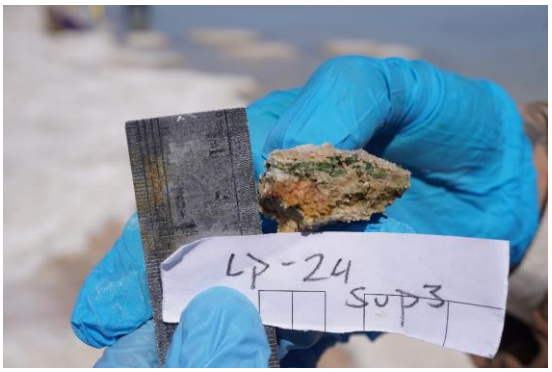
La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2308 msnm, sin flujo y con aguas muy turbias. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas y helófitas en ribera, y sin registro de huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. (**Fotografía N° 8-3 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, cercana al borde de la laguna, con costra salina (~2 mm) y coloración blanca (**Fotografía N° 8-3 b** y **c**; **Tabla N° 8-5**), y (ii) una superficie coriácea, semisumergida, aledaña al borde de la laguna, de sustrato duro y con tonalidades amarilla y verde oscuro, la cual, en esta campaña, se encontraba humedecida (**Fotografía N° 8-3 d** y **e**; **Tabla N° 8-6**). Ambos sitios sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (10 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-3 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de evaporita (**Fotografía N° 8-3 g**; **Tabla N° 8-25**).

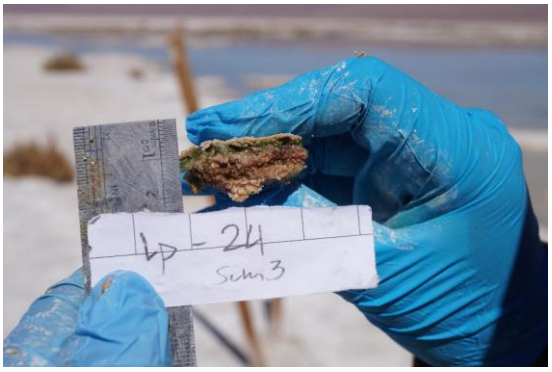
Fotografía N° 8-3. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de evaporitas. Laguna La Punta, invierno 2024.

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

f. 

g. 

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos, presentaron sólo Tipología 3 (macro-zona Subsuperficial). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron, por igual, naranjo y verde, y en menor medida, amarillo. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 2 y 4 mm, con un número entre 2 y 3 capas (**Tabla N° 8-5**).

Tabla N° 8-5. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).

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

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, todos los tapetes embebidos coriáceos, presentaron dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), correspondiente a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, predominó la tonalidad verde, y en menor medida, naranja. En la zona Intermedia se observó sólo predominantemente la tonalidad púrpura seguido de rosado. En cuanto al

espesor de los tapetes, fluctuaron entre 3 y 4 mm, con 2 a 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0,5 y 1,5 cm (**Tabla N° 8-6**).

Tabla N° 8-6. Caracterización de las capas de tapetes microbianos embebidos coriáceos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra naranja	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura	Púrpura
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		4	3	2
Espesor (mm)		4	3	4
Profundidad (cm)		0,5	0,7	1,5

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.1.3 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-1

La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2312 msnm, con la presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, bajo flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-4 a**).

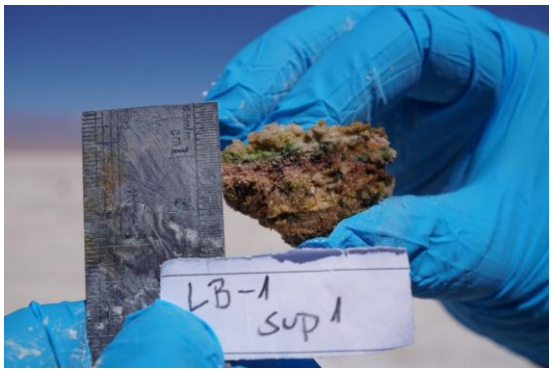
El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~2 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración principalmente blanca, beige y naranja, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-4 b** y **c**; **Tabla N° 8-7**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras de constitución mucilaginosa de una fuerte coloración naranja, de textura coriácea y morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-4 d** y **e**; **Tabla N° 8-8**). En esta estación se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (24 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-4 f**). Cabe destacar que, el

examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-4 g**; **Tabla N° 8-25**).

Fotografía N° 8-4. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna La Brava, invierno 2024.

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

f. 

g. 

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, dos muestras presentaron tres macro-zonas (Tipología 1), configurándose en Subsuperficial, Intermedia y Profunda, mientras que una muestra, exhibió dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), perteneciendo a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue completamente verde. Por otra parte, en la zona Intermedia, predominaron, equitativamente, la tonalidad púrpura y rosado. Por otro lado, en la zona Profunda, se observó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 3 y 6 mm, con un número de entre 3 y 4 capas (**Tabla N° 8-7**).

Tabla N° 8-7. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra rosada	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura
	Profunda	S/C	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		3	4	4
Espesor (mm)		4	3	6
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en los tapetes sumergidos coriáceos, de estructura mucilaginosa, se observó en una muestra, las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), en otra muestra dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia) y en la tercera, una macro-zona (Subsuperficial), configurándose en Tipología 1, 2 y 3, respectivamente. En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde y en menor medida, naranjo. En la zona Intermedia, predominaron, por igual, las tonalidades púrpura y rosada y finalmente, en la zona Profunda, se observó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 2 y 7 mm, con un número de entre 1 y 3 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1,0 cm y 1,7 cm (**Tabla N° 8-8**).

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

Tapetes Sumergidos Desecados				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra rosada	Mucilaginoso
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Naranjo Verde	Verde
	Intermedio	S/C	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura
	Profunda	S/C	Marrón	S/C
Total de laminaciones		1	5	3
Espesor (mm)		2	7	5
Profundidad (cm)		1	2	1,7

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.1.4 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-2

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2308 msnm, con presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó una especie emergente correspondiente a una helófita (**Fotografía N° 8-5 a**).

La estación de monitoreo presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~3 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración blanco-beige, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-5 b** y **c**; **Tabla N° 8-9**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con

estructuras mucilaginosas, de coloración naranja y otras estructuras coriáceas recubiertas de costra salina (~3 mm) con morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-5 d** y **e**; **Tabla N° 8-10**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (7,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos aunque sí de biofilm verde y rosado (**Fotografía N° 8-5 f**).

Fotografía N° 8-5. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, invierno 2024.

a.



b.



c.



d.



e. 

f. 

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron en dos muestras, las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondientes a Tipología 1; mientras que en una muestra se observó dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), correspondiendo a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde, naranjo y amarillo, en igual proporción. En la zona Intermedia predominó la tonalidad rosada, seguido de púrpura, mientras que la zona Profunda exhibió sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, presentaron entre 6 y 7 mm, con un número de entre 4 y 6 capas (**Tabla N° 8-9**).

Tabla N° 8-9. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo	Naranjo	Naranjo
		Verde	Verde	Verde
		Amarillo	Amarillo	Amarillo
	Intermedio	Rosado	Rosado	Rosado
		Púrpura	Púrpura	
	Profunda	Marrón	Marrón	S/C
Total de laminaciones		6	6	4
Espesor (mm)		6	6	7
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos coriáceos presentaron en una muestra, las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1; mientras que en dos muestras se observó dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), correspondiendo a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde, seguido de naranjo y en menor medida, amarillo y rosado. En la zona Intermedia predominó la tonalidad rosada, seguido de púrpura. Finalmente, en la zona Profunda, se observó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 8 mm, todas con 4 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras fue de entre 1,0 y 1,9 cm (**Tabla N° 8-10**).

Tabla N° 8-10. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Mucilaginoso
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo Verde	Naranjo Verde	Verde Rosado Amarillo
	Intermedio	Rosado Púrpura	Rosado	Rosado
	Profunda	S/C	Marrón	S/C
Total de laminaciones		4	4	4
Espesor (mm)		4	4	8
Profundidad (cm)		1,1	1,9	1

Fuente: Elaboración propia

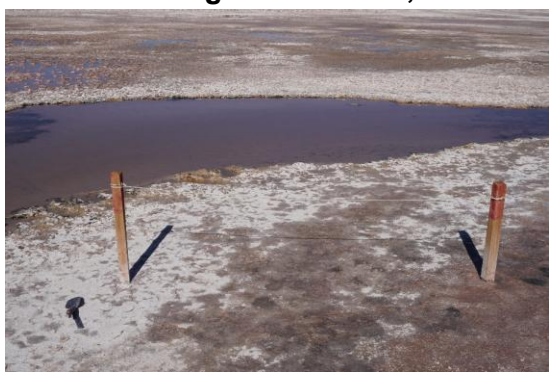
8.2.1.3.1.5 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-3

La estación LB-3 se encuentra ubicada en la desembocadura de un afluente a la laguna La Brava, correspondiendo a una estación de muestreo adicional a las comprometidas en el PMB. La estación se ubica a una altura geográfica de 2303 msnm, muy bajo flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó escasa vegetación acuática hidrófita (**Fotografía N° 8-6 a**).

La estación de monitoreo, se localiza en un afluente de la laguna, exhibiendo escasa vegetación acuática, y presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~1,5 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración blanco-grisáceo, además se evidencia la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-6 b** y **c**; **Tabla N° 8-11**), y (ii) una superficie sumergida pero ubicada en el borde de la laguna, con escasas estructuras mucilaginosas de coloración naranja y una mayor predominancia de estructuras coriáceas de coloración verde oscuro, con morfología convexa sólida en su mayoría, de consistencia blanda y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-6 d** y **e**; **Tabla N° 8-12**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana y convexa de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (4 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-6 f**).

Fotografía N° 8-6. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimentos. Laguna La Brava, invierno 2024.

a.



b.



c.





d.

e. 

f. 

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron en dos muestras, las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondientes a Tipología 1; mientras que en una muestra se observó dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), correspondiendo a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranjo, seguido de rosado y amarillo. En la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada y púrpura. En la zona Profunda predominó la tonalidad marón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 5 mm, con un número entre 2 y 6 capas (**Tabla N° 8-11**).

Tabla N° 8-11. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca/mucilaginoso
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo	Rosado	Naranjo
		Verde	Naranjo	Verde
		Amarillo	Verde	
	Intermedio	Rosado	Rosado	S/C
		Púrpura	Púrpura	
	Profunda	Marrón	Marrón	S/C
Total de laminaciones		6	6	2
Espesor (mm)		5	5	4
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes sumergidos coriáceos, dos muestras presentaron las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondientes a Tipología 1; mientras que en una muestra se observó dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), correspondiendo a Tipología 2. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde, seguido naranjo y verde oscuro. Por otro lado, la zona Intermedia evidenció mayormente la tonalidad púrpura, seguido de rosado. En la zona Profunda, predominó la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 5 y 7 mm, con un número entre 3 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras fue entre 2 y 2,5 cm (tapetes embebidos en agua) (**Tabla N° 8-12**).

Tabla N° 8-12. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra rosada	Mucilaginoso	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Naranjo Verde	Verde oscuro
	Intermedio	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura	Púrpura
	Profunda	S/C	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	5	3
Espesor (mm)		5	6	7
Profundidad (cm)		2	2	2,5

Fuente: Elaboración propia

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

En el Sector La Punta-La Brava, en invierno 2024, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en la Laguna La Punta (LP-23) y La Brava (LB-1, LB-2 y LB-3). Siendo frecuente, en la macro-zona subsuperficial, las capas verde, seguido de naranjo y en menor medida, amarillo, las que representarían a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos que probablemente podrían corresponder a cianobacterias y microalgas (*i.e.* diatomeas) y bacterias productoras de compuestos carotenoides (Rodriguez-Aranda y Sanz Montero 2015). Por otro lado, en la macro-zona intermedia, las tonalidades fueron principalmente rosado, seguido de púrpura, las cuales podrían estar relacionadas a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que probablemente podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitoautótrofos y otros heterótrofos. En la macro-

zona Profunda predominaron las capas marrón, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, incluyendo a algunos metanogénicos (**Tabla N° 8-13**).

Tabla N° 8-13. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña invierno 2024.

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

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

En laguna La Punta se observaron tapetes de Tipología 2, con macro-zona subsuperficial e intermedia (LP-24). En la macro-zona subsuperficial, predominaron capas verde, seguido de naranjo, mientras que, en la macro-zona intermedia, predominaron las capas púrpura y luego rosadas. En Laguna La Brava, se observaron tapetes de Tipología 2, con macro-zona subsuperficial e intermedia (LB-1, LB-2 y LB-3). En la macro-zona subsuperficial, predominaron las capas verde y en menor medida, naranjo, mientras que en la macro-zona intermedia las capas más frecuentes fueron rosado y púrpura (**Tabla N° 8-14**).

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

Tabla N° 8-14. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector La Punta-La Brava. Campaña invierno 2024.

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

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

La Tipología 3 fue detectada en Laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y La Brava (LB-1 y LB-3), mostrando sólo la macro-zona subsuperficial, en la cual predominaron las capas verde y naranja, y en menor medida, amarillo. Estas capas, según lo mencionado anteriormente, podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas) (**Tabla N° 8-15**).

Tabla N° 8-15. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava. Campaña invierno 2024.

Estación/Muestra			LP-23 P	LP-24 P			LB-1 C	LB-3 P
			3	1	2	3	3	3
Macrozona	Subsuperficial	Verde						
		Naranjo						
		Amarillo						
		Rosado						

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

8.2.1.3.2 Sector vegas de Tilopozo

En la actual campaña invierno 2024, no se detectó la presencia de tapetes microbianos en las estaciones de muestreo TB-1, TB-2 y TB-3 del sector vegas de Tilopozo. Cabe destacar, que sólo en invierno 2016, se hallaron tapetes microbianos de Tipología 3.

8.2.1.3.3 Sector Peine

En este sector se observó el desarrollo de tapetes microbianos en las estaciones de monitoreo de laguna Saladita en las estaciones S-11 y SA-25 y en laguna Interna en I-11 e I-17. En tanto, en la estación I-11 se detectó la presencia microbialitos. Cabe destacar que en la presente campaña, en el sector de Peine no fue posible acceder a realizar labores de monitoreo a las estaciones de laguna Salada (S-9 y S-5), debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**.

En relación con el número de capas promedio (considerando tanto tapetes superficiales planos como sumergidos coriáceos) por estación de monitoreo, la Laguna Saladita presentó los tapetes con mayor estratificación en promedio, en S-11 con 4,3 capas, por otro lado, la menor estratificación se observó en SA-25, con 3,5 capas. En Laguna La Interna, la mayor cantidad de estratificaciones, se observó en I-17, con 3,7 capas promedio y la menor cantidad promedio fue de 3,2 detectada en I-11 (**Figura N° 8-3**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes (considerando tanto superficiales planos como sumergidos coriáceos), según el sector evaluado, se observó que la Laguna Interna (I-17) presentó los valores máximos con 13,7 mm. En Laguna Saladita hubo una variación que fue de un máximo de 5,0 mm en S-11 y un mínimo de 4,3 en SA-25. Por otro lado, en la Laguna Interna variaron entre un máximo de 11,7 mm en la estación I-17 y un mínimo promedio de 4,5 mm en la estación I-11 (**Figura N° 8-4**).

En general, en el Sector Peine, se observó entre las estaciones y lagunas, continuidad espacial de los tapetes con morfología plana. Excepto por las estaciones SA-25 (Laguna Saladita) e I-11 (Laguna Interna), las que presentaron tapetes con una morfología plana y esferoidal (tapetes coriáceos). En relación a la tipología, se observó que la Tipología 2 fue la más frecuente (50%) en el sector, siendo en esta tipología la tonalidad verde (~50,0%) en la macro-zona subsuperficial, rosado (~53,8%) en la macro-zona intermedia las que más predominaron (**Tabla N° 8-23**). Los tapetes mejor estructurados en cuanto a las capas macroscópicas definidas visualmente se detectaron principalmente en la Laguna Salada, en tanto, los menos estructurados se visualizaron en la Laguna Interna.

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

Las comunidades de tapetes microbianos correspondientes a la laguna Salada (S-6A y S-9) no pudieron ser monitoreados, debido a restricciones de acceso por parte de la comunidad de Peine, para evitar perturbar a las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones).**

8.2.1.3.3.1 Laguna Saladita: Estación de monitoreo S-10

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

8.2.1.3.3.2 Laguna Saladita: Estación de monitoreo S-11

La estación S-11 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2313 msnm, la estación de monitoreo presenta una costra salina que bordea la laguna, se observa además vegetación acuática en el centro de la laguna, presencia de aves, con un flujo nulo y de aguas ligeramente turbias (**Fotografía N° 8-7 a**).

Las muestras provienen de una planicie expuesta ubicada en el interior de la laguna, la que exhibe una superficie irregular, húmeda; sin presencia de huellas humanas, y áreas de coloración predominantemente gris, verdoso y rosado, con presencia de costra salina (~1,0 mm). Todos los tapetes muestreados presentaron las tres macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) correspondiente a Tipología 1. Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo (**Fotografía N° 8-7 b y c**, **Tabla N° 8-16**). Por último, en los sedimentos bajo la columna de agua (3,5 cm de profundidad) no se observó presencia de tapetes (**Fotografía N° 8-7 d**). Cabe señalar que, las estaciones S-10 y S-11 son similares, ambas estaciones de monitoreo se encuentran ubicadas una de otra a 50 m de distancia, en las mismas condiciones de hábitat.

Fotografía N° 8-7. a. Estación de monitoreo S-11; b. Tapete microbiano; c. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2024.

a. 

b. 

c. 

d. 

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la pigmentación, en la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante observada fue verde seguido de naranjo, por otro lado, en la zona Intermedia las tonalidades predominantes correspondieron púrpura, seguido de rosado. En tanto, en la zona Profunda, se observaron sólo capas de pigmentación marrón (**Tabla N° 8-16**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 6 mm, con un número de capas entre 3 - 5.

Tabla N° 8-16. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo S-11. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Humedecidos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra salina	Costra salina	Costra salina
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Naranjo Verde	Naranjo Verde
	Intermedio	Púrpura	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		3	5	5
Espesor (mm)		5	6	4
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.3.3 Laguna Saladita: Estación de monitoreo SA-25

La estación SA-25 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2310 msnm. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida, sin vegetación ribereña, sin flujo y con aguas ligeramente turbias (**Fotografía N° 8-8 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, próxima al borde de la laguna, con costra salina (~1,0 mm) y tonalidades rosado y blanco (**Fotografía N° 8-8 b y c**; **Tabla N° 8-17**), y (ii) una superficie coriácea, cubierta parcialmente con costra, en el borde de la laguna, con formaciones esferoidales (tapetes microbianos asociados a una base vegetal), con tonalidades verde oscuro (**Fotografía N° 8-8 d y e**; **Tabla N° 8-18**); ambas sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana y esferoidal, de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (18,5 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes (**Fotografía N° 8-8 f**).

Fotografía N° 8-8. a. Estación de monitoreo SA-25; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento. Laguna Saladita, invierno 2024.

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

f. 

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes superficiales planos, las tres muestras presentaron solo una macro-zona (Subsuperficial) correspondiente a Tipología 3. Respecto a la pigmentación, las tonalidades predominantes en la zona Subsuperficial fueron rosado, naranjo y verde y amarillo. En cuanto al espesor, todos los tapetes mostraron 4 mm, mientras que todos mostraron solo 3 capas (**Tabla N° 8-17**).

Tabla N° 8-17. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra naranja	Costra salina	Costra salina
Macro-Zona	Subsuperficial	Rosado	Rosado	Rosado
		Naranjo	Naranjo	Naranjo
		Verde	Verde	Verde

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
	Intermedia	S/C	S/C	S/C
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		3	3	3
Espesor (mm)		4	4	4
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes coriáceos (esferoidales y asociados a base vegetal), en dos muestras se detectaron tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) correspondientes a Tipología 1 y en una sólo dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), con Tipología 2. En la zona Subsuperficial, se observó la tonalidad verde oscuro, verde, y en menor medida naranjo y rosado. En la zona Intermedia predominó el color rosado y luego púrpura. Finalmente, en la zona Profunda, predominó sólo la tonalidad marrón (**Tabla N° 8-18**). En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 6 mm, con un número de capas de 4 en todas las muestras. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0 (humedecido) y 1 cm.

Tabla N° 8-18. Caracterización de las capas de tapetes microbianos asociados a base vegetal en la estación de monitoreo SA-25. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Sin costra	Costra salina	Sin costra
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde oscuro	Naranjo Rosado Verde	Verde oscuro Verde
	Intermedia	Rosado Púrpura	Rosado	Rosado
	Profunda	Marrón	S/C	Marrón
Total de laminaciones		4	4	4
Espesor (mm)		4	6	4
Profundidad (cm)		1	0	0

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.3.4 Laguna Interna: Estación de monitoreo I-11

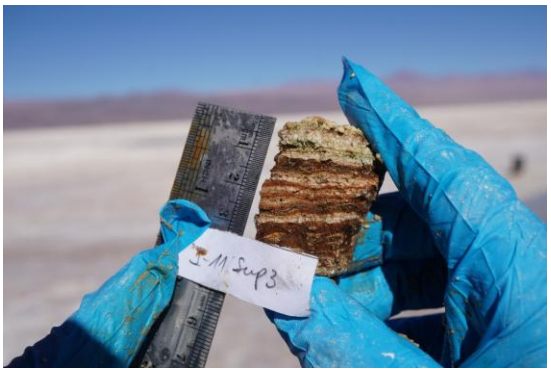
La estación I-11 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2307 msnm, presenta bajo flujo y aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas, ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-9 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, cercana al borde de la laguna, con costra salina (~3,0 mm) y coloración blanco, rosado y amarillento, que en esta ocasión se encontraba sumergida (3 - 4 cm) (**Fotografía N° 8-9 b** y **c**; **Tabla N° 8-19**), y (ii) una superficie coriácea, ligeramente humedecida, ubicada en el borde de la laguna y con formaciones levemente esferoidales, con tonalidades naranjas (**Fotografía N° 8-9 d** y **e**; **Tabla N° 8-20**). Ambos sitios sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana y esferoidal, de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (13,4 cm de profundidad), en este no se detectó presencia de tapetes microbianos, aunque sí de biofilm verde (**Fotografía N° 8-9 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de microbialitos **Fotografía N° 8-9 g**, **Tabla N° 8-25**).

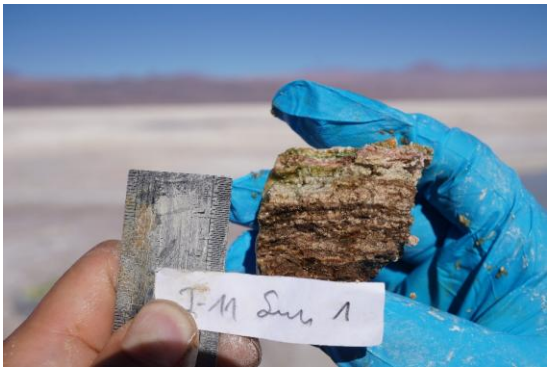
Fotografía N° 8-9. a. Estación de monitoreo I-11; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete superficial coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna Interna, invierno 2024.

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

f. 

g 

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos, presentaron en todas las muestras dos macro-zonas, Subsuperficial e Intermedia (Tipología 2). En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde, seguido de naranjo. En la zona Intermedia predominó la tonalidad

púrpura y en menor medida el rosado. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 2 y 4 mm, con un número de entre 2 y 4 capas (**Tabla N° 8-19**).

Tabla N° 8-19. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Naranjo Verde	Naranjo Verde
	Intermedia	Púrpura	Púrpura	Púrpura Rosado
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		2	3	4
Espesor (mm)		2	3	4
Profundidad (cm)		3,5	3,5	4,5

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes superficiales coriáceos, dos de las muestras presentaron dos macro-zonas (Subsuperficial e Intermedia), mientras que el tercer tapete presentó una macro-zona (Subsuperficial) correspondiente a Tipología 3. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron, por igual, naranjo y verde. En la zona Intermedia predominaron tanto las tonalidades púrpura y rosada. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 7 mm, con un número de capas entre 2 y 4. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 0,5 y 1,5 cm (**Tabla N° 8-20**).

Tabla N° 8-20. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales coriáceos, en la estación de monitoreo I-11. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo Verde	Naranjo Verde	Naranjo Verde
	Intermedia	Púrpura Rosado	Púrpura Rosado	S/C
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		4	4	2

Tapetes Sumergidos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	1	2	3
Espesor (mm)	4	7	7
Profundidad (cm)	0,5	1,5	0

Fuente: Elaboración propia

8.2.1.3.3.5 Laguna Interna: Estación de monitoreo I-17

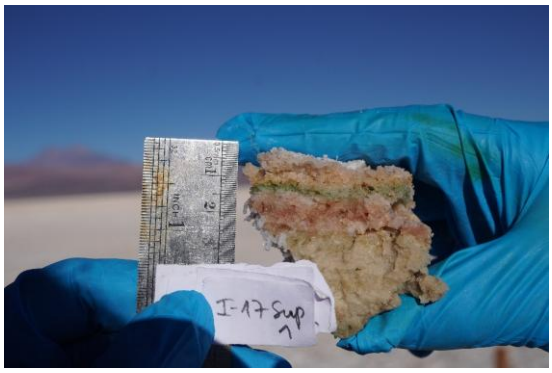
La estación I-17 se encuentra ubicada en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2303 msnm, sin flujo y con aguas transparentes, no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-10 a**).

La estación de monitoreo se caracterizó por presentar una planicie expuesta cercana al borde de la laguna, rugosa e irregular, con áreas de coloración predominantemente blanca-beige, con costra salina (~4,0 mm), y sin huellas humanas (**Fotografía N° 8-10 b** y **c**). Respecto del sedimento bajo la columna de agua (10,4 cm de profundidad), en este no se detectó presencia de tapetes microbianos aunque sí de biofilm verde y rosado (**Fotografía N° 8-10 d**).

Fotografía N° 8-10. a. Estación de monitoreo I-17; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano y d, Muestra sedimento. Laguna Interna, invierno 2024.

a. 

b. 

c. 

d. 

Fuente: Elaboración propia

Todos los tapetes observados, presentaron dos macro-zonas de pigmentación (Subsuperficial e Intermedia), de Tipología 2. Destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. En la zona Subsuperficial, predominaron, equitativamente, las tonalidades naranjo y verde. En la zona Intermedia, predominó la tonalidad rosada y en menor medida, púrpura. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 10 y 16 mm, con un número entre 3 y 5 capas (**Tabla N° 8-21**).

Tabla N° 8-21. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo I-17. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		1	2	3
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo Verde	Naranjo Verde	Naranjo Verde
	Intermedia	Rosado Púrpura	Rosado	Rosado
	Profunda	S/C	S/C	S/C
Total de laminaciones		5	3	3
Espesor (mm)		16	10	15
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

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

En el Sector Peine, en invierno 2024, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados sólo en la Laguna Saladita (S-11 y SA-25). Presentando, de manera frecuente, en la macro-zona subsuperficial una capa verde o verde oscuro, que representarían a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos que podrían corresponder a cianobacterias filamentosas y microalgas (*i.e.* clorofíceas). En tanto en la macro-zona intermedia las tonalidades fueron púrpura y rosado, cuyas capas representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos los cuales podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitoautótrofos y heterótrofos. En la macro-zona profunda predominaron las capas de coloración marrón, que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, inclusive metanogénicos (**Tabla N° 8-22**).

Tabla N° 8-22. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector Peine. Invierno 2024.

		Estación/Muestra	S-11 P			SA-25 C	
			1	2	3	1	3
Macrozona	Subsuperficial	Verde					
		Naranjo					
		Amarillo					
		Rosado					
		Verde oscuro					
	Intermedia	Rosado					
		Púrpura					
	Profunda	Marrón					
		Verde claro					

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

También se observaron tapetes con Tipología 2 en las Lagunas Saladita e Interna del Sector Peine (**Tabla N° 8-23**). En Laguna Saladita (SA-25), los tapetes presentaron frecuentemente la macro-zona subsuperficial de capas verde y en menor prevalencia amarillo y rosado, y en la macro-zona intermedia, capas de pigmentación rosada y púrpura. Respecto a Laguna Interna, las estaciones I-11 e I-17, se caracterizaron por exhibir una macro-zona subsuperficial con capas de tonalidad verde y naranjo, y en la macro-zona intermedia presentó capas de tonalidad rosada y/o púrpura.

Cabe destacar que, en la Tipología 2, las capas verdes observadas, representarían microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas, entre otras). En tanto en la macro-zona intermedia las tonalidades fueron rosado y púrpura, cuyas capas representarían a microorganismos autótrofos fotosintéticos

anoxigénicos que podrían corresponder bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitoautótrofos y heterótrofos.

Tabla N° 8-23. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 2, Sector Peine. Invierno 2024.

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

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

Además, se observó la presencia de tapetes de Tipología 3, especialmente en la Laguna Saladita (SA-25) y en la Laguna Interna (I-11). En ambas estaciones, sólo se observó la macro-zona Subsuperficial con tonalidades mayoritariamente verde, naranjo, y en menor medida rosado (**Tabla N° 8-24**).

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

Tabla N° 8-24. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector Peine. Invierno 2024.

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

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

8.2.1.4 Registro de microbialitos y evaporitas

De acuerdo con el examen visual realizado en terreno, se sugiere la presencia de microbialitos en tres estaciones de monitoreo (I-11, LB-1 y LP-23) y la presencia de evaporitas en sólo una estación de monitoreo (LP-24) (**Tabla N° 8-25**).

Tabla N° 8-25. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña invierno 2024.

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

+: Presencia; -: Ausencia

8.2.1.5 Parámetros físicos y químicos

Respecto de las variables físicas y químicas en matriz agua y sedimentos se realizó un análisis en la relación que podrían presentar con la presencia de tapetes microbianos. En la actual campaña se revisará esta posible relación en el sector La Punta-La Brava y Peine. En el sector vegas de Tilopozo no se registraron tapetes microbianos, por lo que no se considera dentro del análisis de variables relevantes de calidad de agua y sedimentos. Por otra parte, la comunidad de tapetes microbianos en el Sector Peine, en la presente campaña como se mencionó anteriormente, fue monitoreada parcialmente ya que no se tuvo acceso a la laguna Salada (**Tabla N° 8-26**).

En relación con las variables de calidad de agua registradas en el sector La Punta-La Brava para la campaña de invierno 2024, destacan la Conductividad eléctrica y la Salinidad presentando en general mayores registros en las lagunas La Brava respecto de La Punta, siendo mayores en las estaciones LB-1 y LB-2. En la laguna La Brava, los valores que oscilaron entre 29.600 y 66.740 µS/cm detectadas en LB-3 (afluente de la laguna) y en LB-1. En La Punta, en tanto, la conductividad osciló entre 31.990 en LP-23 y 34.010 µS/cm en LP-24. En tanto para el sector Peine, las conductividades oscilaron entre 36.410 y 43.090 µS/cm en S-11 (laguna Saladita) y en I-17 (laguna Interna), registros que fueron más altos respecto de lo obtenido para la laguna La Punta y para estación LB-3 en La Brava (**Figura N° 8-7 a**). Cabe destacar que la presencia de agua-humedad en las estaciones de monitoreo y las concentraciones de conductividad-salinidad son de alta importancia para la presencia de tapetes microbianos.

La salinidad, en tanto, registró un mínimo de 18,37 g/Kg en la estación LB-3 y un máximo de 45,41 g/Kg en LB-1. En tanto, la laguna La Punta presentó registros intermedios. Respecto del sector Peine, registró un mínimo de 22,39 g/Kg en la estación S-10 (laguna Saladita) y un máximo de 27,82 g/Kg en I-17 (laguna Interna). Los registros observados también fueron más altos respecto de lo obtenido para la laguna La Punta y para estación LB-3 en La Brava, dado que la conductividad está altamente correlacionada con la salinidad (**Figura N° 8-7 b**).

Por otra parte, se observaron temperaturas en la columna de agua distintas en ambas lagunas La Brava y La Punta, observándose registros menores en La Punta. Los mayores registros fueron obtenidos en LB-2 y LB-3 con valores de 21,78 y 23,22 °C respectivamente (**Figura N° 8-8 a**). Por otra parte, las temperaturas registradas en el sector Peine oscilaron entre 7,17 °C y 28,11 °C registradas en las estaciones SA-25 (laguna Saladita) e I-11 (laguna Interna). Los registros fueron variables para las lagunas visitadas considerando que los horarios en que fueron tomadas las temperaturas fueron distintas.

El Oxígeno disuelto presentó similitudes entre La Punta y La Brava, presentando concentraciones entre 6,22 mg/L y 6,55 mg/L en La Punta y de 4,76 mg/L y 7,99 mg/L en La Brava. En tanto en el sector Peine, los registros oscilaron entre 2,05 mg/L en la estación S-11 (laguna Saladita) y 4,02 mg/L en I-17 (laguna Interna) (**Figura N° 8-8 b**). Cabe destacar que, en la presente campaña no se observaron mayores diferencias entre lagunas, sin embargo, acotar que cuando aumenta la conductividad-salinidad en la columna de agua, disminuye la solubilidad del oxígeno disuelto en ellas.

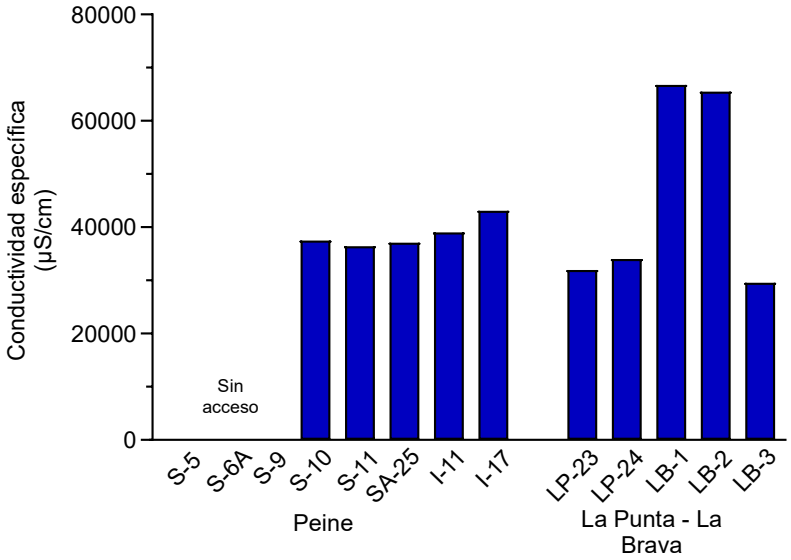
Respecto de la alcalinidad total ($CaCO_3$), en el sector La Punta-La Brava, las alcalinidades fueron similares entre estaciones de monitoreo, excepto por el menor registro en la estación LB-3 (La Brava) con 295 mg/L. Los mayores registros fueron detectados en las estaciones en las estaciones de la laguna La Brava (LB-1 y LB-2) con 408 y 409 mg/L. En Peine en tanto, se detectaron valores entre 191 y 216 mg/L los que fueron más bajos respecto de La Punta-La Brava (**Figura N° 8-9 a**).

En relación con el pH, se observaron valores homogéneos, con valores moderadamente alcalinos en todas las lagunas, en el sector La Punta-La Brava los que oscilaron entre 7,99 unidades en LB-3 y 8,13 unidades en las estaciones LB-2. Mientras que, en la laguna La Punta se observaron registros entre 8,37 en LP-23 y 8,41 en LP-24. En el sector Peine los registros también fueron similares entre ellas, 8,21 y 8,29 en las estaciones I-11 (laguna Interna) y SA-25 (laguna Saladita) (**Figura N° 8-9 b**).

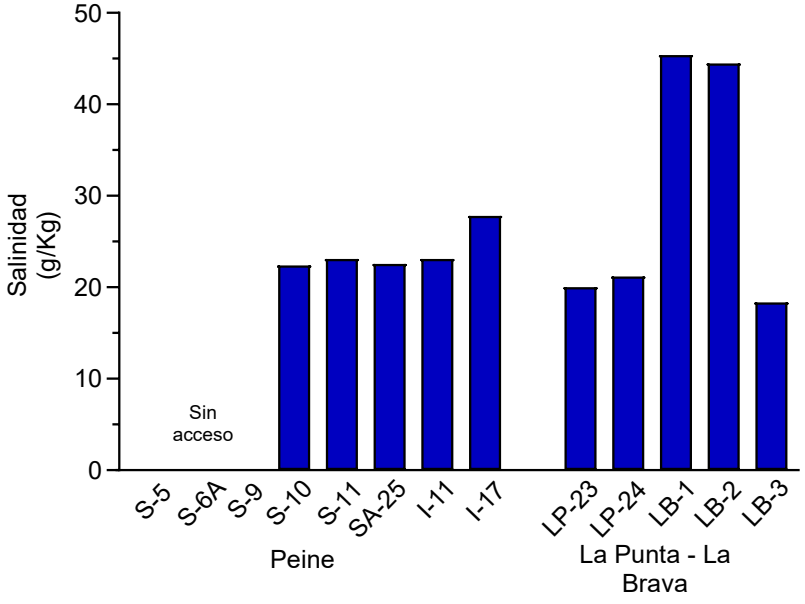
La turbiedad por su parte presentó, en general, mayores registros en las estaciones de La Brava con el máximo registro de 11,2 UNT en LB-1, en tanto, en La Punta se observaron registros entre 5,1 y 5,8 UNT en las estaciones LP-24 y LP-23 respectivamente. En Peine los registros fueron más altos que en el sector La Punta-La Brava, observándose rangos entre 9,7 y 37,5 UNT (**Figura N° 8-10**).

A modo referencial, para el Salar se consignan los valores de radiación solar, obtenidos en los horarios en los que se realizó el monitoreo de cada estación. Los valores fluctuaron entre 1,8627 MJ/m^2 en la estación LP-23 y 2,6468 MJ/m^2 en la estación LB-1, observándose valores diferentes entre estaciones de monitoreo, horarios y entre lagunas. En Peine, en tanto, 4E-06 MJ/m^2 en la estación S-10 y S-11 (ambas de laguna Saladita) y 2,6468 MJ/m^2 en la estación I-11 (laguna Interna) (**Tabla N° 8-26**).

Figura N° 8-7. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2024.



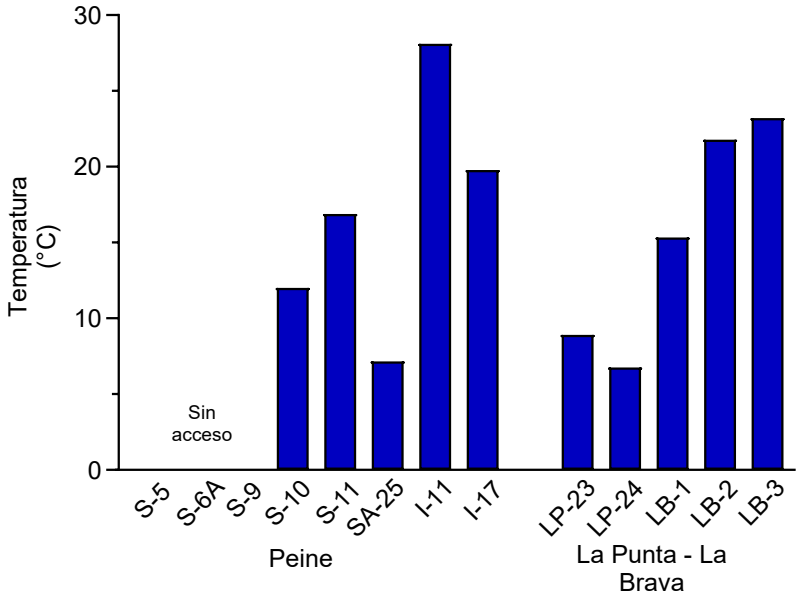
a.



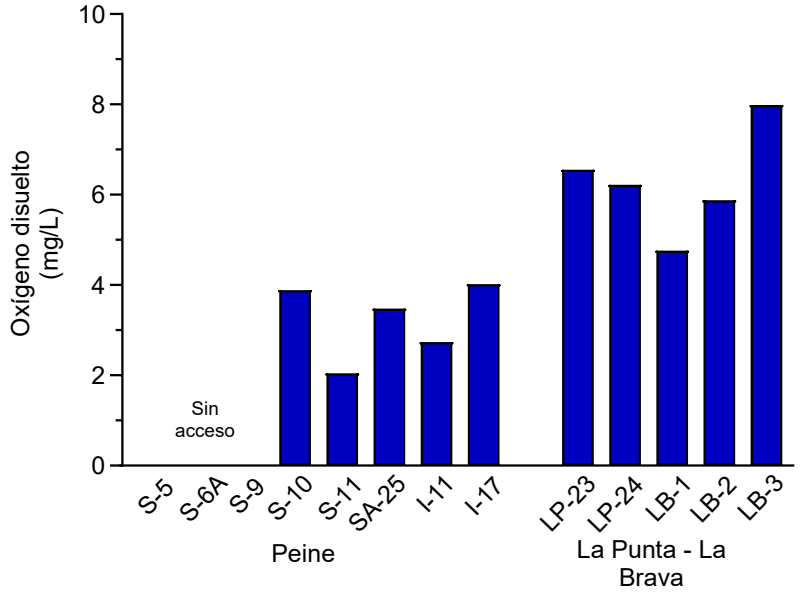
b.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 8-8. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2024.



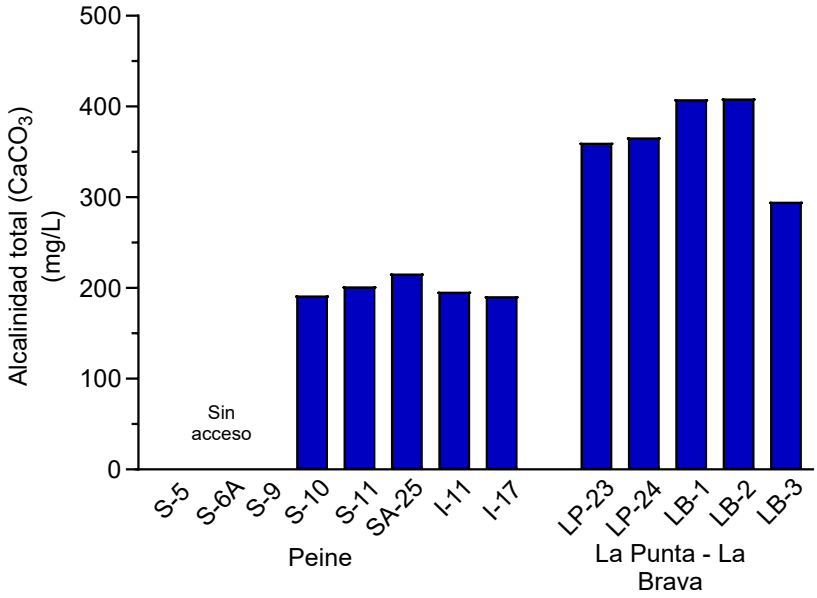
a.



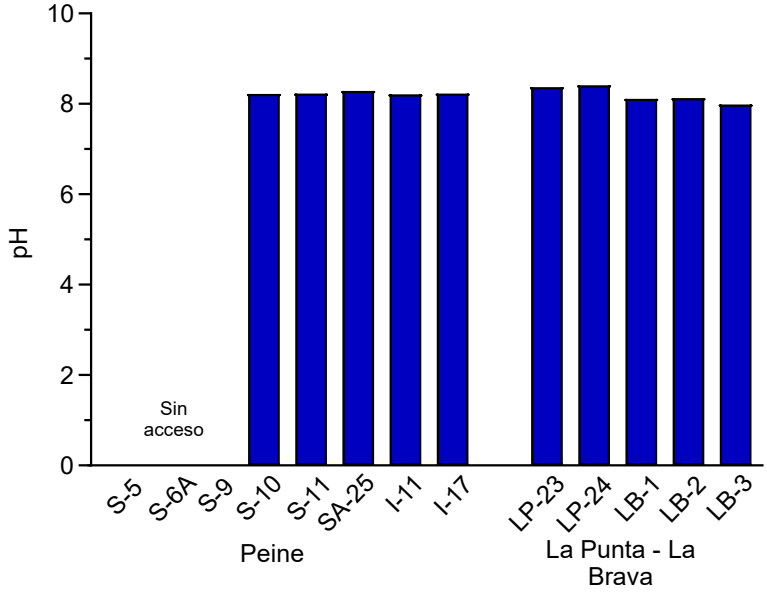
b.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 8-9. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2024.



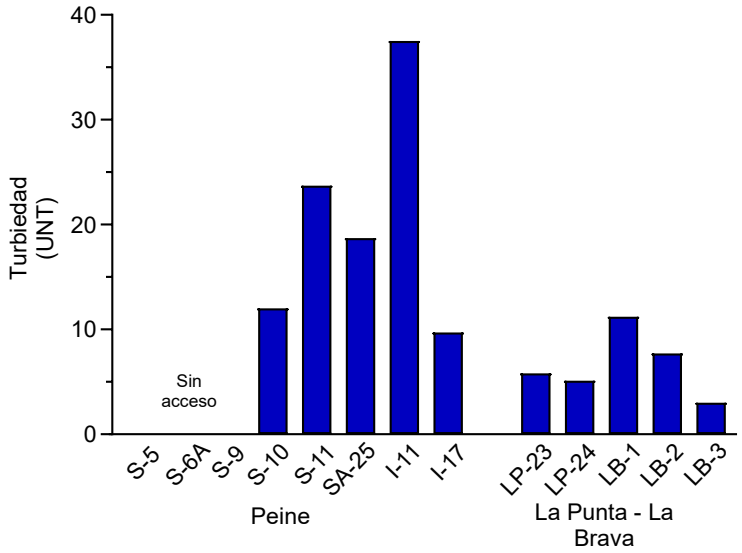
a.



b.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 8-10. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Invierno 2024.



Fuente: Elaboración propia

En relación con las variables de calidad de sedimentos registradas en el **sector La Punta-La Brava** para la campaña de invierno 2024, se destaca que para carbono orgánico total los registros fueron similares entre lagunas y estaciones. La Punta-La Brava, presentó registros que fluctuaron entre 72,51 g/Kg en LP-24 y 90,78 g/Kg en LB-3. En tanto, para fósforo total se observaron diferencias entre estaciones de monitoreo de ambas lagunas, en la laguna La Punta se registraron valores bajo el límite de detección (<500 mg/Kg) en LP-24 y en La Brava en la estación LB-3. Dentro de los registros cuantificables se detectaron valores entre 600 mg/Kg en LP-23 y LB-1 y 1000 mg/Kg en LB-2 (**Tabla N° 8-27**).

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó diferencias en los registros en las lagunas La Punta-La Brava, cuyos valores oscilaron entre 1,991 g/Kg en LB-1 (La Brava) y 5,881 g/Kg en la estación LB-3 (La Brava), la laguna La Punta presentó valores intermedios (**Tabla N° 8-27**).

Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, se observaron registros negativos correspondientes a ambientes anóxicos, los valores oscilaron entre -409 mV en la estación LB-2 y -381 mV registrado en la estación LP-23.

En cuanto al **sector de Peine**, para carbono orgánico total los registros fueron similares con un valor más alto en la estación S-11 de la laguna Saladita. Las lagunas Saladita e Interna presentaron registros que fluctuaron entre 73,38 g/Kg en SA-25 y 104,58 g/Kg en

S-11, la laguna Interna obtuvo valores intermedios. En tanto, para fósforo total se observaron valores similares entre estaciones de monitoreo de ambas lagunas, dentro de los registros cuantificables se detectaron valores entre 500 mg/Kg en SA-25 y 900 mg/Kg en S-11 (**Tabla N° 8-27**).

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó diferencias en los registros en las lagunas Saladita e Interna, cuyos valores oscilaron entre 2,340 g/Kg en I-17 (Interna) y 4,081 g/Kg en la estación SA-25 (Saladita) (**Tabla N° 8-27**).

Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, se observaron registros negativos correspondientes a ambientes anóxicos, los valores oscilaron entre -403 mV en la estación S-11 y -388 mV registrado en la estación S-10, la laguna Interne presentó registros intermedios (ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Aguas**).

Tabla N° 8-26. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava y Peine. Campaña Invierno 2024.

Parámetro	Unidad	LD*	Salada			Saladita			Interna		La Punta		La Brava		
			S-9	S-5	S6A	SA-25	S-10	S-11	I-11	I-17	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura	°C	-	Sin acceso			7,17	12	16,89	28,11	19,78	8,9	6,76	15,33	21,78	23,22
pH	Unidad de pH	-				8,29	8,22	8,23	8,21	8,23	8,37	8,41	8,11	8,13	7,99
Conductividad	µS/cm	-				37.080	37.480	36.420	39.060	43.090	31.990	34.010	66.740	65.500	29.600
Salinidad	g/kg	-				22,56	22,39	23,11	23,11	27,82	20,01	21,18	45,41	44,49	18,37
Oxígeno disuelto	mg/L	-				3,48	3,89	2,05	2,74	4,02	6,55	6,22	4,76	5,88	7,99
Turbiedad	UNT	-				18,7	12	23,7	37,5	9,7	5,8	5,1	11,2	7,7	3
Radiación solar**	MJ/m^2	-				2,0943	4E-06	4E-06	2,6423	1,4820	1,8627	2,3001	2,6468	2,4185	2,0301
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1				216	192	202	196	191	360	366	408	409	295

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8-27. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava y Peine. Campaña Invierno 2024.

Parámetro	Unidad	L.D.	Salada			Saladita			Interna		La Punta		La Brava		
			S-9	S-5	S6A	SA-25	S-10	S-11	I-11	I-17	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	Sin acceso			73,38	79,64	104,58	86,14	88,28	81,73	72,51	82,31	73,9	90,78
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500				500	800	900	700	800	600	<500	600	1000	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,00312				4,081	4,027	2,82652	3,771	2,34	4,093	2,788	1,991	3,512	5,881
Potencial Redox	mV	-				-400	-388	-403	-394	-402	-381	-405	-399	-409	-402

Fuente: Elaboración propia

8.2.2 Resultados Campaña Verano 2025

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo de verano 2024.

8.2.2.1 Aspectos Generales Tapetes Microbianos

En la campaña verano 2025, solo se analizaron *in situ* muestras de 8 de las 16 estaciones de monitoreo, distribuidas principalmente en el sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo. El sector de Peine, no fue posible muestrearlo debido a restricciones de acceso, para evitar perturbar el ciclo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones).**

De este modo, se detectó la presencia de tapetes microbianos en 5 de las 8 estaciones evaluadas (62,5%), no detectándose la presencia de tapetes en las estaciones pertenecientes al sector vegas de Tilopozo (TB-1, TB-2 y TB-3), como ha sido común en todas las campañas anteriores, a partir de verano 2017.

Entre las 5 estaciones de monitoreo con presencia de tapetes microbianos, en una de ellas (20%), presentó tapetes en planicies expuestas del borde lagunar, correspondientes a la estación LP-23 (laguna La Punta), y las 4 estaciones restantes (80%), presentaron tapetes localizados tanto en planicies expuestas del borde lagunar como también sumergidos bajo el agua (1 – 8 cm) o embebidos (~0,01 cm), las que correspondieron a las estaciones LP-24, LB-1, LB-2 y LB-3 (**Tabla N° 8-1** y **Tabla N° 8-28**). Esta condición, observada en verano 2025, fue similar a la observada en verano 2024.

Tabla N° 8-28. Proporción de tapetes expuestos y sumergidos en La Punta-La Brava. Campaña verano 2025.

Tapetes Microbianos	Cantidad	(%)
Estaciones con Tapetes expuestos	1	20,0
Estaciones con Tapetes sumergidos	0	0,0
Estaciones con Tapetes expuestos y sumergidos	4	80,0
Total Estaciones	5	100

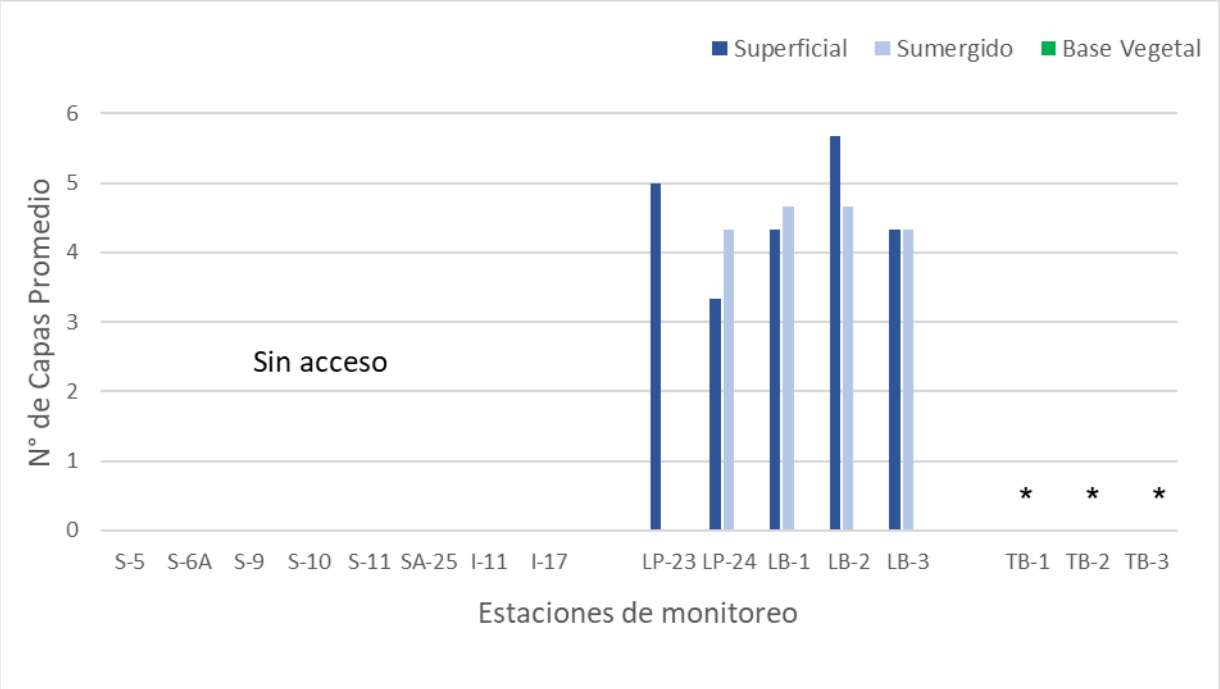
(*) De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.
Fuente: Elaboración propia

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

Tomando en cuenta los sectores evaluados y considerando tapetes superficiales y/o sumergidos, según corresponda, el mayor número de capas promedio, fue observado en la estación LB-2 (Laguna La Brava) con 5,2 capas, mientras que, el menor valor registrado fue en la estación LP-24 (Laguna La Punta) con un promedio de 3,8 capas. Cabe destacar, que en verano 2023 y en verano 2022, en la estación LP-24 no se registraron tapetes sumergidos, a diferencia de todas las anteriores campañas de verano (2017 a 2021), e incluyendo la anterior campaña verano 2024.

En específico, respecto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor número de capas promedio, fue detectado en LB-2 (Laguna La Brava) con 5,7 capas, mientras que, la menor cantidad de capas se registró en LP-24 (Laguna La Punta) con 3,3 en promedio (**Figura N° 8-11**). Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor número de capas promedio fue detectado en LB-1 y LB-2 (Laguna La Brava) con 4,7 y la menor en LP-24 (Laguna La Punta) y LB-3 (Laguna La Brava) con 4,3 (**Figura N° 8-11**).

Figura N° 8-11. Número de capas ($\bar{X}$) y distribución de tapetes microbianos. Verano 2025.

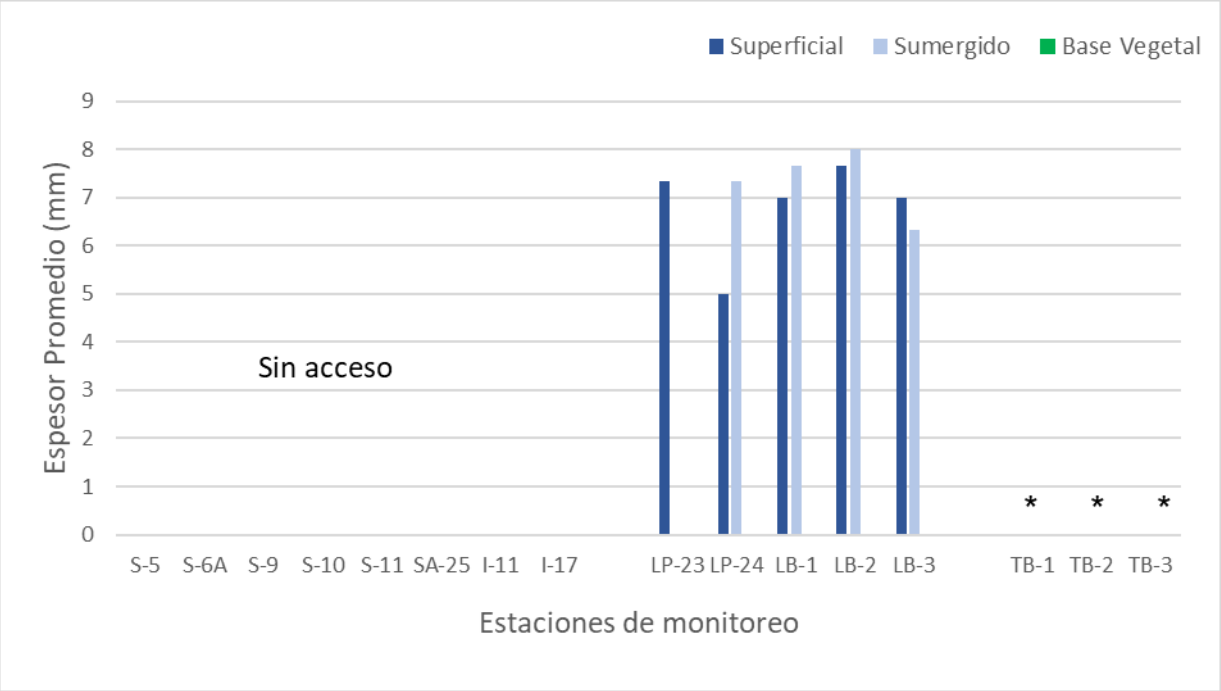


(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.
De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.
Fuente: Elaboración propia

Concerniente al espesor de los tapetes, considerando tapetes superficiales y/o sumergidos, según corresponda, se determinó que el mayor espesor promedio, fue observado en LB-2 (Laguna La Brava), con 7,8 mm, mientras que los menores valores, fueron registrados en LP-24 (Laguna La Punta), con 6,2 mm.

Específicamente, en cuanto a los tapetes de planicies expuestas, el mayor espesor promedio, fue detectado en LB-2 (Laguna La Brava) con 7,7 mm, mientras que, fue menor en LP-24 (Laguna La Punta) con 5,0 mm en promedio. Por otra parte, entre los tapetes sumergidos, el mayor espesor promedio fue detectado en LB-2 (Laguna La Brava) con 8,0 mm y el menor fue en LB-3 (Laguna La Brava) con 6,3 mm (**Figura N° 8-12**).

Figura N° 8-12. Espesor de tapetes microbianos (x̄). Verano 2025.



(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.
De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.
Fuente: Elaboración propia

8.2.2.2 Tipología y Morfología de Tapetes Microbianos

La caracterización de las capas pigmentadas, según zonación macroscópica de los tapetes detectados en el sector La Punta-La Brava, mostró 2 tipos de tipologías:

- **Tipología 1:** la más frecuente entre todos los sectores, presentó tres macro-zonas pigmentarias y se observó tanto en las lagunas La Punta como en La Brava. Presentaron en general capas subsuperficiales de color verde y/o naranja, capas intermedias color rosado y/o púrpura, y capas profundas con tonalidades marrón (**Tabla N° 8-29** y **Tabla N° 8-39**).

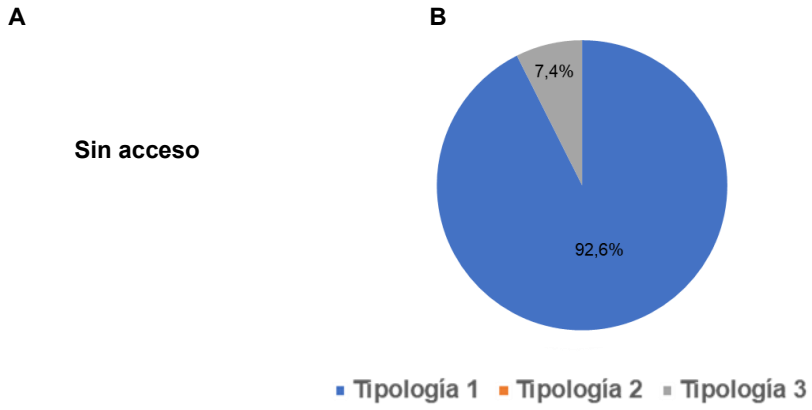
- **Tipología 3:** presentó, principalmente, la macro-zona subsuperficial, donde predominaban las capas de coloración verde, naranjo y en menor medida amarillo y

rosado, en el sector La Punta-La Brava, específicamente Laguna La Punta (estación LP-24) (**Tabla N° 8-29** y **Tabla N° 8-40**).

-

En cuanto a la proporción de Tipología de tapetes presentes, solo se muestra la del sector La Punta-La Brava (debido a la imposibilidad de muestreo en sector Peine). En este se observó que la Tipología 1 presentó los mayores porcentajes con 92,6%, seguido de la Tipología 3 con 7,4% (**Figura N° 8-13 B**). La Tipología 2 no se detectó en esta campaña.

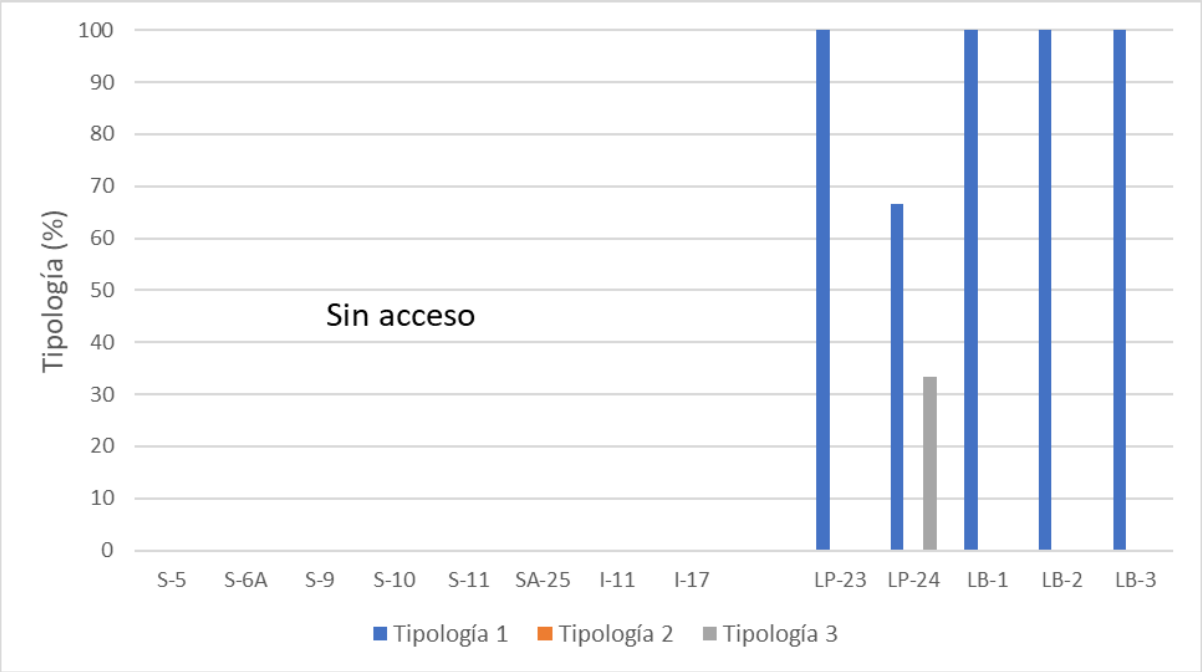
Figura N° 8-13. Proporción de Tipologías de tapetes según macro-zonas de pigmentación. (A) Sector Peine, (B) Sector La Punta-La Brava.



Fuente: Elaboración propia

A su vez, en cada estación de monitoreo, se determinó el porcentaje de la tipología de tapetes presentes del total de muestras tomadas (**Figura N° 8-14**). En el sector La Punta-La Brava, se distingue la presencia de tapetes de Tipología 1, principalmente en las estaciones LP-23, LP-24, LB-1, LB-2 y LB-3, mientras que la Tipología 3 se observó solo en LP-24.

Figura N° 8-14. Tipologías de tapetes microbianos (%), por estación de monitoreo los sectores Peine, La Punta-La Brava. Verano 2025.



(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación de muestreo.
De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.
Fuente: Elaboración propia

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

- Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados, estratificados y pigmentados, característicos de Laguna La Punta (LP-23 y LP-24).
- Tapetes convexos, de consistencia mucilaginosa, los cuales se detectaron principalmente en Laguna La Brava (LB-1 y LB-2).
- Tapetes planos, de consistencia blanda, detectados especialmente en Laguna La Brava (LB-2).

Los tapetes microbianos en la campaña de verano 2025, presentaron diversas tipologías, predominando la Tipología 1. Las morfologías macroscópicas, presentaron, principalmente, morfologías planas o convexas, de estructura coriácea y algunos con consistencia mucilaginosa. El espesor varió entre 4 y 10 mm, mientras que, el número de capas detectadas varió entre 2 y 6 (**Tabla N° 8-29**).

Tabla N° 8-29. Caracterización macroscópica Tapetes microbianos. Campaña Verano 2025.

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

Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3 Tapetes microbianos por Sector y Estación de Monitoreo

A continuación, se presentan los resultados de las estructuras pigmentarias de los tapetes microbianos y la detección de microbialitos y/o evaporitas para los sectores evaluados (Peine, La Punta - La Brava y vegas de Tilopozo). Ver set fotográfico por estación de muestreo en **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Aguas.**

8.2.2.3.1 Sector La Punta-La Brava

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

En relación con el número de capas por estación de monitoreo, la laguna La Brava presentó los tapetes con mayor estratificación en promedio, siendo de 5,2 capas para LB-2, considerando tanto tapetes superficiales expuestos como sumergidos. Por otro lado, la menor estratificación se observó en LB-3, con 4,3 capas. En laguna La Punta, la mayor cantidad de estratificaciones, considerando tanto tapetes superficiales expuestos como sumergidos, se observó en LP-23, con 5,0 capas promedio y la menor cantidad de capas promedio fue de 3,8 en LP-24 (**Figura N° 8-11**).

Referente a las medidas de espesor promedio de los tapetes, considerando tanto tapetes superficiales expuestos como sumergidos, según el sector evaluado, se observó que Laguna La Brava, específicamente LB-2, presentó el mayor valor de espesor promedio, con 7,8 mm. Por otro lado, el menor espesor promedio observado se registró en LB-3 con 6,7 mm (**Figura N° 8-12**). En laguna La Punta, el mayor espesor promedio se observó en LP-23, con 7,3 mm, mientras que el menor espesor promedio fue de 6,2 mm en LP-24.

En general, en el sector La Punta - La Brava, se observó entre las estaciones y lagunas la continuidad espacial de los tapetes con morfología plana en laguna La Punta y en la estación LB-1 de la laguna La Brava. En tanto, en las estaciones LB-2 y LB-3, se observó continuidad espacial y morfología plana y convexa.

En relación con la tipología, se observó que la Tipología 1 fue la más frecuente (92,6%) en el sector, siendo las tonalidades predominantes en sus respectivas macro-zonas el verde (46,0%) y naranjo (42,0%) en la macro-zona subsuperficial, púrpura (50,0%) y rosado (40,5%) en la macro-zona intermedia y marrón (100%) en la macro-zona profunda.

Cabe señalar que los tapetes mejor estructurados en cuanto a una laminación macroscópica definida visualmente se detectaron principalmente en la Laguna La Brava (LB-1), en tanto, los menos estructurados se visualizaron en la Laguna La Punta, específicamente en la estación LP-24. La Laguna La Brava presentó tapetes convexos de textura superficial coriácea y tapetes planos de textura superficial gelatinosa (LB-1), de consistencia blanda y granular (LB-2).

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

8.2.2.3.1.1 Laguna La Punta: Estación de monitoreo LP-23

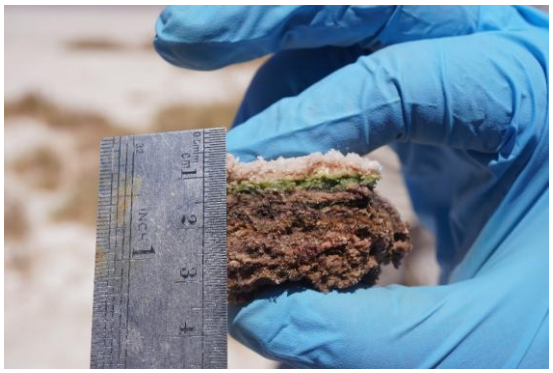
La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2305 msnm, se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa de la laguna, sin flujo y aguas transparentes. Las muestras provienen de una planicie expuesta ubicada en el borde de la laguna, la que exhibe una superficie rugosa y levemente húmeda; sin presencia de huellas humanas, con evidencia de pisoteo de aves y vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-11 a**).

Las muestras provienen de una planicie expuesta ubicada en el borde de la laguna, la que exhibe una superficie rugosa y levemente húmeda; sin presencia de huellas humanas, con evidencia de pisoteo de aves y vegetación ribereña. Además, presenta flujos de agua superficiales y subsuperficiales. Las áreas de coloración fueron predominantemente blanquecino-rosada, con presencia de costra salina (~4 mm). En relación con la estación de monitoreo destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes (**Fotografía N° 8-11 b** y **c**; **Tabla N° 8-30**). Respecto del sedimento bajo la columna de agua (10,0 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos, pero sí la presencia de biofilm púrpura (**Fotografía N° 8-11 d**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-11 e**, **Tabla N° 8-41**).

Fotografía N° 8-11. a. Estación de monitoreo LP-23; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Muestra de sedimento; e. Presencia de microbialitos. Laguna La Punta, verano 2025.

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, las tres muestras de tapetes presentaron las tres macro-zonas (Tipología 1), configurándose en Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y amarillo, y en menor medida naranjo. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó las tonalidades púrpura, seguido de rosado. En la zona Profunda, se observó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 5 y 10 mm, con un número de entre 4 y 6 capas (**Tabla N° 8-30**).

Tabla N° 8-30. Caracterización de las capas de tapetes microbianos en la estación de monitoreo LP-23. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra rosada	Costra rosada
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo	Amarillo	Naranjo
		Verde	Verde	Verde
		Amarillo		Amarillo
	Intermedio	Rosado	Púrpura	Púrpura
		Púrpura		
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		6	4	5
Espesor (mm)		5	7	10
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

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

La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2300 msnm, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas sumergidas y helófitas en ribera, y sin presencia de huellas humanas. (**Fotografía N° 8-12 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie plana, cercana al borde de la laguna, con costra salina (~4 mm) y coloración blanquecino-beige (**Fotografía N° 8-12 b** y **c**; **Tabla N° 8-31**), y (ii) una superficie coriácea, semisumergida o sumergida, aledaña al borde de la laguna, de sustrato duro y con tonalidades amarilla y verde oscuro, la cual, en esta campaña, se encontraba humedecida y los tapetes levemente embebidos (**Fotografía N° 8-12 d** y **e**; **Tabla N° 8-32**). Ambos sitios sin huellas humanas. Se destaca la continuidad espacial y la morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (20 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos, pero sí la presencia de biofilm rosado (**Fotografía N° 8-12 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo, indica la presencia de evaporitas (**Fotografía N° 8-12 g**, **Tabla N° 8-41**).

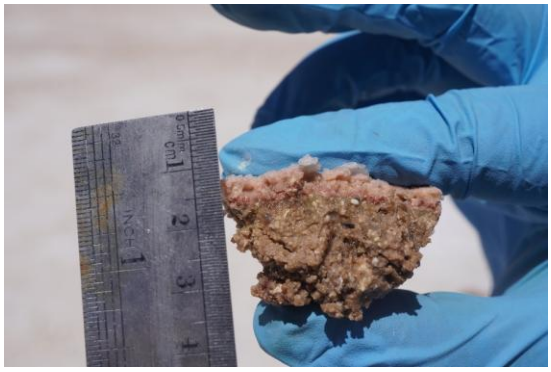
Fotografía N° 8-12. a. Estación de monitoreo LP-24; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Muestra de sedimento; f. Presencia de evaporitas. Laguna La Punta, verano 2025.

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

f. 

g. 

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos, presentaron las Tipologías 1 (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) y 3 (Subsuperficial). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranja y en menor medida, amarillo; en la zona Intermedia predominaron las tonalidades rosado y púrpura. Por otro lado, en la zona Profunda (detectada en una muestra) predominó sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 4 y 6 mm, con un número entre 2 y 5 capas (**Tabla N° 8-31**).

Tabla N° 8-31. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Planicie expuesta		Costra rosada	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo Verde Amarillo	Naranjo Verde	Naranjo Verde
	Intermedio	S/C	S/C	Rosado Púrpura
	Profunda	S/C	S/C	Marrón
Total de laminaciones		3	2	5
Espesor (mm)		5	4	6
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, todos los tapetes humedecidos coriáceos, presentaron las tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondiente a Tipología 1. En la zona Subsuperficial, predominó la tonalidad naranja, seguida de verde, mientras que en la Intermedia se observaron las tonalidades rosado, seguido de púrpura. En la zona Profunda, se observó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, fluctuaron entre 6 y 8 mm, con entre 4 a 5 capas. Las muestras embebidas se encontraban en contacto con el agua, pero no sumergidas (**Tabla N° 8-32**).

Tabla N° 8-32. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos, en la estación de monitoreo LP-24. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Humedecidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo	Naranjo Verde	Naranjo Verde
	Intermedio	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura	Rosado
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	5	4
Espesor (mm)		8	6	8

Tapetes Humedecidos Coriáceos			
Muestra	Pigmentación		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Profundidad (cm)	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3.1.3 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-1

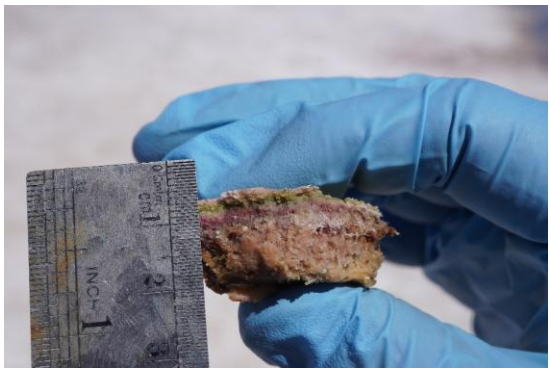
La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2307 msnm, se observó la presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña (**Fotografía N° 8-13 a**).

El sector presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~3 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración principalmente blanquecino-beige, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-13 b** y **c**; **Tabla N° 8-33**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras de constitución mucilaginosa de una fuerte coloración naranja, de textura coriácea y morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-13 d** y **e**; **Tabla N° 8-34**). En esta estación se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (17 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos, pero sí la presencia de biofilm púrpura (**Fotografía N° 8-13 f**). Cabe destacar que, el examen visual de la estación de muestreo indica la presencia de microbialitos (**Fotografía N° 8-13 g**, **Tabla N° 8-41**).

Fotografía N° 8-13. a. Estación de monitoreo LB-1; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; f. Muestra de sedimento; g. Presencia de microbialitos. Laguna La Brava, verano 2025.

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

f. 

g. 

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los tapetes superficiales planos, todas las muestras presentaron tres macro-zonas (Tipología 1), configurándose en Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, la tonalidad predominante fue verde y luego naranja. Por otra parte, en la zona Intermedia, se observó tanto la tonalidad rosada como púrpura. Por otro lado, en la zona Profunda, se observó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 6 y 8 mm, con un número de entre 4 y 5 capas (**Tabla N° 8-33**).

Tabla N° 8-33. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Mucilaginoso
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo Verde	Verde	Verde
	Intermedio	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		5	4	4
Espesor (mm)		7	8	6
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en los tapetes sumergidos coriáceos, de estructura mucilaginosa, las tres muestras presentaron tres macro-zonas (Tipología 1), correspondientes a Subsuperficial, Intermedia y Profunda. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranjo y verde, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades rosada seguido de purpura y finalmente, en la zona Profunda, se observó la tonalidad marrón, únicamente. En cuanto al espesor del tapete, fluctuó entre 7 y 8 mm, con un número de entre 4 y 5 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 2,5 y 8 cm (**Tabla N° 8-34**).

Tabla N° 8-34. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-1. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Planicie expuesta		Mucilaginoso	Mucilaginoso	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo Verde	Naranjo Verde	Naranjo Verde
	Intermedio	Rosado Púrpura	Rosado	Rosado Púrpura

Tapetes Sumergidos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		5	4	5
Espesor (mm)		8	7	8
Profundidad (cm)		3	8	2,5

Fuente: Elaboración propia

8.2.2.3.1.4 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-2

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica de 2303 msnm, con presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas transparentes y presencia de plantas acuáticas (**Fotografía N° 8-14 a**).

La estación de monitoreo presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~3 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración blanquecino-gris, además de la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-14 b** y **c**; **Tabla N° 8-35**), y (ii) una superficie sumergida, ubicada en el borde de la laguna, con estructuras mucilaginosas, de coloración naranja y otras estructuras coriáceas recubiertas de costra salina (~1 mm) con morfología convexa sólida y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-14 d** y **e**; **Tabla N° 8-36**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (8 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos aunque sí los remanentes de antiguos tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-14 f**).

Fotografía N° 8-14. a. Estación de monitoreo LB-2; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo; Muestra de sedimento. Laguna La Brava, verano 2025.

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

f. 

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, en todas las muestras, tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda), correspondientes a Tipología 1. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranjo, seguido de amarillo. La zona Intermedia se observó la tonalidad púrpura y blanca, mientras que la zona Profunda también exhibió sólo la tonalidad marrón. En cuanto al espesor de los tapetes, presentaron entre 6 y 9 mm, con un número de entre 5 y 6 capas (**Tabla N° 8-35**).

Tabla N° 8-35. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Planicie expuesta		Costra blanca	Costra blanca	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo	Naranjo	Naranjo
		Verde	Amarillo	Amarillo
			Verde	Verde
	Intermedio	Blanco	Blanco	Blanco
		Púrpura	Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		5	6	6
Espesor (mm)		8	9	6
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes sumergidos coriáceos presentaron Tipología 1 (macro-zonas Subsuperficial, Intermedia y Profunda) en todas las muestras. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron naranjo, seguido de verde y en menor medida, amarillo. En la zona Intermedia, predominó la tonalidad rosada, seguido de púrpura. Finalmente, en la zona Profunda, se observó, únicamente, la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 7 y 10 mm, con entre 3 y 6 capas. La profundidad a la que fueron tomadas las muestras varió entre 1,5 y 2,0 cm (**Tabla N° 8-36**).

Tabla N° 8-36. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-2. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Sumergidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Planicie expuesta		Mucilaginoso	Costra blanca	Mucilaginoso
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo	Naranjo	Naranjo

			Verde	Amarillo Verde
	Intermedio	Rosado	Rosado Púrpura	Rosado Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		3	5	6
Espesor (mm)		7	7	10
Profundidad (cm)		1,5	1,6	2,0

Fuente: Elaboración propia

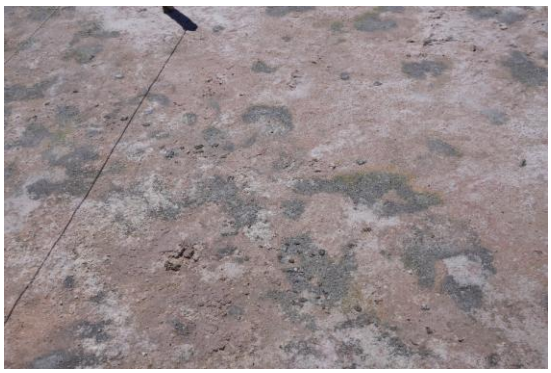
8.2.2.3.1.5 Laguna La Brava: Estación de monitoreo LB-3

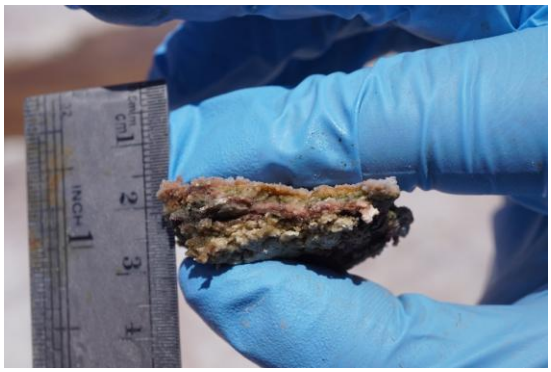
La estación LB-3 se encuentra ubicada en la desembocadura de un afluente a la laguna La Brava, correspondiendo a una estación de muestreo adicional a las comprometidas en el PMB. La estación se ubica a una altura geográfica de 2303 msnm, sin flujo y con aguas transparentes. La estación de monitoreo presentó escasas plantas acuáticas hidrófitas (**Fotografía N° 8-15 a**).

La estación de monitoreo, se localiza en un afluente de la laguna, exhibiendo escasa vegetación acuática, y presenta dos tipos de superficies, (i) una superficie irregular y con una evidente desecación, con costra salina (~1 mm), cercana al borde de la laguna y de coloración rosada-gris, además se evidencia la presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-15 b** y **c**; **Tabla N° 8-37**), y (ii) una superficie humedecida, ubicada en el borde de la laguna, con escasas estructuras mucilaginosas de coloración naranja y una mayor predominancia de estructuras coriáceas de coloración verde oscuro, con morfología convexa sólida en su mayoría, de consistencia blanda y sin presencia de huellas humanas (**Fotografía N° 8-15 d** y **e**; **Tabla N° 8-38**). Se destaca la continuidad espacial, además de una morfología plana y convexa de las capas en los tapetes en relación con la estación de monitoreo. Respecto del sedimento bajo la columna de agua (3 cm de profundidad), no se detectó presencia de tapetes microbianos (**Fotografía N° 8-15 f**).

Fotografía N° 8-15. a. Estación de monitoreo LB-3; b. Superficie plana; c. Tapete superficial plano; d. Superficie coriácea; e. Tapete sumergido coriáceo. Laguna La Brava, verano 2025.

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

f. 

Fuente: Elaboración propia

Los tapetes superficiales planos presentaron, Tipología 1 con tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda) en todas las muestras. En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde y naranjo, mientras que, en la zona Intermedia, predominaron las tonalidades púrpura y en menor medida, rosada. En la zona Profunda predominó únicamente la tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 6 y 8 mm, con un número de entre 4 y 5 capas (**Tabla N° 8-37**).

Tabla N° 8-37. Caracterización de las capas de tapetes microbianos superficiales planos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Superficiales Planos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Planicie expuesta		Costra blanca	Mucilaginoso	Costra blanca
Macro-Zona	Subsuperficial	Naranjo Verde	Naranjo Verde	Naranjo Verde
	Intermedio	Rosado Púrpura	Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		5	4	4
Espesor (mm)		6	7	8
Profundidad (cm)		0	0	0

Fuente: Elaboración propia

De los tapetes sumergidos coriáceos, todas las muestras presentaron Tipología 1, observándose tres macro-zonas (Subsuperficial, Intermedia y Profunda). En la zona Subsuperficial, las tonalidades predominantes fueron verde, seguido de naranjo. Por otro lado, la zona Intermedia evidenció tanto la tonalidad rosada como púrpura y en menor medida, blanco. En la zona Profunda, predominó la únicamente tonalidad marrón. En cuanto al espesor del tapete fluctuó entre 6 y 7 mm, con un número entre 4 y 5 capas. Las muestras se encontraban embebidas en agua por lo que la profundidad varió entre 0 y 0,8 cm (**Tabla N° 8-38**).

Tabla N° 8-38. Caracterización de las capas de tapetes microbianos sumergidos coriáceos, en la estación de monitoreo LB-3. (S/C: sin capas pigmentadas).

Tapetes Embebidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Planicie expuesta		Costra blanca	Mucilaginoso	Mucilaginoso
Macro-Zona	Subsuperficial	Verde	Naranjo Verde	Verde Naranjo

Tapetes Embebidos Coriáceos				
Muestra		Pigmentación		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	Intermedio	Rosado Blanco	Rosado Púrpura	Púrpura
	Profunda	Marrón	Marrón	Marrón
Total de laminaciones		4	5	4
Espesor (mm)		7	6	6
Profundidad (cm)		0	0,3	0,8

Fuente: Elaboración propia

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

En el sector La Punta-La Brava, en verano 2025, los tapetes de Tipología 1 (tapetes que presentan tres macro-zonas de pigmentación) fueron detectados en la Laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y La Brava (LB-1, LB-2 y LB-3), siendo frecuente, en la macro-zona subsuperficial, las capas verde y naranjo y en menor medida, amarillo, las que representarían a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos que probablemente podrían corresponder a cianobacterias y microalgas (*i.e.* diatomeas) y bacterias productoras de compuestos carotenoides (Rodriguez-Aranda y Sanz Montero 2015). Por otro lado, en la macro-zona intermedia, las tonalidades fueron principalmente púrpura, seguido de rosadas y en menor medida, blanco, las cuales podrían estar relacionadas a microorganismos autótrofos fotosintéticos anoxigénicos que probablemente podrían corresponder a bacterias rojas sulfúreas, microorganismos quimiolitoautótrofos y otros heterótrofos. En la macro-zona Profunda predominaron las capas marrón, las que representarían a microorganismos quimioheterótrofos anaerobios, incluyendo a algunos metanogénicos (**Tabla N° 8-39**).

Tabla N° 8-39. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 1, Sector La Punta-La Brava. Campaña verano 2025.

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

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

La Tipología 3 (tapetes que presentan solo una macro-zona de pigmentación) fue detectada en laguna La Punta (LP-24), mostrando sólo la macro-zona subsuperficial, en la cual predominaron las capas verde y naranja, y en menor medida, amarillo. Estas capas, según lo mencionado anteriormente, podrían corresponder a microorganismos fotosintéticos autótrofos oxigénicos (*i.e.* cianobacterias, microalgas, diatomeas) (**Tabla N° 8-40**).

Tabla N° 8-40. Caracterización de las principales capas de tapetes microbianos de Tipología 3, Sector La Punta-La Brava Campaña verano 2025.

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

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

8.2.2.3.2 Sector vegas de Tilopozo

En la actual campaña verano 2025, así como en ninguna de las anteriores, en el sector vegas de Tilopozo, no se detectó la presencia de tapetes microbianos en las estaciones de muestreo TB-1, TB-2 y TB-3. Cabe destacar, que sólo en invierno 2016, se hallaron tapetes microbianos de Tipología 3 sólo en la estación TB-2.

8.2.2.3.3 Sector Peine

Las comunidades de tapetes microbianos en el sector Peine correspondiente a la laguna Salada (S-9, S-6A y S-5), laguna Saladita (S-10, S-11 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), en la presente campaña no pudieron ser monitoreados, debido a restricciones de acceso definidas para evitar perturbar el ciclo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en estos cuerpos de agua **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones).**

8.2.2.4 Registro de microbialitos y evaporitas

De acuerdo con el examen visual realizado en terreno, se sugiere la presencia de microbialitos en dos estaciones de monitoreo (LP-23 y LB-1) y la presencia de evaporitas en sólo una estación de monitoreo (LP-24) (**Tabla N° 8-41**).

Tabla N° 8-41. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo, Campaña verano 2025.

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

+: Presencia; -: Ausencia

8.2.2.5 Parámetros físicos y químicos

Respecto de las variables físicas y químicas en matriz agua y sedimentos se realizó un análisis en la relación que podrían presentar con la presencia de tapetes microbianos. En la actual campaña se revisará esta posible relación en el sector La Punta-La Brava. En el sector vegas de Tilopozo no se registraron tapetes microbianos, por lo que no se considera dentro del análisis de variables relevantes de calidad de agua y sedimentos. Por otra parte, la comunidad de tapetes microbianos en el sector Peine, en la presente campaña como se mencionó anteriormente, no fue monitoreada.

En relación con las variables de calidad de agua registradas en el sector La Punta-La Brava para la campaña de verano 2025, destacan la Conductividad eléctrica y la Salinidad presentando en general mayores registros en las lagunas La Brava respecto de La Punta, siendo mayores en las estaciones LB-1 y LB-2.

En la laguna La Brava, los valores que oscilaron entre 29.500 y 139.200 µS/cm en LB-3 (afluente de la laguna) y en LB-2 respectivamente. En La Punta, en tanto, la conductividad osciló entre 56.330 en LP-23 y 65.780 µS/cm en LP-24 (**Figura N° 8-15 a** y **b**).

Cabe destacar que la presencia de agua-humedad en las estaciones de monitoreo y las concentraciones de conductividad-salinidad son de alta importancia para la presencia de tapetes microbianos. La salinidad, en tanto, presentó valores máximos en la mayoría de las estaciones de la laguna La Brava, excepto en LB-3 que presentó el valor más bajo con 17,27 g/Kg y valores intermedios en la laguna La Punta.

Por otra parte, se observaron temperaturas mayores en la columna de agua en la laguna La Brava respecto de La Punta. Los mayores registros fueron obtenidos en LB-2 y LB-3 con valores de 26,57 y 31,54 °C respectivamente (**Figura N° 8-16 a**).

El oxígeno disuelto presentó diferencias entre La Punta y La Brava, presentando concentraciones entre 3,13 mg/L y 2,70 mg/L en La Punta y de 1,45 mg/L y 4,08 mg/L en La Brava. En la laguna La Brava se observaron los menores registros, específicamente, en LB-1 y LB-2. Cabe destacar que, la diferencia observada entre lagunas se relaciona con la mayor salinidad presentada en La Brava (LB-1 y LB-2), de este modo cuando aumenta la conductividad-salinidad en la columna de agua, disminuye la solubilidad del oxígeno en ellas (**Figura N° 8-16 b**).

Respecto de la alcalinidad total ($CaCO_3$), en el sector La Punta-La Brava, las alcalinidades fueron distintas entre estaciones de monitoreo. El mayor registro fue detectado en la laguna La Punta en la estación LP-24 con 440 mg/L, y el menor registro en la estación LB-2 con

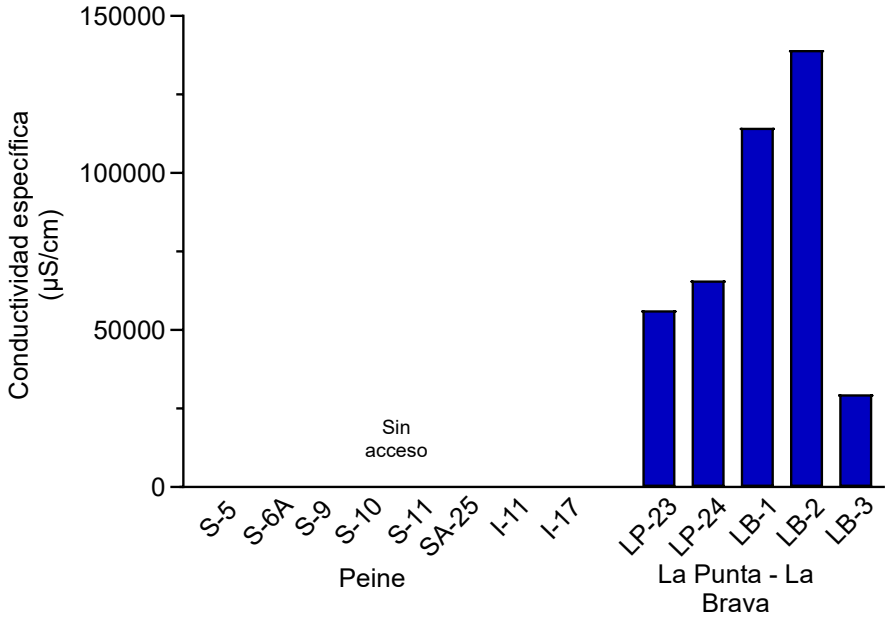
61 mg/L. En tanto, en la laguna La Punta (LP-23 y LP-24) se observaron valores mayores (**Figura N° 8-17 a**).

La turbiedad por su parte presentó registros heterogéneos entre estaciones de monitoreo. El mayor y menor registro fue observado en la laguna La Punta con valores entre 18,8 UNT en la estación LP-23 y 3,90 UNT en LP-24. En tanto, en la laguna La Brava se observaron registros bajos entre 2,60 y 0,60 UNT en las estaciones LB-2 y LB-3 respectivamente (**Figura N° 8-17 b**).

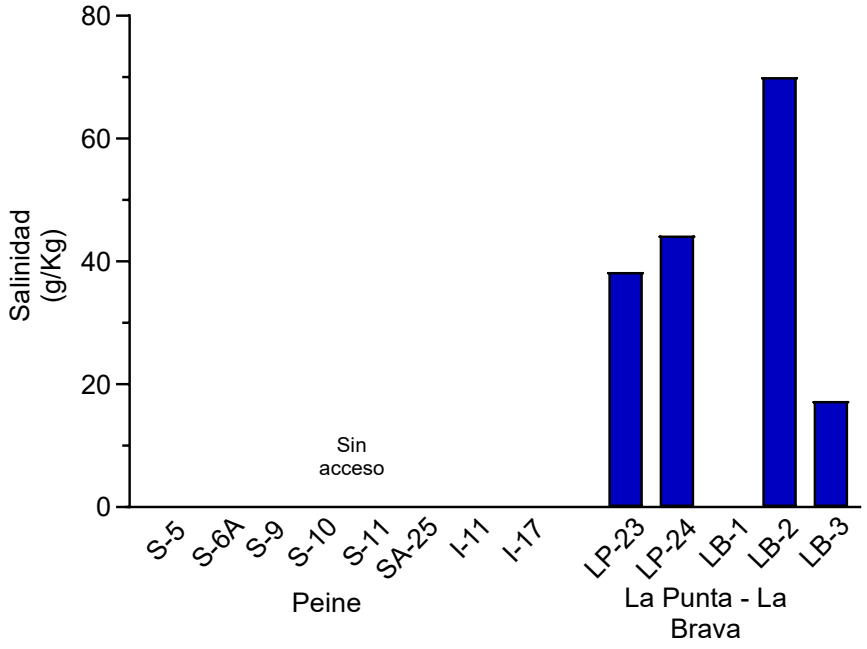
En relación con el pH, se observaron valores moderadamente alcalinos los que fluctuaron entre 7,88 y 8,20 unidades en las estaciones LB-2 (La Brava) y LP-23 (La Punta) y LB-3 (La Brava) respectivamente (**Tabla N° 8-42**).

A modo referencial, para el Salar se consignan los valores de radiación solar, obtenidos en los horarios en los que se realizó el monitoreo de cada estación. Los valores fluctuaron entre 2,943 MJ/m^2 en la estación LB-1 y 3,047 MJ/m^2 en la estación LB-2, observándose valores diferentes entre estaciones de monitoreo, horarios y entre lagunas (**Tabla N° 8-42**).

Figura N° 8-15. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2025.



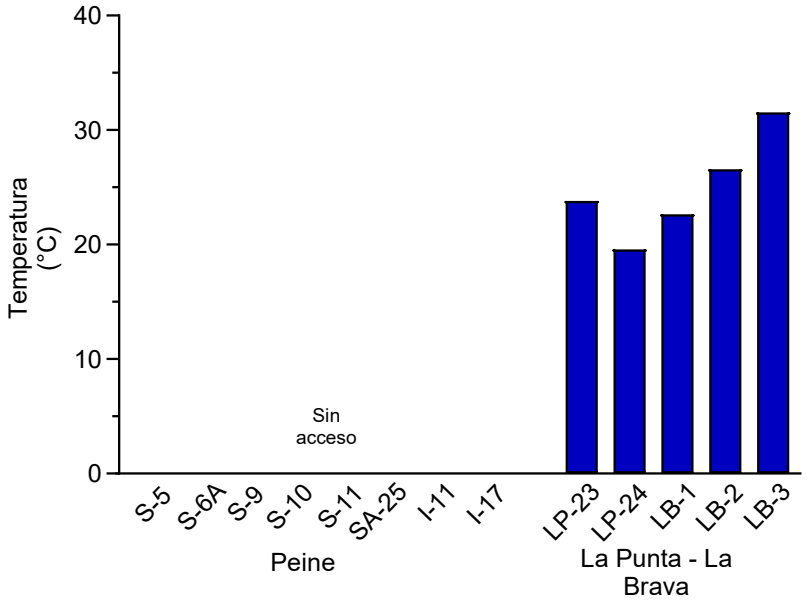
a.



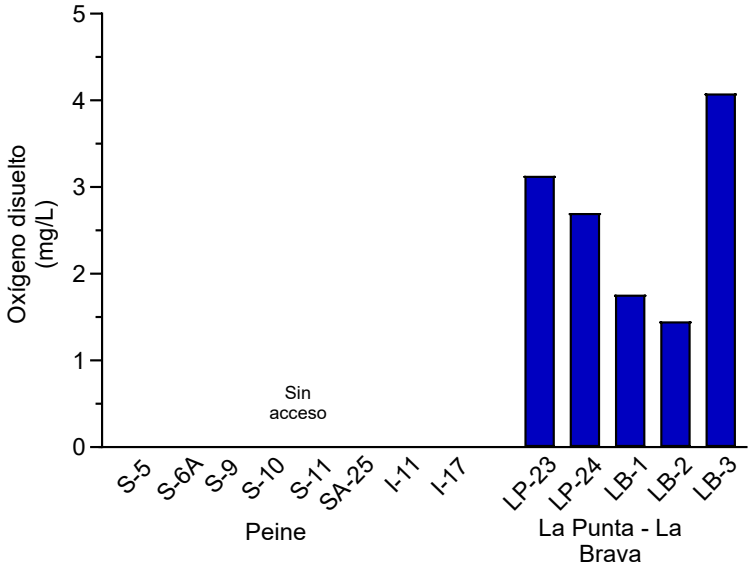
b.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 8-16. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2025.



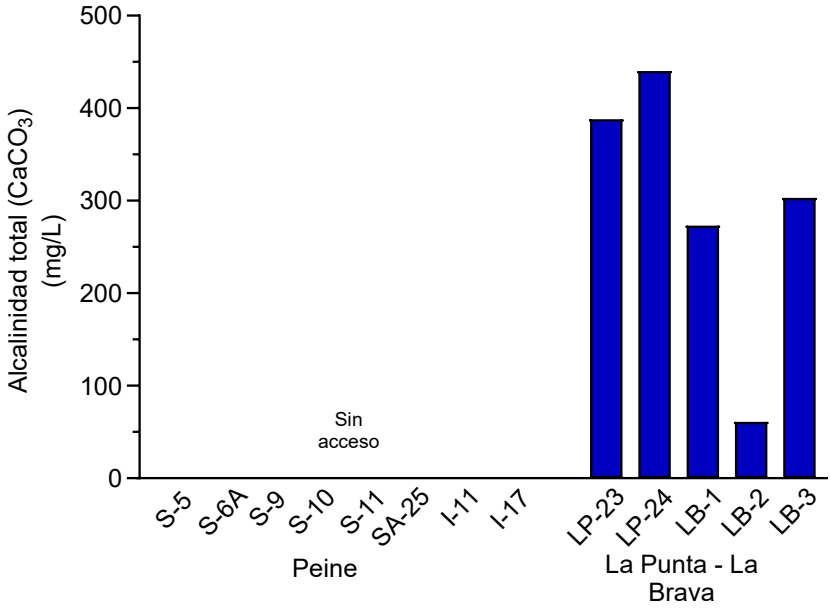
a.



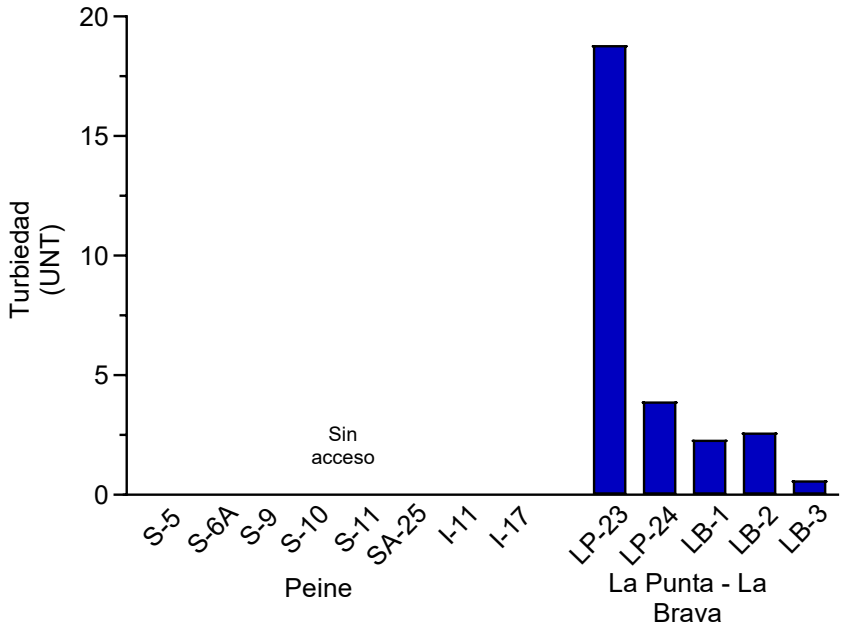
b.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 8-17. Variables de relevancia ambiental para la calidad de agua, en los sectores Peine y La Punta-La Brava. Campaña Verano 2025.



c.



d.

Fuente: Elaboración propia

En relación con las variables de calidad de sedimentos registradas en el sector La Punta-La Brava para la campaña de verano 2025, se destaca que para carbono orgánico total los registros fueron diferentes en las lagunas La Punta-La Brava, con registros que fluctuaron entre 43,85 g/Kg en LP-24 y 138,17 en LB-1. En tanto, para fósforo total no se observaron diferencias entre estaciones de monitoreo de ambos sectores, en general, presentando valores bajo el límite de detección (<0,500 mg/Kg), excepto por el registro de LP-24 con 1.400 mg/Kg (**Tabla N° 8-43**).

El nitrógeno total Kjeldahl, presentó diferencias entre las lagunas La Punta-La Brava, observándose registros entre 0,652 g/Kg en la estación LB-3 (La Brava) y 2,442 g/Kg en la estación LB-1 (La Brava). Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, en la mayoría de las estaciones se registraron valores negativos que indican sedimentos donde se favorecen reacciones anóxicas, con valores entre -398 mV (LB-2) y -382 mV (LB-1) (**Tabla N° 8-43**).

Tabla N° 8-42. Variables de calidad de agua de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 2025.

Parámetro	Unidad	LD*	Sector Peine								Sector La Punta-La Brava				
			Salada			Saladita			Interna		La Punta		La Brava		
			S-9	S-5	S-6A	SA-25	S-10	S-11	I-11	I-17	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura	°C	-	Sin acceso por nidificación de flamencos								23,83	19,58	22,65	26,57	31,54
pH	U	-									8,11	8,20	7,96	7,88	8,20
Conductividad específica	µS/cm	-									56.330	65.780	114.400	139.200	29.500
Salinidad	g/Kg	-									38,29	44,23	-	70,00	17,27
Oxígeno disuelto	mg/L	-									3,13	2,7	1,76	1,45	4,08
Turbiedad	UNT	-									18,8	3,90	2,30	2,60	0,60
Radiación solar**	MJ/m^2	-									3,027	2,998	2,943	3,047	2,985
Alcalinidad Total ($CaCO_3$)	mg/L	<1,2									388	440	273	61	303

*LD: Límite de Detección; **Datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Minera Albemarle. – Dato no disponible.
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8-43. Variables de calidad de sedimentos de relevancia para tapetes microbianos en el sector La Punta-La Brava. Campaña Verano 2025.

Parámetro	Unidad	LD*	Sector Peine								Sector La Punta-La Brava				
			Salada			Saladita			Interna		La Punta		La Brava		
			S-9	S-5	S-6A	SA-25	S-10	S-11	I-11	I-17	LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	Sin acceso por nidificación de flamencos								73,09	43,85	138,17	49,25	50,41
Fósforo Total (P)	mg/Kg	<500									<500	1400	<500	<500	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,00312									1,291	0,879	2,442	0,905	0,652
Potencial Redox	mV	-									-397	-396	-382	-398	-383

Fuente: Elaboración propia

8.2.3 Límites Considerados en la evaluación de Tapetes Microbianos

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

9 SUELO O SUSTRATO

En el presente informe de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en el monitoreo semestral de invierno 2024 y verano 2025, para el subcomponente ambiental suelo – sustrato.

El periodo reportado en el presente informe anual Nº9 corresponde al monitoreo semestral de invierno realizado entre los 25 al 29 de agosto de 2024, llamado en adelante Monitoreo 17 (M17), como también la campaña semestral de verano, realizada entre los días 10 al 14 de marzo de 2025, denominada en adelante Monitoreo 18 (M18).

Se analiza la evolución de los parámetros estudiados para las campañas invernales y estivales de monitoreo entre 2016 y 2025 (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M16, M17 y M18). Cabe señalar, que la campaña estival 2020 (M8) no pudo ser realizada para este componente debido a las restricciones por efecto de la situación sanitaria Covid-19 a nivel nacional, al igual que la campaña invernal 2021 (M11), por razones de seguridad.

Las variables ambientales asociadas que caracterizan este subcomponente y que son objeto de seguimiento, corresponden a características físicas y químicas del suelo, según los parámetros a monitorear indicado en la RCA 021/2016 del proyecto, estos son: conductividad eléctrica, salinidad, pH, nutrientes (NPK), humedad, conductividad hidráulica (permeabilidad), materia orgánica y textura.

Esta actividad de seguimiento fue llevada a cabo por **Cedrem Consultores Limitada**, por encargo de ALBEMARLE LTDA., apoyados para análisis físico-químicos de las muestras de suelo, por tres laboratorios que cuenta con acreditación ETFA (ALS Life Sciences, Hidrolab y ANAM S.A.), un cuarto acreditado ante la Comisión Nacional de Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y del Servicio agrícola y Ganaderos (AGROLAB), y el quinto y último, que corresponde al Laboratorio de Física de Suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile. Por su parte, el muestreo de suelos es ejecutado en terreno por la ETFA ANAM S.A.

El objetivo del seguimiento es observar y analizar la evolución de los parámetros edafológicos monitoreados, en el marco de la etapa de operación del proyecto y de acuerdo con los alcances técnicos solicitados por la RCA 021/2016.

9.1 MATERIALES Y MÉTODOS

9.1.1 Área de estudio

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

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

Los suelos del área de estudio muestran características que indican lixiviación diferencial durante y después de su acumulación. Lo más notable es una estratificación resultante de la disolución y redepositación de los minerales más solubles por las infrecuentes lluvias del desierto. Como resultado de esto, uno de los componentes importantes de este tipo de suelo –nitrato- se encuentra en profundidad, siendo escaso en el material superficial.

9.1.2 Ubicación de puntos de muestreo

Para el seguimiento se consideraron los 14 puntos de muestreo de suelo – sustrato (ver **Figura N° 2-1**), definidos en el proyecto (EIA-Adenda 5) de los cuales seis (6) se localizan según definición en el sector de Tilopozo, cuatro (4) en el sector de La Punta – La Brava, (de éstos, 3 en La Punta y 1 en La Brava), y cuatro (4) en el sector de Peine. En la **Tabla N° 2-1** se indican las coordenadas UTM de los puntos de muestreo, donde se observa una homologación de la codificación de los puntos y ajuste en su localización.

El criterio de la posición de los puntos de muestreo de la componente suelos, ha sido informado a partir del Informe Anual PMB Nº1, no cambiando el objetivo, ni la cantidad de puntos de monitoreo de suelos.

El seguimiento se realiza en las mismas unidades vegetales y edafológicas indicadas en el PMB del proyecto (Anexo 1 de Adenda 5 de ALB), este criterio considera dos aspectos fundamentales: a) La presencia de vegetación y flora monitoreada en el Plan de Manejo Biótico y el tipo de suelo, respetando la distribución de los transectos del monitoreo de vegetación y flora, seleccionando siempre el sitio lo más próximo, pero considerando no intervenir el área monitoreada por el componente vegetación-flora, y b) un sitio en el cual el suelo presente características similares a aquel en el cual se encuentra la vegetación evaluada. En aquellas situaciones en las cuales el transecto de vegetación involucraba más de un tipo de suelo-vegetación, el punto de muestreo se seleccionó en función del suelo de mayor representatividad en el área y del tipo de humedal objetivo del muestreo.

Cabe señalar y considerar que, los puntos de muestreo de suelo son espacialmente dinámicos en el tiempo, dado que, como se describe más adelante en el numeral de método de muestreo, se extrae una muestra de una calicata y el área de extracción, queda como zona alterada. En consecuencia, las muestras de los monitoreos posteriores deben ser tomadas en sectores sin intervención antrópica, por lo que, estos puntos se desplazan respecto a los anteriores, siendo esta distancia en terreno inferior a 1 m., esto con el fin de que la variación del suelo y sus condiciones circundantes sean las mínimas posibles. Aun cuando las coordenadas determinadas mediante navegador GPS son mayores, esto es debido al margen de error normal propio del instrumento utilizado.

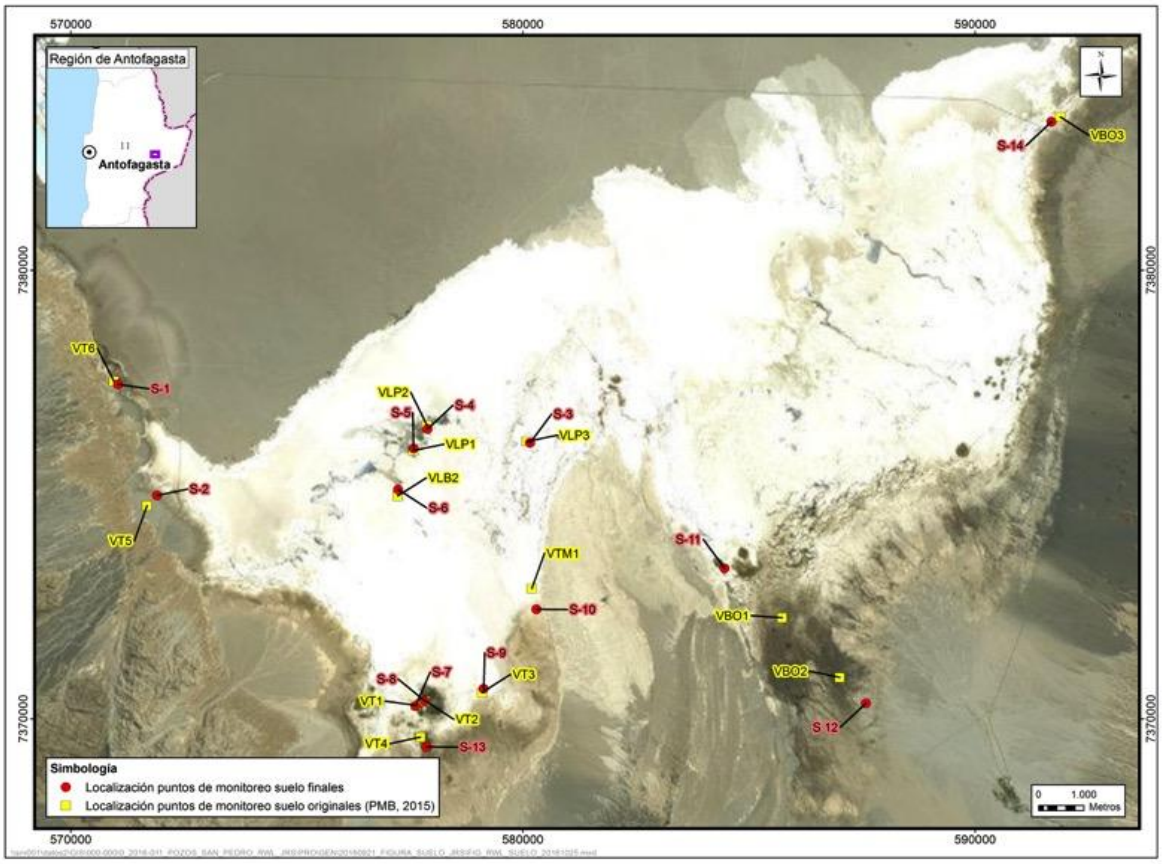
Tabla N° 9-1. Coordenadas UTM (Datum WGS 84-Huso 19S). Puntos de muestreo suelo.

Sector	Código Original Punto Muestreo Suelos (PMB, 2015)	ID Punto de Muestreo Suelos PMB[26]	Coordenadas UTM (WGS 84) posición final[27].	
Tilopozo	VT1	S 7	577.628	7.370.028
Tilopozo	VT2	S 8	577.831	7.370.399
Tilopozo	VT3	S 9	579.132	7.370.673
Tilopozo	VT4	S 13	577.870	7.369.378
Tilopozo	VT5	S 2	571.909	7.374.983
Tilopozo	VT6	S 1	571.048	7.377.456
La Punta	VLP1	S 5	577.586	7.376.028
La Punta	VLP2	S 4	577.889	7.376.463
La Punta	VLP3	S 3	580.159	7.376.154
La Brava	VLB2	S 6	577.240	7.375.111
Peine	VB01	S 11	584.461	7.373.360
Peine	VB02	S 12	587.586	7.370.350
Peine	VB03	S 14	591.689	7.383.312
Peine	VTM1	S 10	580.299	7.372.443

Fuente: Elaboración Propia.

[26] En cada punto de muestreo se toman dos muestras S N-1 y S N-2, colectando la primera en superficial y la segunda en profundidad
[27] Ubicación de puntos de muestreo desde RCA 21/2016

Figura N° 9-1. Localización original y final de calicatas de monitoreo del componente físico – Suelo en el área de estudio, Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración Propia

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

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

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

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

Parámetro	Unidad medida
Humedad	%
Conductividad hidráulica (permeabilidad)" k"	cm/hr
Textura (Soil Survey Staff.)	---
Salinidad	mg/kg

Durante la toma de muestras de suelos, en caso de interceptar el nivel freático, se registra su profundidad.

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

9.1.4.1 Metodología in situ

En terreno, el muestreo lo realiza la ETFA ANAM S.A., donde en cada uno de los puntos de muestreo, se realizan calicatas cuya profundidad varía en función de la homogeneidad del horizonte a muestrear, con una profundidad máxima alcanzada o de trabajo de 120 cm y 110 cm para el monitoreo de invierno (M17) y de verano (M18) respectivamente.

Cabe destacar que, aun cuando en la metodología original indicada en el Plan de Manejo Biótico, se definían dos profundidades de muestreo (i.e. una primera muestra a los 30 cm y una segunda a los 60 cm), se estimó según juicio experto, en terreno y en observación de las calicatas, que esto último podría inducir a que se tomaran dos muestras del mismo estrato u horizonte, o que se dejara de muestrear estratos u horizontes relevantes en el comportamiento del suelo para el desarrollo de la vegetación. Por lo tanto, se efectúa una delimitación de los horizontes o estratos del perfil y se toma la muestra en aquellos suelos que presentan un desarrollo pedogenético. Esto determina que en algunos casos las muestras son tomadas a diferentes profundidades, pero manteniendo el número de 2 muestras por calicata.

Una vez definidos los horizontes o estratos en el perfil de suelo, se procede a extraer las muestras de suelos (aproximadamente 500 gr) a dos profundidades diferentes en cada punto de muestreo y manteniendo dos muestras por punto (horizonte subsuperficial y horizonte inferior). Luego, éstas son etiquetadas y embaladas adecuadamente según procedimientos estándares y enviadas los respectivos laboratorios. Durante la realización del muestreo en terreno, se registra la ausencia o presencia de nivel freático en la profundidad de excavación para toma de muestras. Si se verifica la presencia de nivel freático, se registra su profundidad. Se aclara que dicho registro de nivel freático no forma parte del monitoreo de parámetros compromisos ante la SMA, por lo que los resultados de este tienen sólo carácter de información complementaria para caracterización de suelos.

Las muestras para los análisis de nitrógeno y salinidad son enviadas a AGROLAB (No requiere laboratorio ETFA), mientras que, para los análisis de conductividad eléctrica, pH, potasio, humedad y materia orgánica las muestras son remitidas a la ETFA ANAM S.A. dado que

corresponden a parámetros que deben contar con autorización por parte de la SMA. Por último, el análisis de fósforo fue desarrollado por Hidrolab y la textura estuvo a cargo del laboratorio ALS Life Sciences Chile.

Para el caso de la conductividad hidráulica (No requiere ETFA), estas muestras son enviadas al laboratorio de física de suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile, al igual que en monitoreos anteriores. Para el análisis de conductividad hidráulica - permeabilidad (metodología de permeámetro de carga constante) se toman 10 muestras por punto de muestreo, correspondiendo a cinco (5) muestras en cada profundidad (una con cuatro repeticiones), mediante un tubo de PVC de un diámetro y longitud de 5 cm. Este volumen de suelo es extraído de manera tal que no se afecte la densidad de las muestras, es decir, manteniendo las condiciones originales de terreno.

9.1.4.2 Análisis de laboratorio

Los análisis de las muestras de suelo del monitoreo de invierno 2024 (M17) y verano 2025 (M18) se realizaron en cinco laboratorios; tres de ellos (ALS Life Sciences Chile, Hidrolab y ANAM S.A.), se encuentran acreditados como ETFA. Los otros dos laboratorios, que no requieren ser ETFA, dado que las variables analizadas aún no están acreditadas como exigencia de ETFA,[28] son el laboratorio de física de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile (para permeabilidad) y AGROLAB (para N disponible y salinidad). Este último laboratorio, que es específico para análisis de suelo, se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (**Ver Anexo Acreditaciones SMA empresas ETFAs y Anexo 1 Suelos o Sustrato**).

En la **Tabla N° 9-3,** se indican las metodologías utilizadas por los laboratorios para determinar los distintos parámetros evaluados en este subcomponente.

Tabla N° 9-3. Parámetros evaluados y método de análisis para monitoreos M17 y M18. Componente Suelo.

PARÁMETRO	LABORATORIO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Conductividad eléctrica (µS/cm)	ANAM (ETFA)	MQC000054 rev 5, basado en TMECC, 2002 04.10-A, Extracción sólido-agua, con relación 1:5, Conductivímetro
pH	ANAM (ETFA)	MQC000055, Rev.05, basado en TMECC 04.11-2002
Materia orgánica (%)	ANAM (ETFA)	MQC000059 rev 05, basado en TMECC, 2002
Humedad (%)	ANAM (ETFA)	MQC000056, Rev.09 basado en Standard Methods for teh Examination of Water and Wastewater Ed. 23, 2017
Fósforo* (mg/kg)	Hidrolab (ETFA)	CNA 6.1.

[28] Revisión del listado ETFA 6 de marzo 2023

PARÁMETRO	LABORATORIO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Potasio* (mg/kg)	ANAM (ETFA)	3120. B. Inductively Coupled Plasma (ICP) Method.
Nitrógeno *(mg/kg)	AGROLAB	Digestión Kjeldahl modificada. Procedimiento de CNA - Método 14.1-N(1)
Conductividad hidráulica (permeabilidad) (cm/h)	Fac. Agronomía - U. de Chile	Permeámetro de carga constante
Salinidad (mg/lt base seca)	AGROLAB	Extracto de saturación y determinación por espectrofotometría de absorción atómica con lantano. Procedimiento de CNA - Método 4.2-Ca, Mg, K, Na
Textura	ALS (ETFA)	QWI-IO-TEXT-01 (Issue A Modification 0).

* Para N, P, K, corresponde a concentraciones disponibles, no totales. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se listan los cambios de laboratorio para todo el período de seguimiento del PMB, de los siguientes parámetros y monitoreos, para ser considerado en el análisis de resultados.

- Conductividad eléctrica y pH: en M2 pasan de DICTUC a ALS Life Sciences Chile y en M17 pasan a ANAM.
- Salinidad: en M2 pasan de DICTUC a AGROLAB y luego permanece sin cambios.
- Materia orgánica: en M2 pasa de DICTUC a SGS; en M7 pasa de SGS a ANAM; en M13 pasa a ALS Life Sciences Chile; y en M17 pasa a ANAM.
- Nitrógeno disponible: en M7 pasa de SGS a AGROLAB.
- Potasio disponible: en M7 pasan de SGS a ANAM; en M14 pasan a ALS Life Sciences Chile; y en M17 pasa a ANAM.
- Fósforo disponible: en M7 pasan de SGS a ANAM; en M14 pasan a ALS Life Sciences Chile; y en M17 pasa a Hidrolab.
- Humedad: en M7 pasa de SGS a ANAM; en M13 pasa a ALS Life Sciences Chile; y en M17 pasa a ANAM.
- Textura: en M2 pasa de SGS a AGROLAB y en M13 pasa a ALS Life Sciences Chile.
- Conductividad hidráulica permanece sin cambios.

9.1.4.3 Análisis de resultados

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

9.1.4.4 Materiales y equipos utilizados

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

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

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

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

El periodo reportado en el presente informe anual corresponde al monitoreo semestral de invierno realizado entre los 25 al 29 de agosto de 2024, llamado en adelante Monitoreo 17 (M17), como también la campaña semestral de verano, realizada entre los días 12 al 14 de marzo de 2025, denominada en adelante Monitoreo 18 (M18).

9.2 RESULTADOS

9.2.1 Resultados campaña de invierno 2024 (M17)

A continuación, se presentan los resultados agrupados de acuerdo con el tipo de análisis y toma de datos desarrollados. Los resultados se ordenan por sector y luego por estrata dentro de cada Punto de Muestreo.

- Conductividad Eléctrica, Salinidad, pH
- Materia Orgánica y Nutrientes (Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles)
- Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático.

9.2.1.1 Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Conductividad Eléctrica**, **Salinidad** y **pH**. Monitoreo Invierno 2024, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto (ej. S 3-1 y S 3-2).

Tabla N° 9-4. Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH. Monitoreo Invierno 2024.

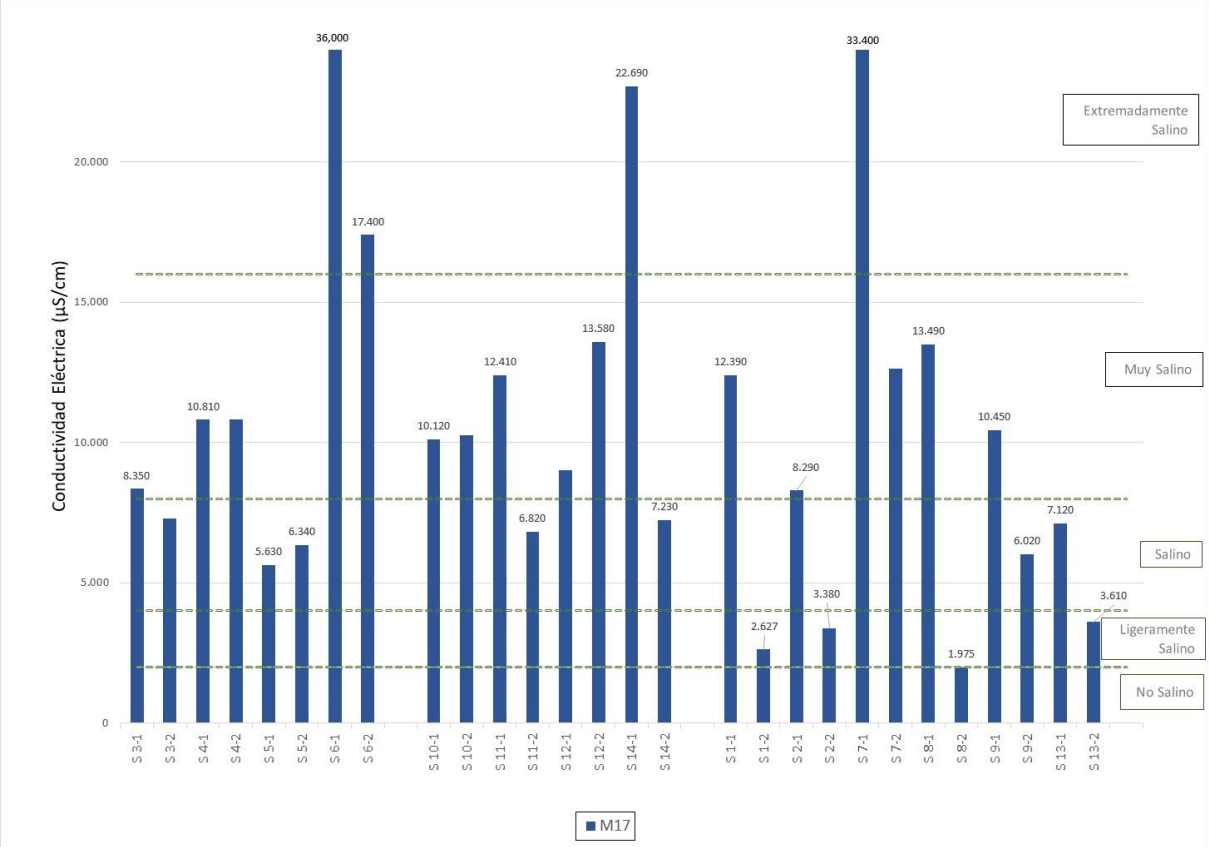
Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad eléctrica		Salinidad	pH	
		Valor (µS/cm)	Categoría	Valor (mg/lt)	Valor	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	8.350	Muy salino	19.252	7,8	Medianamente básico
	S 3-2	7.280	Salino	12.794	7,8	Medianamente básico
	S 4-1	10.810	Muy salino	19.885	8,1	Moderadamente básico
	S 4-2	10.810	Muy salino	17.319	7,8	Medianamente básico
	S 5-1	5.630	Salino	10.453	8,4	Moderadamente básico
	S 5-2	6.340	Salino	13.726	8,1	Moderadamente básico
	S 6-1	36.000	Extremadamente salino	81.897	7,8	Medianamente básico
	S 6-2	17.400	Extremadamente salino	52.378	7,7	Medianamente básico
Peine	S 10-1	10.120	Muy salino	18.103	9,0	Ligeramente alcalino
	S 10-2	10.250	Muy salino	19.072	8,8	Ligeramente alcalino
	S 11-1	12.410	Muy salino	27.789	8,1	Moderadamente básico
	S 11-2	6.820	Salino	19.438	7,7	Medianamente básico
	S 12-1	9.000	Muy salino	15.752	8,6	Ligeramente alcalino
	S 12-2	13.580	Muy salino	31.892	8,9	Ligeramente alcalino
	S 14-1	22.690	Extremadamente salino	35.568	8,8	Ligeramente alcalino

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad eléctrica		Salinidad	pH	
		Valor (µS/cm)	Categoría	Valor (mg/lt)	Valor	Categoría
	S 14-2	7.230	Salino	15.671	8,1	Moderadamente básico
Tilopozo	S 1-1	12.390	Muy salino	29.041	9,1	Alcalino
	S 1-2	2.627	Ligeramente salino	6.672	9,1	Alcalino
	S 2-1	8.290	Muy salino	12.352	8,7	Ligeramente alcalino
	S 2-2	3.380	Ligeramente salino	5.882	8,8	Ligeramente alcalino
	S 7-1	33.400	Extremadamente	59.273	8,3	Moderadamente básico
	S 7-2	12.630	Muy salino	20.071	8,3	Moderadamente básico
	S 8-1	13.490	Muy salino	32.244	8,0	Moderadamente básico
	S 8-2	1.975	No salino	4.020	8,2	Moderadamente básico
	S 9-1	10.450	Muy salino	17.836	8,0	Moderadamente básico
	S 9-2	6.020	Salino	13.549	8,1	Moderadamente básico
	S 13-1	7.120	Salino	17.327	8,7	Ligeramente alcalino
	S 13-2	3.610	Ligeramente salino	2.379	8,4	Moderadamente básico

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1_Suelos_Vol 1_PMB_Anual N9.

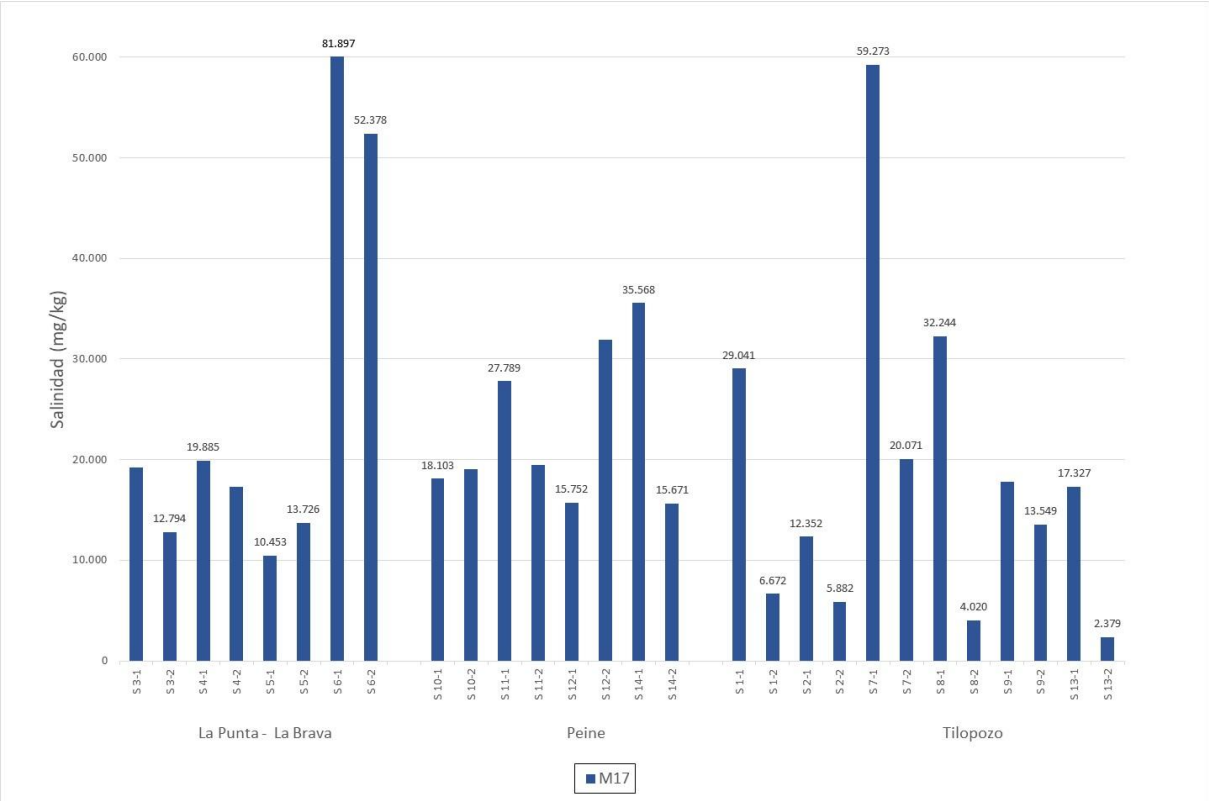
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

Figura N° 9-2. Resultados Conductividad Eléctrica, Campaña Invierno M17.



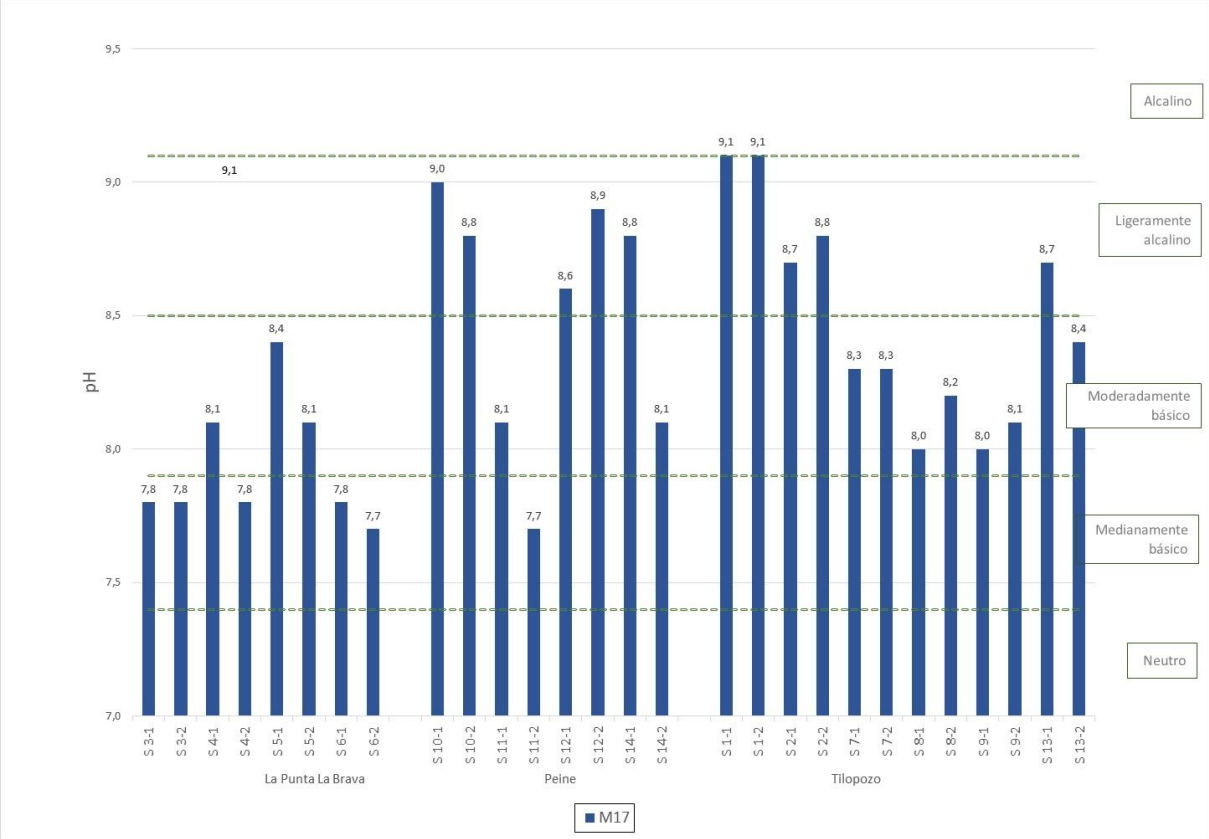
Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-3. Resultados Salinidad, Campaña Invierno M17.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-4. Resultados pH, Campaña Invierno M17.



Fuente: Elaboración Propia.

9.2.1.2 Materia Orgánica y Nutrientes (Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Materia Orgánica, Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles** para el Monitoreo Invierno 2024, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto.

Tabla N° 9-5. Materia Orgánica y Nitrógeno disponible. Invierno 2024 (M17).

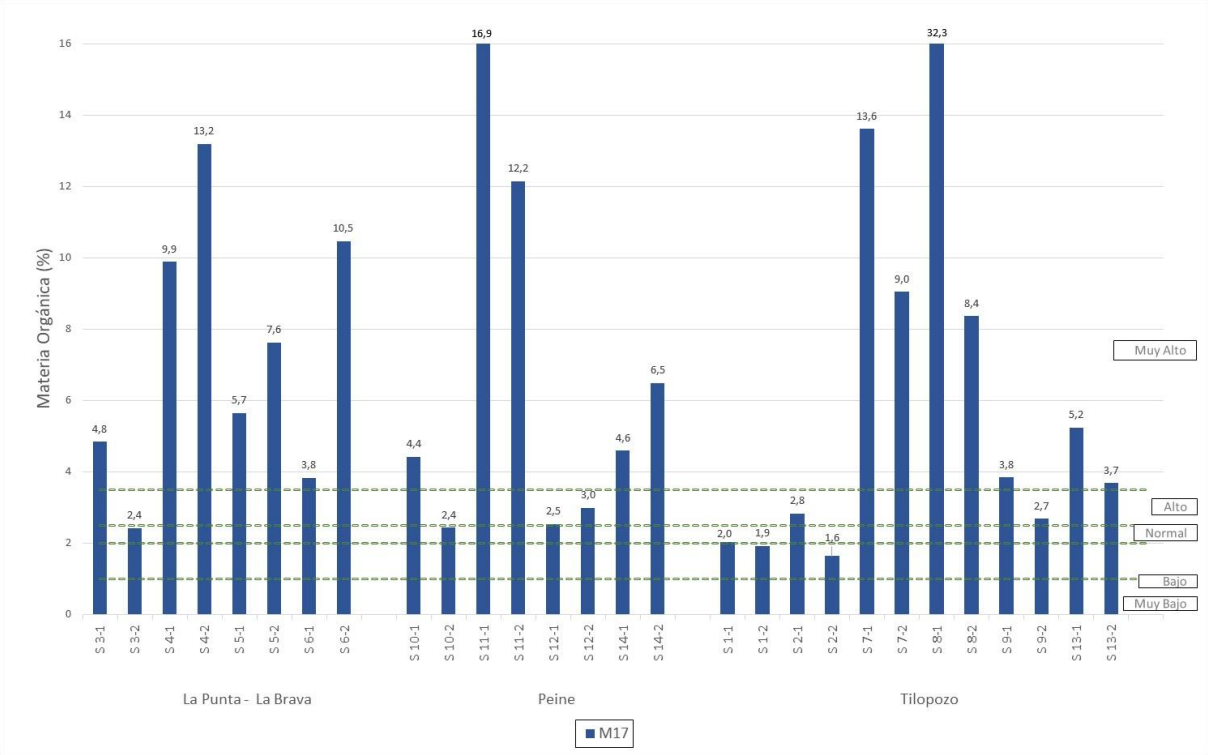
Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Materia orgánica		Nitrógeno disponible	
		Valor (%)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	4,84	Muy Alto	28	Medio
	S 3-2	2,42	Normal	20	Bajo
	S 4-1	9,88	Muy Alto	51	Alto

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Materia orgánica		Nitrógeno disponible	
		Valor (%)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
	S 4-2	13,19	Muy Alto	62	Muy Alto
	S 5-1	5,65	Muy Alto	44	Alto
	S 5-2	7,6	Muy Alto	48	Alto
	S 6-1	3,8	Muy Alto	36	Medio
	S 6-2	10,5	Muy Alto	49	Alto
Peine	S 10-1	4,4	Muy Alto	18	Bajo
	S 10-2	2,4	Normal	35	Medio
	S 11-1	16,9	Muy Alto	65	Muy Alto
	S 11-2	12,2	Muy Alto	68	Muy Alto
	S 12-1	2,5	Normal	29	Medio
	S 12-2	3,0	Alto	32	Medio
	S 14-1	4,6	Muy Alto	21	Medio
	S 14-2	6,5	Muy Alto	43	Alto
Tilopozo	S 1-1	2,0	Normal	19	Bajo
	S 1-2	1,9	Bajo	17	Bajo
	S 2-1	2,8	Alto	21	Medio
	S 2-2	1,6	Bajo	24	Medio
	S 7-1	13,6	Muy Alto	53	Alto
	S 7-2	9,0	Muy Alto	42	Alto
	S 8-1	32,3	Muy Alto	38	Medio
	S 8-2	8,4	Muy Alto	55	Alto
	S 9-1	3,8	Muy Alto	26	Medio
	S 9-2	2,7	Alto	24	Medio
	S 13-1	5,2	Muy Alto	38	Medio
	S 13-2	3,7	Muy Alto	30	Medio

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1_Suelos_Vol 1_PMB_Anual N9.

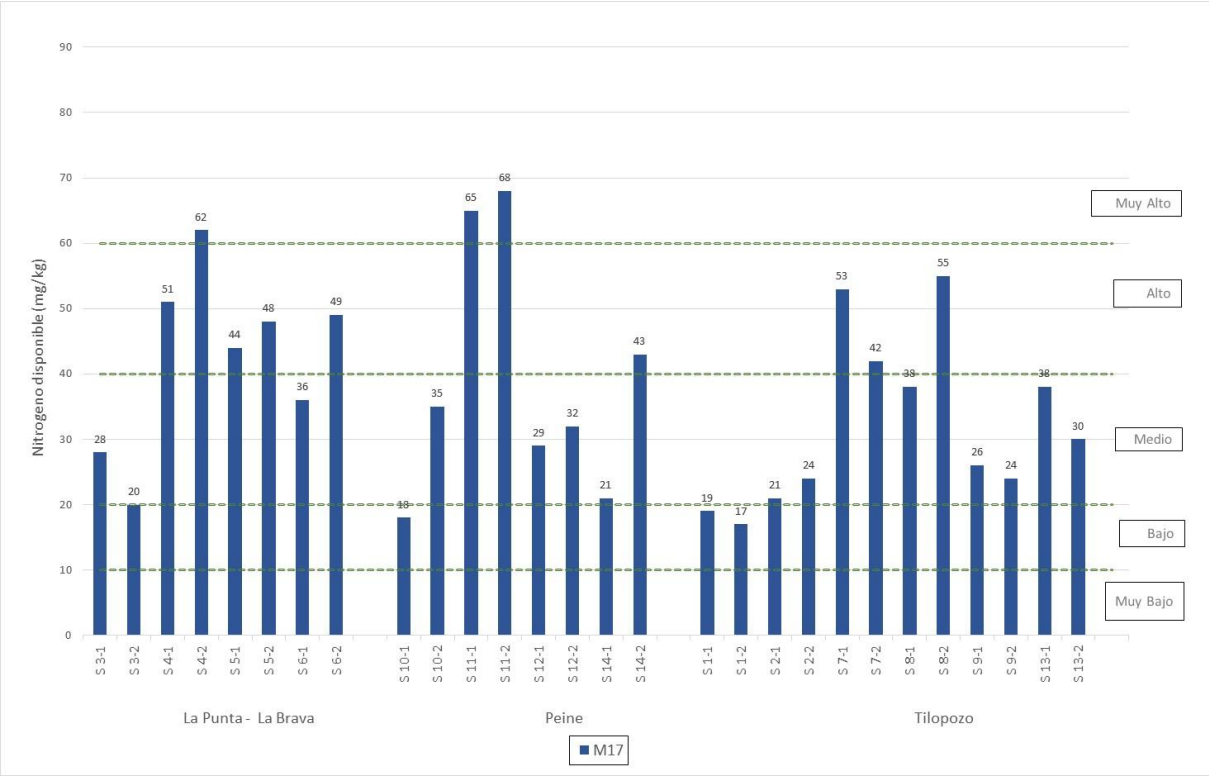
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

Figura N° 9-5. Resultados Materia Orgánica, Campaña Invierno M17.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-6. Resultados Nitrógeno disponible, Campaña Invierno M17.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 9-6. Potasio y Fósforo disponibles. Invierno 2024 (M17).

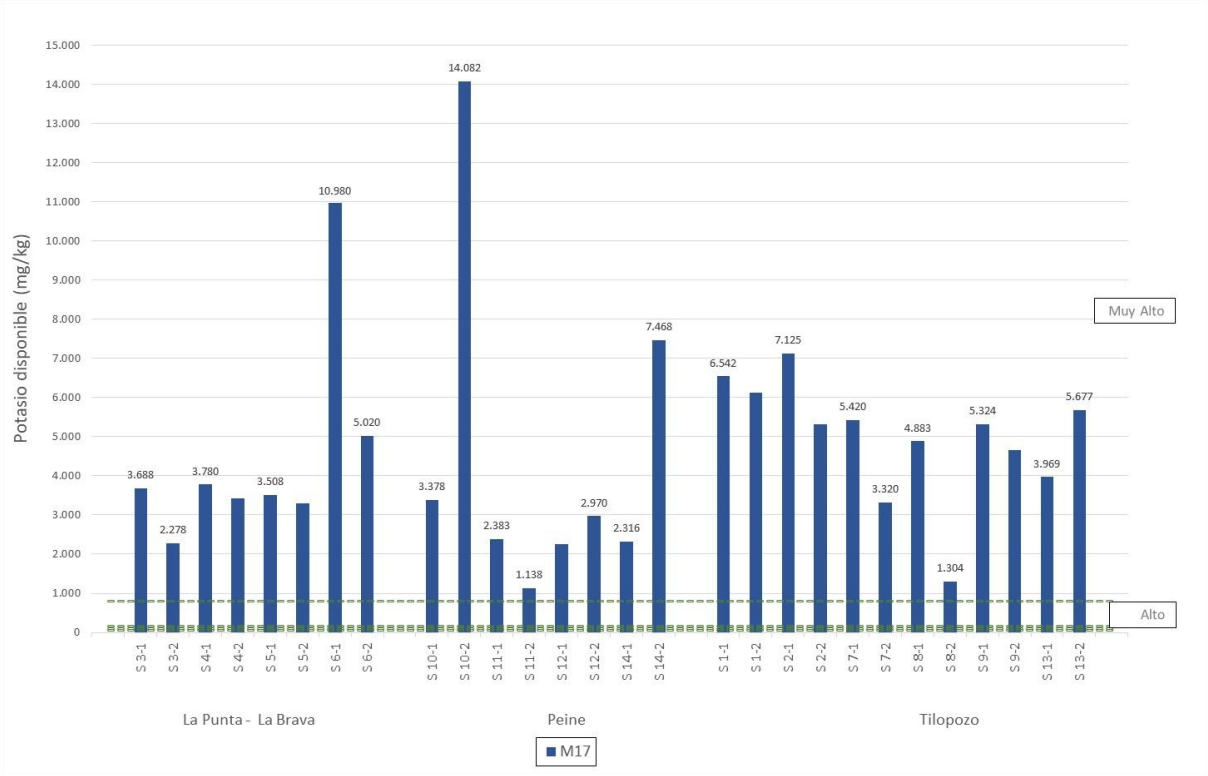
Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Potasio disponible		Fósforo disponible	
		Valor (mg/kg)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	3.688	Muy Alto	82,6	Muy Alto
	S 3-2	2.278	Muy Alto	171,0	Muy Alto
	S 4-1	3.780	Muy Alto	29,6	Alto
	S 4-2	3.421	Muy Alto	11,0	Medio
	S 5-1	3.508	Muy Alto	4,9	Muy Bajo
	S 5-2	3.292	Muy Alto	31,9	Muy Alto
	S 6-1	10.980	Muy Alto	9,0	Bajo
	S 6-2	5.020	Muy Alto	31,3	Muy Alto
Peine	S 10-1	3.378	Muy Alto	12,1	Medio
	S 10-2	14.082	Muy Alto	6,4	Bajo
	S 11-1	2.383	Muy Alto	47,4	Muy Alto
	S 11-2	1.138	Muy Alto	75,3	Muy Alto
	S 12-1	2.247	Muy Alto	4,3	Muy Bajo

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Potasio disponible		Fósforo disponible	
		Valor (mg/kg)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
	S 12-2	2.970	Muy Alto	7,8	Bajo
	S 14-1	2.316	Muy Alto	12,6	Medio
	S 14-2	7.468	Muy Alto	120,0	Muy Alto
Tilopozo	S 1-1	6.542	Muy Alto	4,8	Muy Bajo
	S 1-2	6.124	Muy Alto	5,1	Bajo
	S 2-1	7.125	Muy Alto	5,4	Bajo
	S 2-2	5.316	Muy Alto	5,4	Bajo
	S 7-1	5.420	Muy Alto	19,4	Medio
	S 7-2	3.320	Muy Alto	8,2	Bajo
	S 8-1	4.883	Muy Alto	147	Muy Alto
	S 8-2	1.304	Muy Alto	9,4	Bajo
	S 9-1	5.324	Muy Alto	14,5	Medio
	S 9-2	4.666	Muy Alto	110	Muy Alto
	S 13-1	3.969	Muy Alto	8,4	Bajo
	S 13-2	5.677	Muy Alto	44,8	Muy Alto

. Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1_Suelos_Vol 1_PMB_Anual N9.

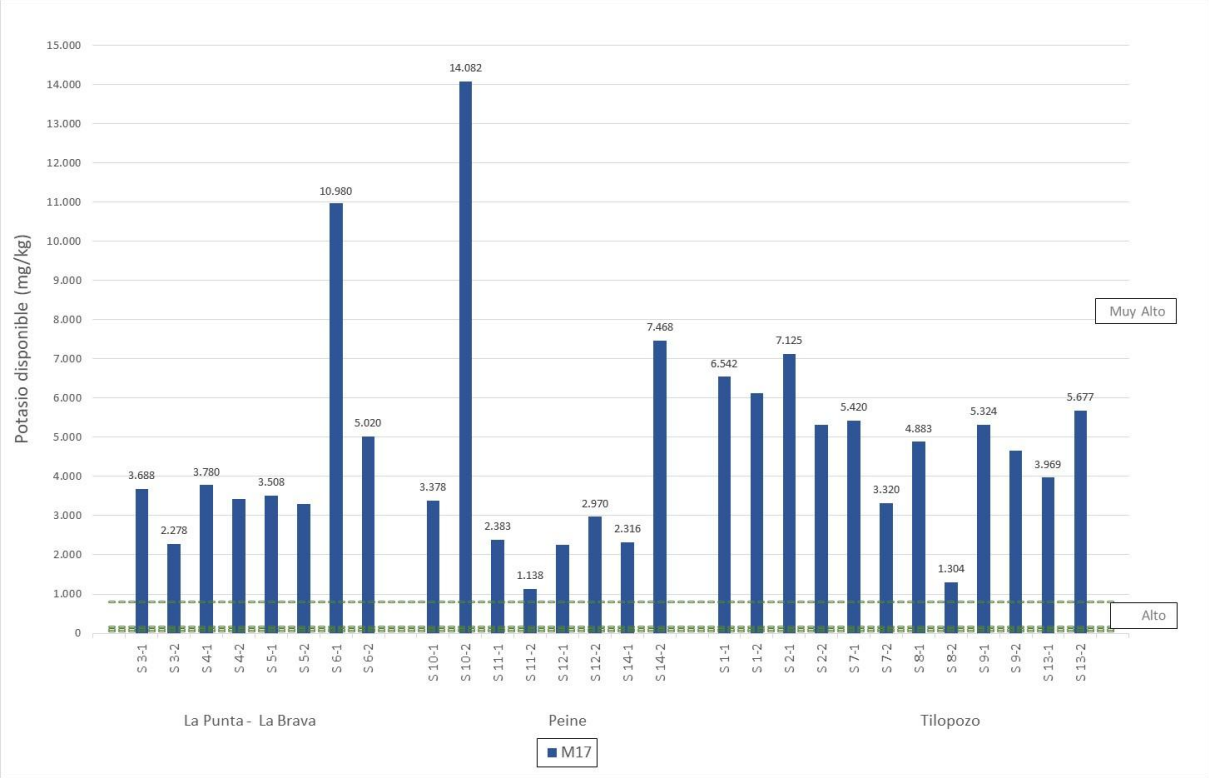
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

Figura N° 9-7. Resultados Potasio disponible, Campaña Invierno M17.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-8. Resultados Fósforo disponible, Campaña Invierno M17.



Fuente: Elaboración Propia.

9.2.1.3 Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático** disponibles para el Monitoreo Invierno 2024, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto, excepto para Nivel freático, que presenta una medida por cada punto de muestreo. El valor de Nivel Freático corresponde a lo descrito en terreno al momento de la toma de muestra para cada monitoreo.

Tabla N° 9-7. Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático. Invierno 2024.

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad hidráulica		Humedad	Clase textural		Nivel Freático
		Valor (cm/hr)	Categoría	Valor (%)	Clase (*)	Categoría	Profundidad (cm)
La Punta - La Brava	S 3-1	9,4	Alta	57,94	Fa	Moderadamente gruesa	29
	S 3-2	5,0	Alta	54,92	aF	Gruesa	
	S 4-1	1.005,1	Muy Alta	35,84	aF	Gruesa	21

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad hidráulica		Humedad	Clase textural		Nivel Freático
		Valor (cm/hr)	Categoría	Valor (%)	Clase (*)	Categoría	Profundidad (cm)
	S 4-2	4,0	Alta	55,65	aF	Gruesa	
	S 5-1	407,0	Muy Alta	36,18	a	Gruesa	10
	S 5-2	99,0	Muy Alta	33,71	a	Gruesa	
	S 6-1	36,5	Muy Alta	51,38	aF	Gruesa	43
	S 6-2	5,3	Alta	73,37	FAa	Moderadamente fina	
Peine	S 10-1	964,6	Muy Alta	22,26	aF	Gruesa	105
	S 10-2	8,8	Alta	35,1	FA	Moderadamente fina	
	S 11-1	97,3	Muy Alta	59,43	FAa	Moderadamente fina	21
	S 11-2	1,6	Mod. Alta	64,34	Fa	Moderadamente gruesa	
	S 12-1	114,8	Muy Alta	11,93	aF	Gruesa	Sin nivel[29]
	S 12-2	5,8	Alta	12,67	Fa	Moderadamente gruesa	
	S 14-1	3.182,6	Muy Alta	26,43	aF	Gruesa	37
	S 14-2	14,9	Alta	61,94	FAa	Moderadamente fina	
Tilopozo	S 1-1	243,8	Muy Alta	12,89	Fa	Moderadamente gruesa	Sin nivel
	S 1-2	2,9	Mod. Alta	17,68	aF	Gruesa	
	S 2-1	9,4	Alta	17,26	Fa	Moderadamente gruesa	Sin nivel
	S 2-2	3,0	Mod. Alta	15,88	Fa	Moderadamente gruesa	
	S 7-1	302,0	Muy Alta	45,12	Fa	Moderadamente gruesa	118
	S 7-2	44,7	Muy Alta	49,52	FAa	Moderadamente fina	
	S 8-1	3.691,9	Muy Alta	70,94	FAa	Moderadamente fina	45
	S 8-2	3,6	Alta	53,35	Fa	Moderadamente gruesa	
	S 9-1	147,9	Muy Alta	63,6	FAa	Moderadamente fina	36
	S 9-2	148,8	Muy Alta	55,47	aF	Gruesa	
	S 13-1	151,5	Muy Alta	30,44	Fa	Moderadamente gruesa	76
	S 13-2	66,0	Muy Alta	31,7	FAa	Moderadamente fina	

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio en Anexo 1_Suelos_Vol 1_PMB_Anual N9. (*) Ver código en Tabla siguiente.

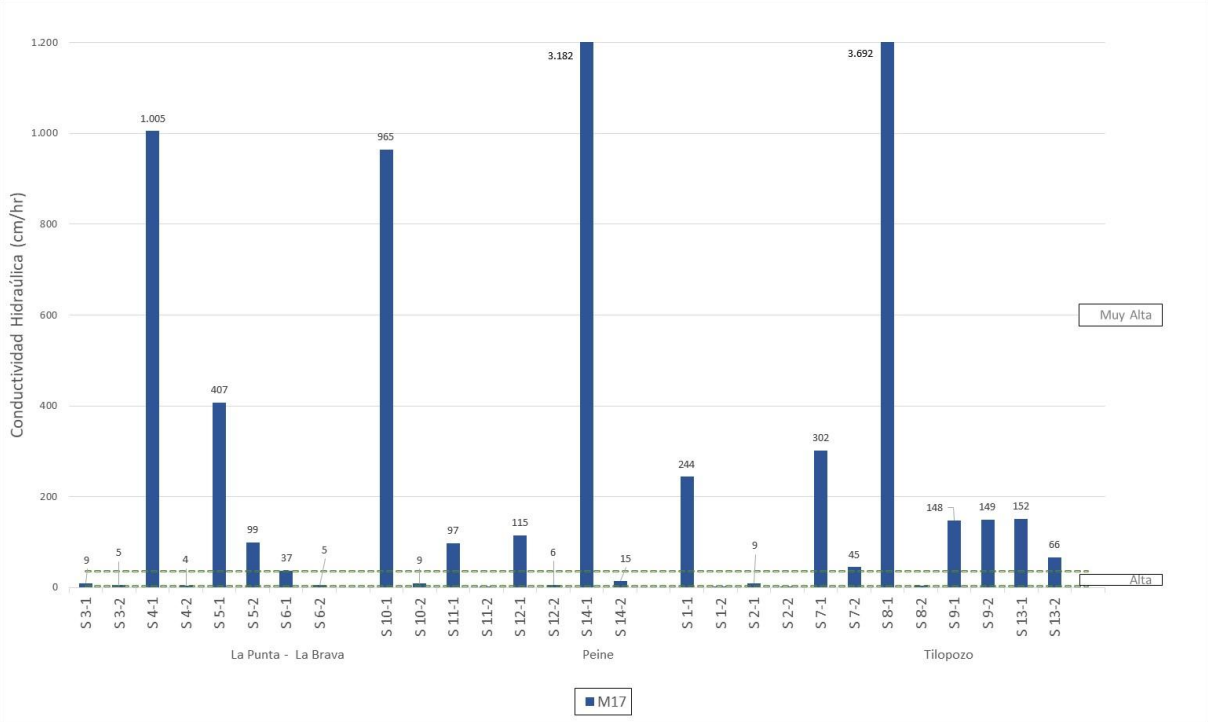
[29] Sin nivel freático a la profundidad de toma de muestra.

Tabla N° 9-8. Código textura.

a	Arenosa	Fa	Franco arenosa
A	Arcillosa	FAa	Franco arcillo arenosa
aF	Areno francosa	FAL	Franco arcillo limosa
F	Franca	FL	Franco limosa
FA	Franco arcillosa	L	Limosa
Aa	Arcillo arenosa		

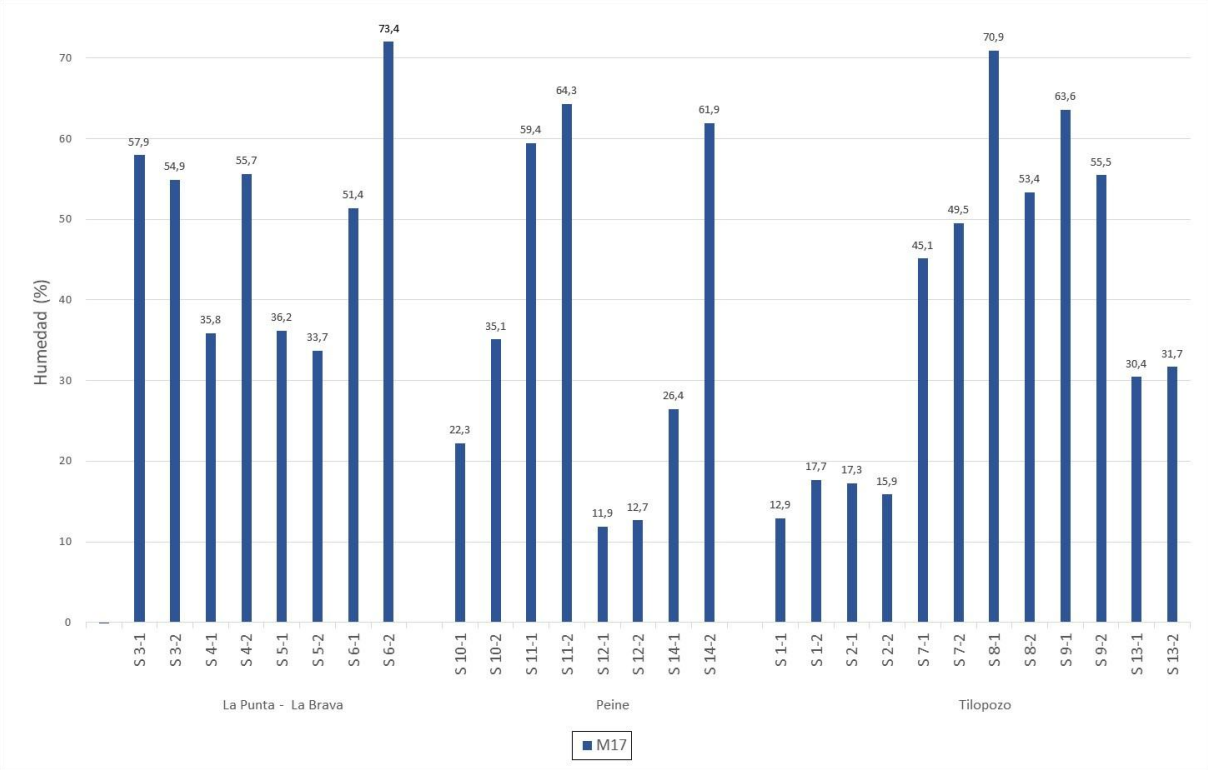
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

Figura N° 9-9. Resultados Conductividad hidráulica, Campaña Invierno M17.



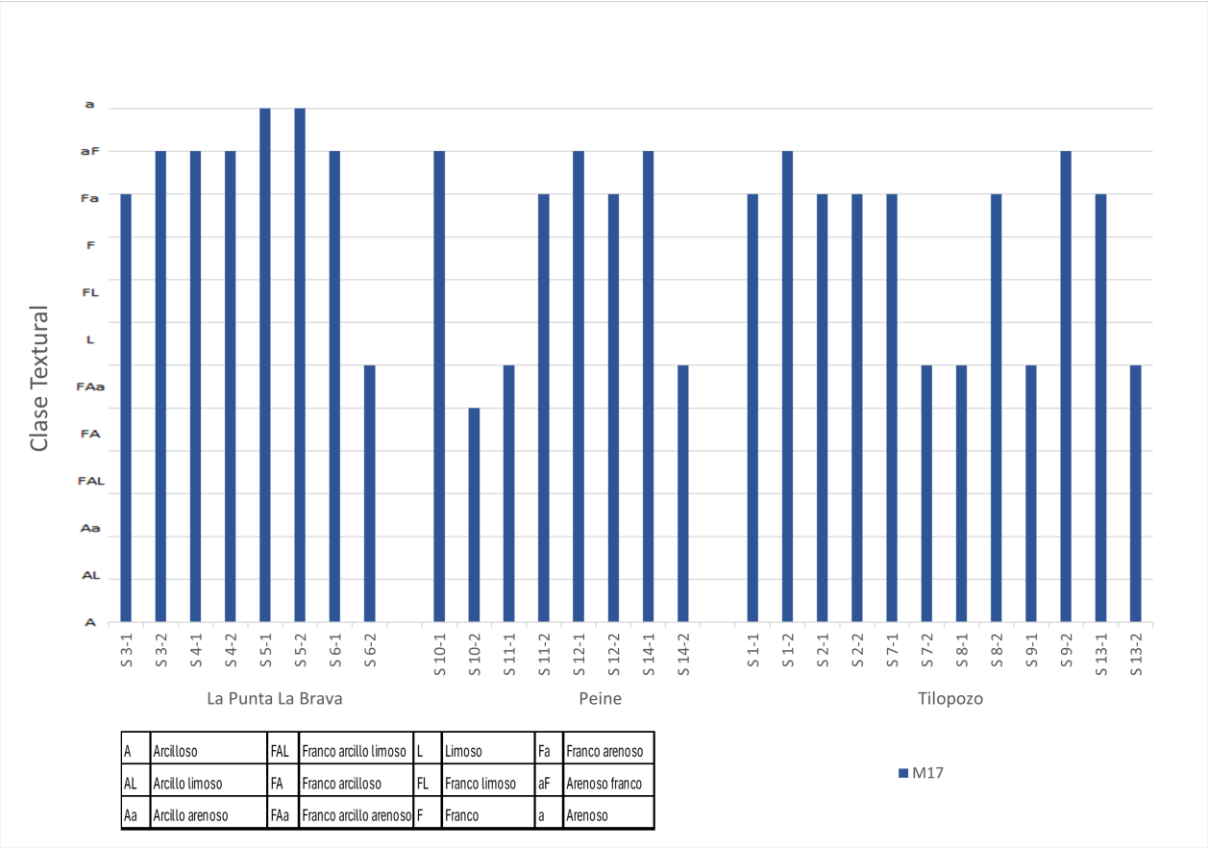
Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-10. Resultados Humedad, Campaña Invierno M17.



Fuente: Elaboración Propia.

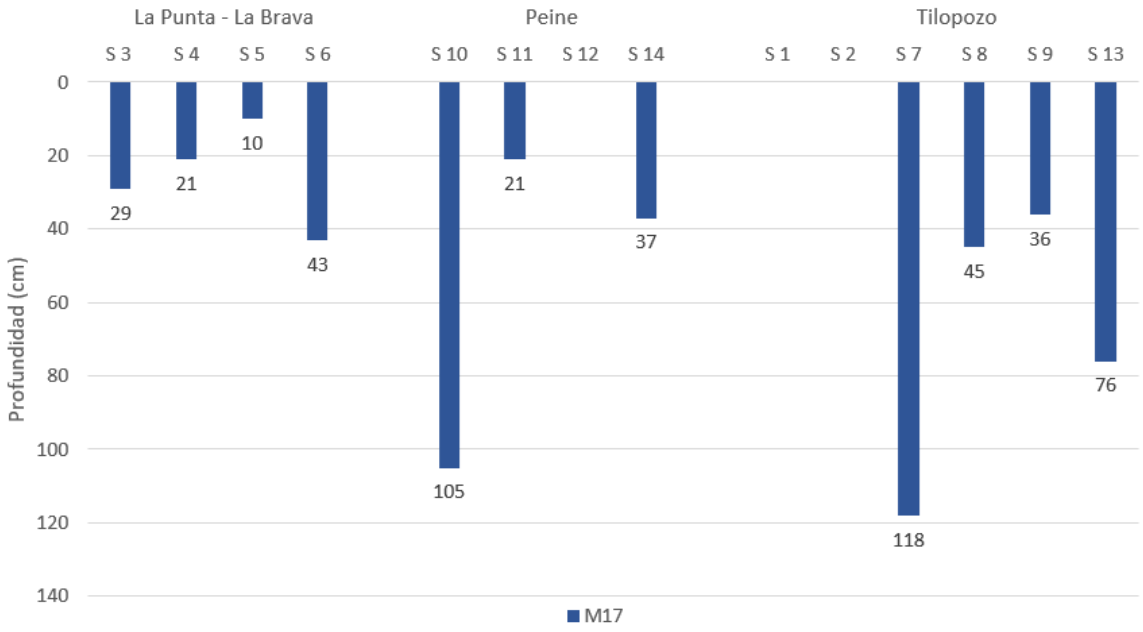
Figura N° 9-11. Resultados Clase textural, Campaña Invierno M17.



A	Arcilloso	FAL	Franco arcillo limoso	L	Limoso	Fa	Franco arenoso
AL	Arcillo limoso	FA	Franco arcilloso	FL	Franco limoso	aF	Arenoso franco
Aa	Arcillo arenoso	FAa	Franco arcillo arenoso	F	Franco	a	Arenoso

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-12. Resultados Nivel Freático, Campaña Invierno M17.



Fuente: Elaboración Propia. Monitoreos sin datos corresponden a ausencia de nivel freático (S1 S2 y S12).

9.2.2 Resultados campaña de verano 2025 (M18)

A continuación, se presentan los resultados agrupados de acuerdo con el tipo de análisis y toma de datos desarrollados. Los resultados se ordenan por sector y luego por estrata dentro de cada Punto de Muestreo.

- Conductividad Eléctrica, Salinidad, pH
- Materia Orgánica y Nutrientes (Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles)
- Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático.

9.2.2.1 Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Conductividad Eléctrica**, **Salinidad** y **pH**. Monitoreo Verano 2025, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto (ej. S 3-1 y S 3-2).

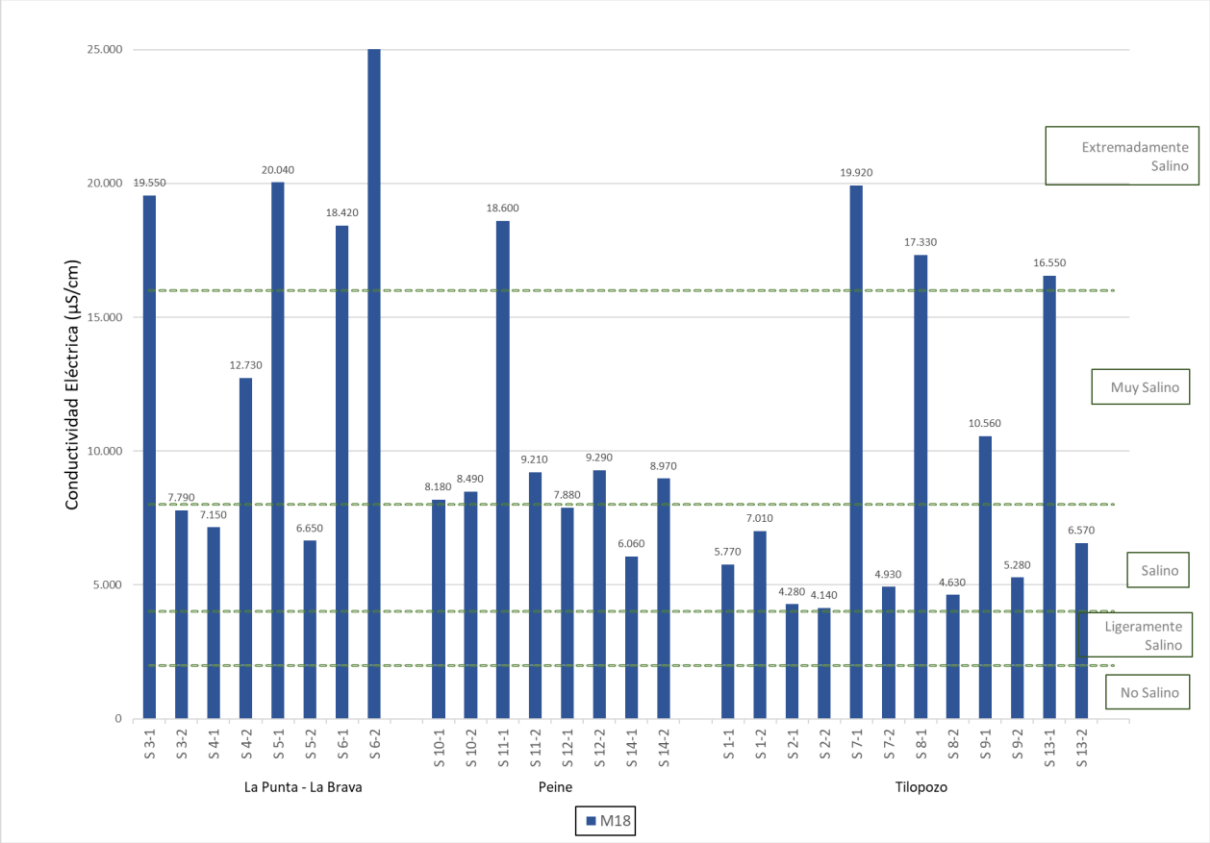
Tabla N° 9-9. Conductividad Eléctrica, Salinidad y pH. Monitoreo Verano 2025.

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad eléctrica		Salinidad	pH	
		Valor (µS/cm)	Categoría	Valor (mg/lt)	Valor	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	19.550	Extremadamente salino	23.207	7,8	Medianamente alcalino
	S 3-2	7.790	Salino	10.421	7,9	Medianamente alcalino
	S 4-1	7.150	Salino	11.338	8,3	Moderadamente alcalino
	S 4-2	12.730	Muy salino	19.426	8	Moderadamente alcalino
	S 5-1	20.040	Extremadamente salino	35.978	7,9	Medianamente alcalino
	S 5-2	6.650	Salino	4.982	8,3	Moderadamente alcalino
	S 6-1	18.420	Extremadamente salino	40.038	7,7	Medianamente alcalino
	S 6-2	31.200	Extremadamente salino	39.190	7,5	Medianamente alcalino
Peine	S 10-1	8.180	Muy salino	10.347	8,7	Ligeramente alcalino
	S 10-2	8.490	Muy salino	17.533	8,5	Moderadamente alcalino
	S 11-1	18.600	Extremadamente salino	41.205	7,6	Medianamente alcalino
	S 11-2	9.210	Muy salino	18.822	8	Moderadamente alcalino
	S 12-1	7.880	Salino	13.293	8,6	Ligeramente alcalino
	S 12-2	9.290	Muy salino	10.443	8,3	Moderadamente alcalino
	S 14-1	6.060	Salino	16.532	8,3	Moderadamente alcalino
	S 14-2	8.970	Muy salino	10.778	8,9	Ligeramente alcalino
Tilopozo	S 1-1	5.770	Salino	7.119	8,6	Ligeramente alcalino
	S 1-2	7.010	Salino	5.640	8,8	Ligeramente alcalino
	S 2-1	4.280	Salino	5.840	8,3	Moderadamente alcalino
	S 2-2	4.140	Salino	2.338	8,2	Moderadamente alcalino
	S 7-1	19.920	Extremadamente salino	26.854	8,1	Moderadamente alcalino
	S 7-2	4.930	Salino	9.185	7,8	Medianamente alcalino
	S 8-1	17.330	Extremadamente salino	32.654	7,7	Medianamente alcalino
	S 8-2	4.630	Salino	8.472	8	Moderadamente alcalino
	S 9-1	10.560	Muy salino	20.559	8,2	Moderadamente alcalino
	S 9-2	5.280	Salino	8.363	8,7	Ligeramente alcalino
	S 13-1	16.550	Extremadamente salino	15.442	9	Ligeramente alcalino
	S 13-2	6.570	Salino	1.593	8,9	Ligeramente alcalino

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1_Suelos_Vol 1_PMB_Anual N9.

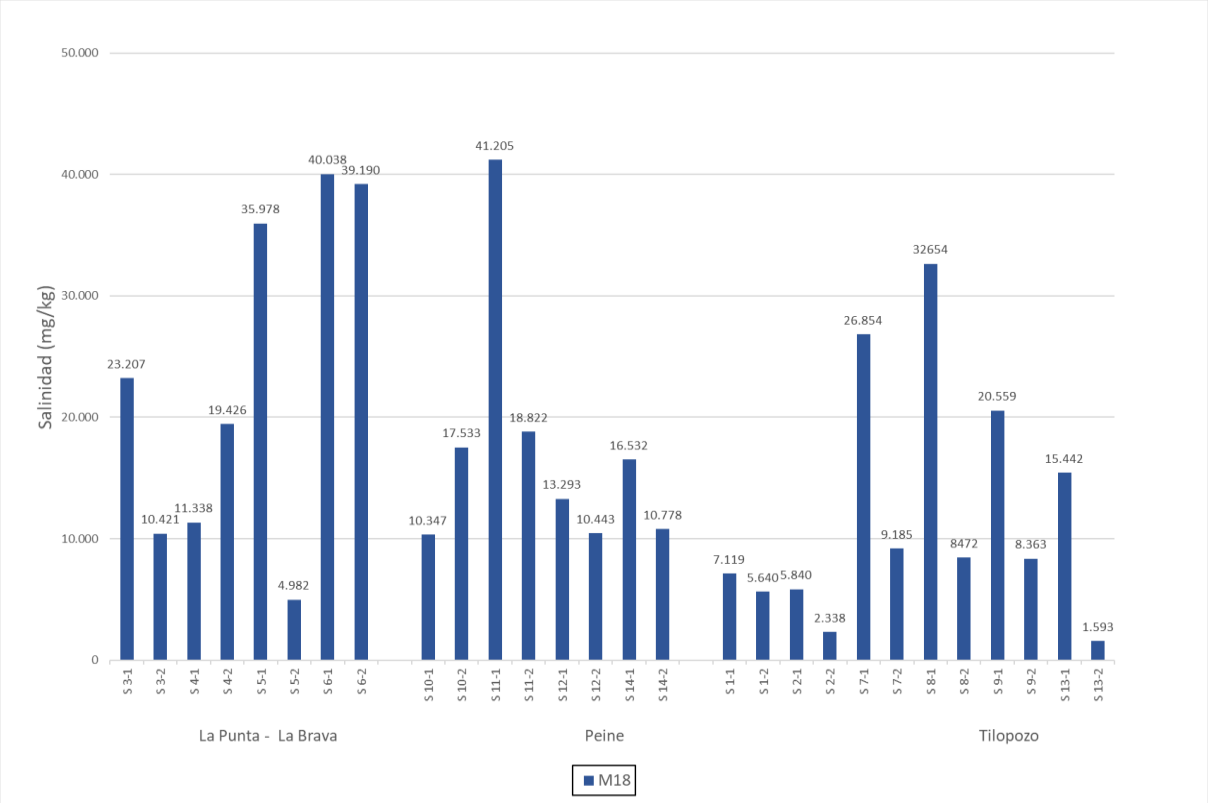
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

Figura N° 9-13. Resultados Conductividad Eléctrica, Campaña Verano M18.



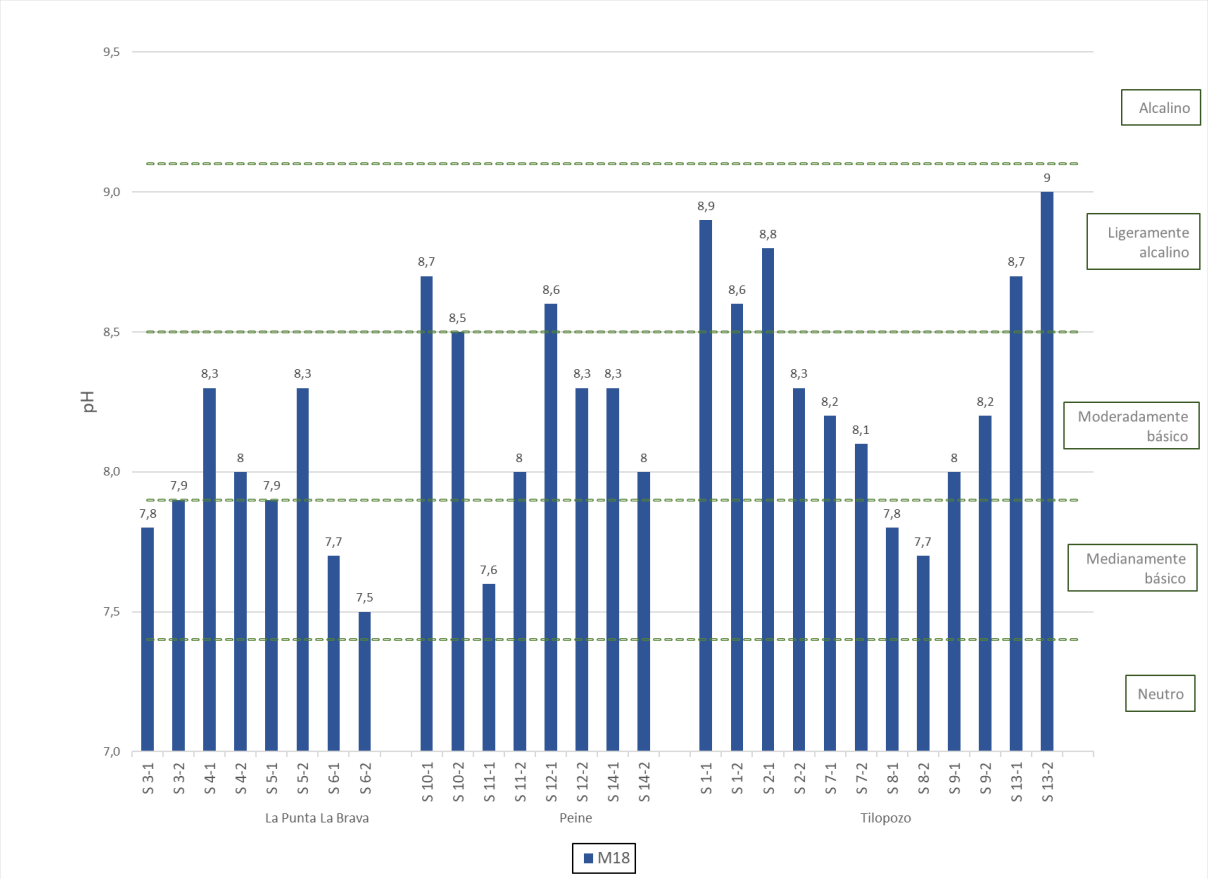
Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-14. Resultados Salinidad, Campaña Verano M18.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-15. Resultados pH, Campaña Verano M18.



Fuente: Elaboración Propia.

9.2.2.2 Materia Orgánica y Nutrientes (Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Materia Orgánica, Nitrógeno, Potasio y Fósforo disponibles** para el Monitoreo Verano 2025, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto.

Tabla N° 9-10. Materia Orgánica y Nitrógeno disponible. Verano 2024.

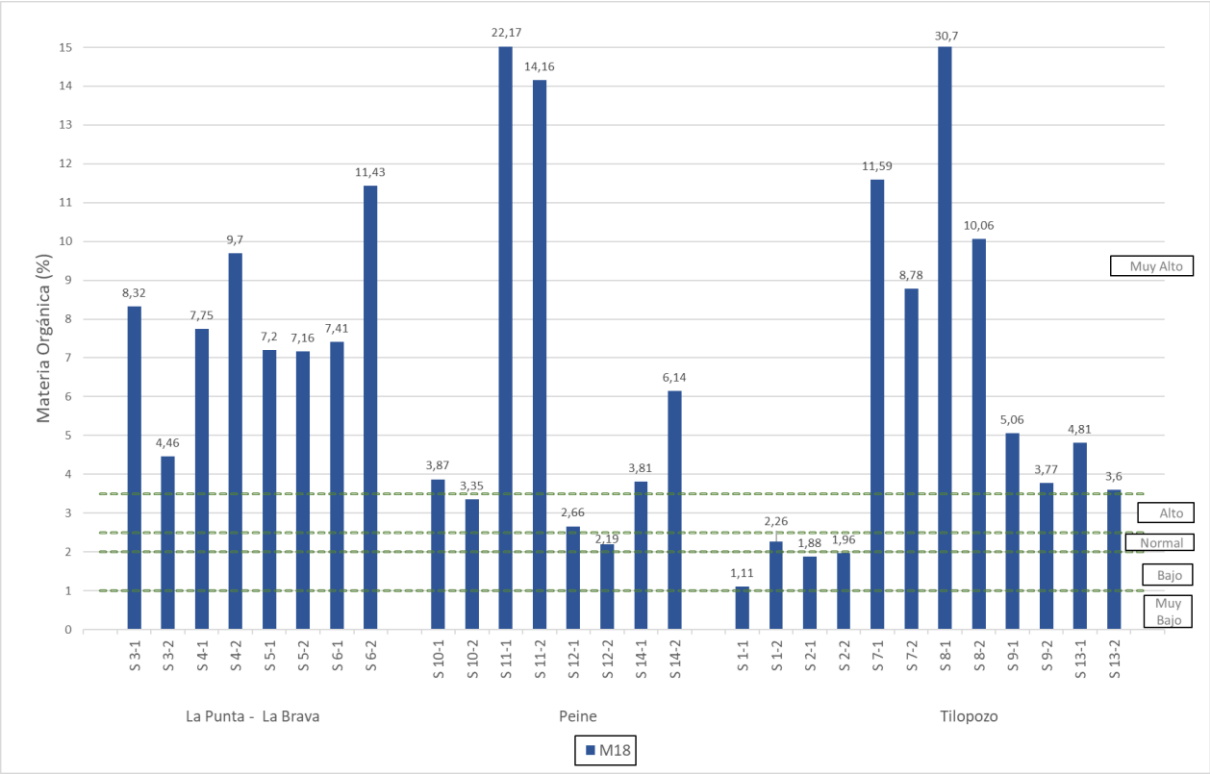
Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Materia orgánica		Nitrógeno disponible	
		Valor (%)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	8,32	Muy alto	21	Normal
	S 3-2	4,46	Muy alto	19	Bajo

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Materia orgánica		Nitrógeno disponible	
		Valor (%)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
	S 4-1	7,75	Muy alto	40	Normal
	S 4-2	9,7	Muy alto	51	Alto
	S 5-1	7,2	Muy alto	44	Alto
	S 5-2	7,16	Muy alto	30	Normal
	S 6-1	7,41	Muy alto	37	Normal
	S 6-2	11,43	Muy alto	55	Alto
Peine	S 10-1	3,87	Muy alto	17	Bajo
	S 10-2	3,35	Alto	28	Normal
	S 11-1	22,17	Muy alto	55	Alto
	S 11-2	14,16	Muy alto	47	Alto
	S 12-1	2,66	Alto	24	Normal
	S 12-2	2,19	Normal	21	Normal
	S 14-1	3,81	Muy alto	18	Bajo
	S 14-2	6,14	Muy alto	30	Normal
Tilopozo	S 1-1	1,11	Bajo	17	Bajo
	S 1-2	2,26	Normal	18	Bajo
	S 2-1	1,88	Bajo	16	Bajo
	S 2-2	1,96	Bajo	17	Bajo
	S 7-1	11,59	Muy alto	40	Normal
	S 7-2	8,78	Muy alto	43	Alto
	S 8-1	30,7	Muy alto	65	Muy alto
	S 8-2	10,06	Muy alto	51	Alto
	S 9-1	5,06	Muy alto	30	Normal
	S 9-2	3,77	Muy alto	24	Normal
	S 13-1	4,81	Muy alto	25	Normal
	S 13-2	3,6	Alto	23	Normal

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1_Suelos_Vol 1_PMB_Anual N9.

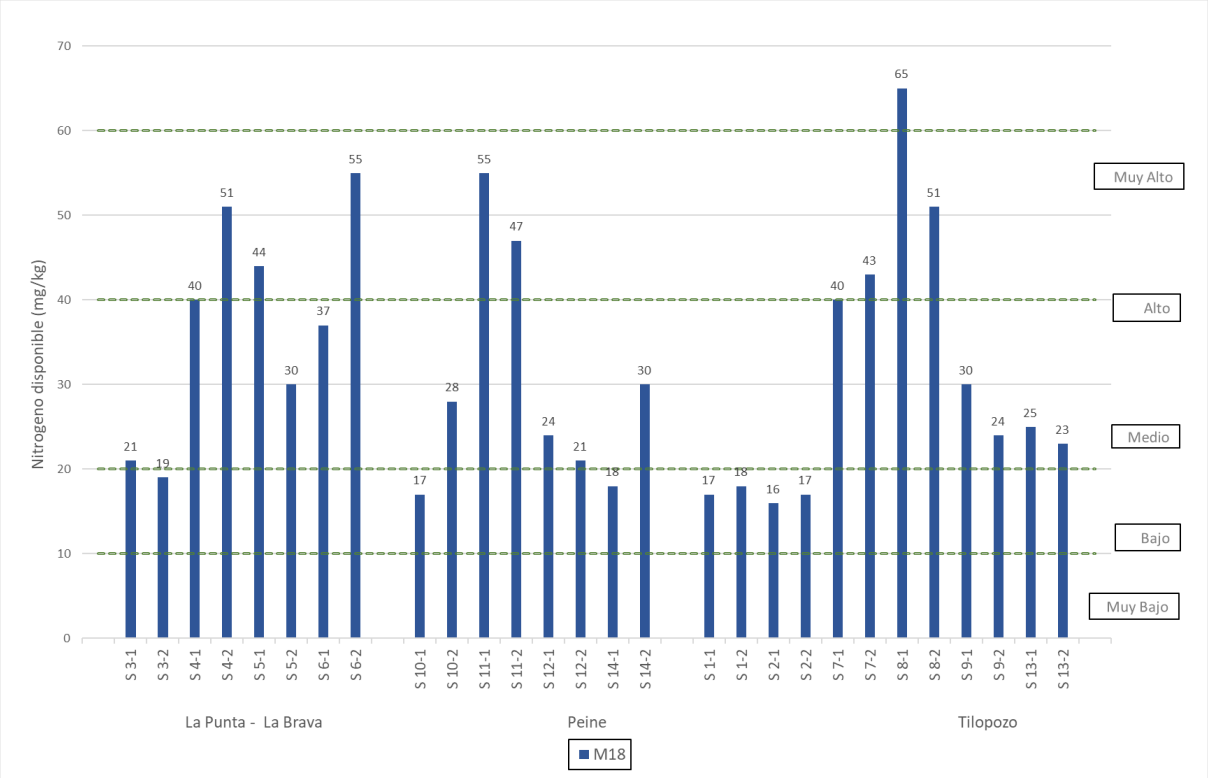
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

Figura N° 9-16. Resultados Materia Orgánica, Campaña Verano M18.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-17. Resultados Nitrógeno disponible, Campaña Verano M18.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 9-11. Potasio y Fósforo disponibles. Verano 2024.

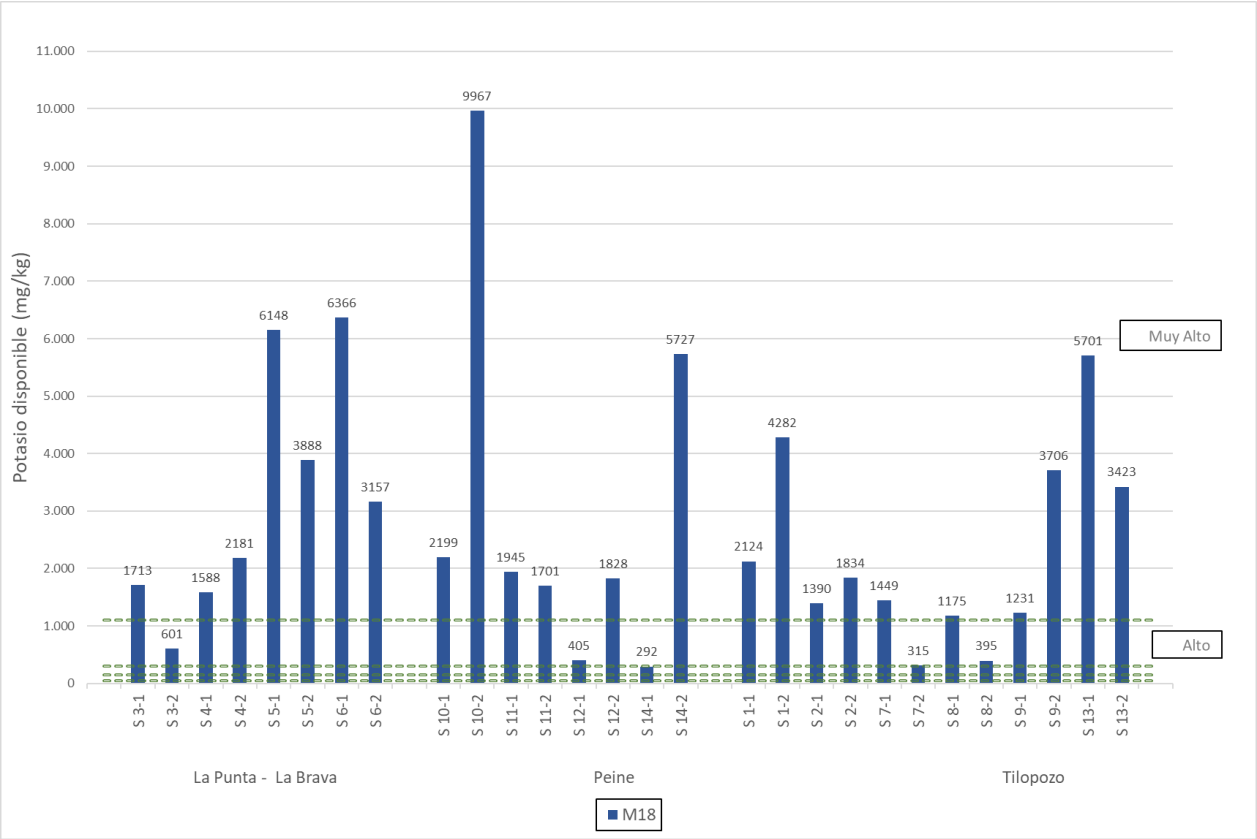
Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Potasio disponible		Fósforo disponible	
		Valor (mg/kg)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
La Punta - La Brava	S 3-1	1713	Muy alto	11,7	Medio
	S 3-2	601	Alto	37,9	Muy alto
	S 4-1	1588	Muy alto	7,6	Bajo
	S 4-2	2181	Muy alto	11,3	Medio
	S 5-1	6148	Muy alto	54,3	Muy alto
	S 5-2	3888	Muy alto	5,7	Bajo
	S 6-1	6366	Muy alto	18,6	Medio
	S 6-2	3157	Muy alto	14,3	Medio
Peine	S 10-1	2199	Muy alto	10	Bajo
	S 10-2	9967	Muy alto	9,7	Bajo
	S 11-1	1945	Muy alto	44,1	Muy alto
	S 11-2	1701	Muy alto	11	Medio
	S 12-1	405	Alto	7,2	Bajo

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Potasio disponible		Fósforo disponible	
		Valor (mg/kg)	Categoría	Valor (mg/kg)	Categoría
	S 12-2	1828	Muy alto	20,1	Alto
	S 14-1	292	Alto	37,2	Muy alto
	S 14-2	5727	Muy alto	43,8	Muy alto
Tilopozo	S 1-1	2124	Muy alto	32	Muy alto
	S 1-2	4282	Muy alto	35,7	Muy alto
	S 2-1	1390	Muy alto	23,1	Alto
	S 2-2	1834	Muy alto	39	Muy alto
	S 7-1	1449	Muy alto	39,1	Muy alto
	S 7-2	315	Alto	55,8	Muy alto
	S 8-1	1175	Muy alto	144	Muy alto
	S 8-2	395	Alto	57,2	Muy alto
	S 9-1	1231	Muy alto	28,8	Alto
	S 9-2	3706	Muy alto	47,5	Muy alto
	S 13-1	5701	Muy alto	151	Muy alto
	S 13-2	3423	Muy alto	19,7	Medio

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1 Suelos_Vol 1_PMB_Anual_N9

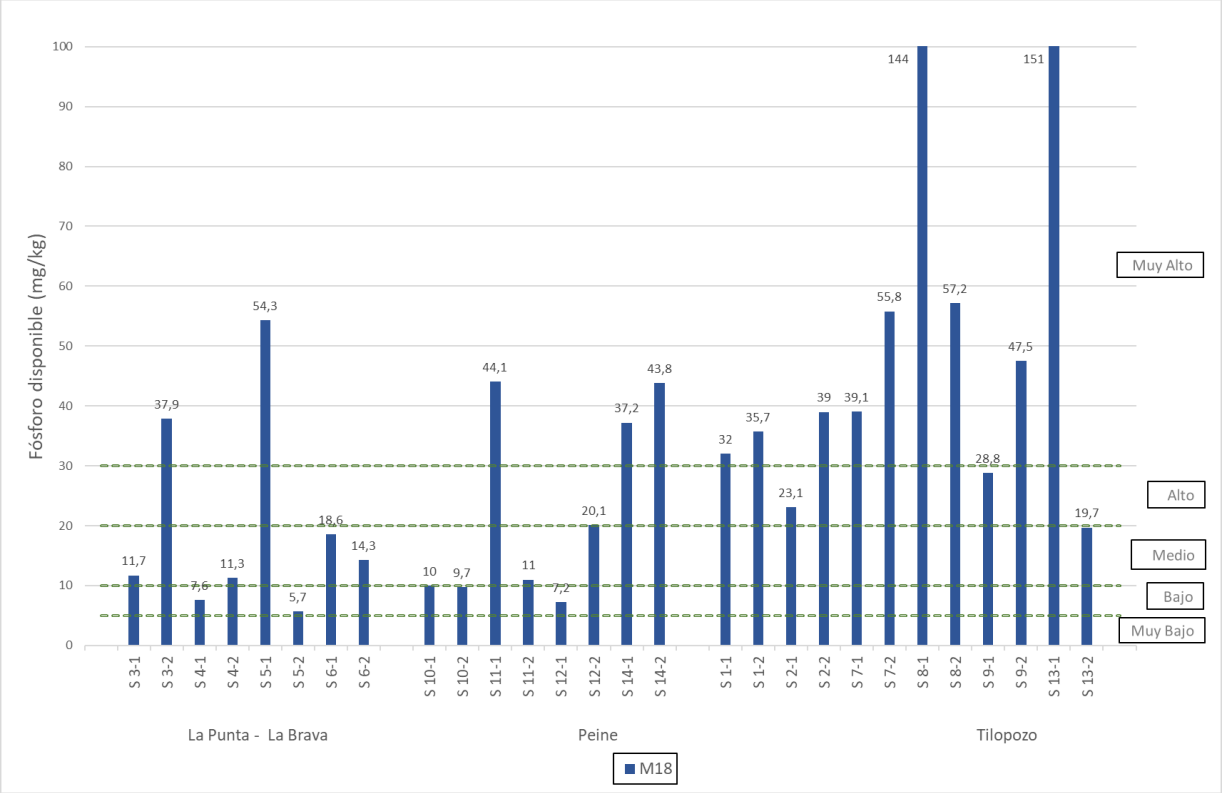
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

Figura N° 9-18. Resultados Potasio disponible, Campaña Verano M18.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-19. Resultados Fósforo disponible, Campaña Verano M18.



Fuente: Elaboración Propia.

9.2.2.3 Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para **Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático** disponibles para el Monitoreo Verano 2024, tabulados para cada punto de muestreo, y agrupados por sector. Cada punto de muestreo se separa en dos estratas, que se indican por medio de un guion en cada punto, excepto para Nivel freático, que presenta una medida por cada punto de muestreo. El valor de Nivel Freático corresponde a lo descrito en terreno al momento de la toma de muestra para cada monitoreo.

Tabla N° 9-12. Conductividad Hidráulica, Humedad, Textura y Nivel Freático. Verano 2025.

Sector	Punto de Muestreo - Estrata	Conductividad hidráulica		Humedad	Clase textural		Nivel Freático
		Valor (cm/hr)	Categoría	Valor (%)	Clase (*)	Categoría	Profundidad (cm)
La Punta - La Brava	S 3-1	3	Medio	47,6	aF	Gruesa	60
	S 3-2	14	Alto	11,3	aF	Gruesa	
	S 4-1	367	Muy alto	28,4	aF	Gruesa	36
	S 4-2	69	Muy alto	40,4	aF	Gruesa	
	S 5-1	13	Alto	46,3	aF	Gruesa	19
	S 5-2	36	Alto	17,6	Fa	Moderadamente gruesa	
	S 6-1	447	Muy alto	49,7	Fa	Moderadamente gruesa	67
	S 6-2	391	Muy alto	79,5	aF	Gruesa	
Peine	S 10-1	574	Muy alto	19,8	aF	Gruesa	103
	S 10-2	213	Muy alto	30,1	aF	Gruesa	
	S 11-1	327	Muy alto	59,2	aF	Gruesa	80
	S 11-2	43	Muy alto	60,3	Fa	Moderadamente gruesa	
	S 12-1	46	Muy alto	0,3	aF	Gruesa	Sin nivel[30]
	S 12-2	35	Alto	6,9	Fa	Moderadamente gruesa	
	S 14-1	1.178	Muy alto	28,1	FA	Moderadamente fina	56
	S 14-2	346	Muy alto	58,8	Fa	Moderadamente gruesa	
Tilopozo	S 1-1	66	Muy alto	5,9	F	Media	Sin nivel
	S 1-2	52	Muy alto	50,1	aF	Gruesa	
	S 2-1	18	Alto	8,9	a	Gruesa	Sin nivel
	S 2-2	92	Muy alto	18,5	aF	Gruesa	
	S 7-1	2.958	Muy alto	42,8	aF	Gruesa	97
	S 7-2	341	Muy alto	47,2	a	Gruesa	
	S 8-1	1.488	Muy alto	63,9	a	Gruesa	69
	S 8-2	111	Muy alto	47,4	a	Gruesa	
	S 9-1	6	Alto	64,6	aF	Gruesa	62
	S 9-2	1.091	Muy alto	45,4	a	Gruesa	
	S 13-1	1.094	Muy alto	20,6	a	Gruesa	110
	S 13-2	81	Muy alto	24,8	aF	Gruesa	

Fuente: Elaboración Propia con datos de laboratorio disponibles en Anexo 1_Suelos_Vol 1_PMB_Anual N9. (*) Ver código en Tabla siguiente.

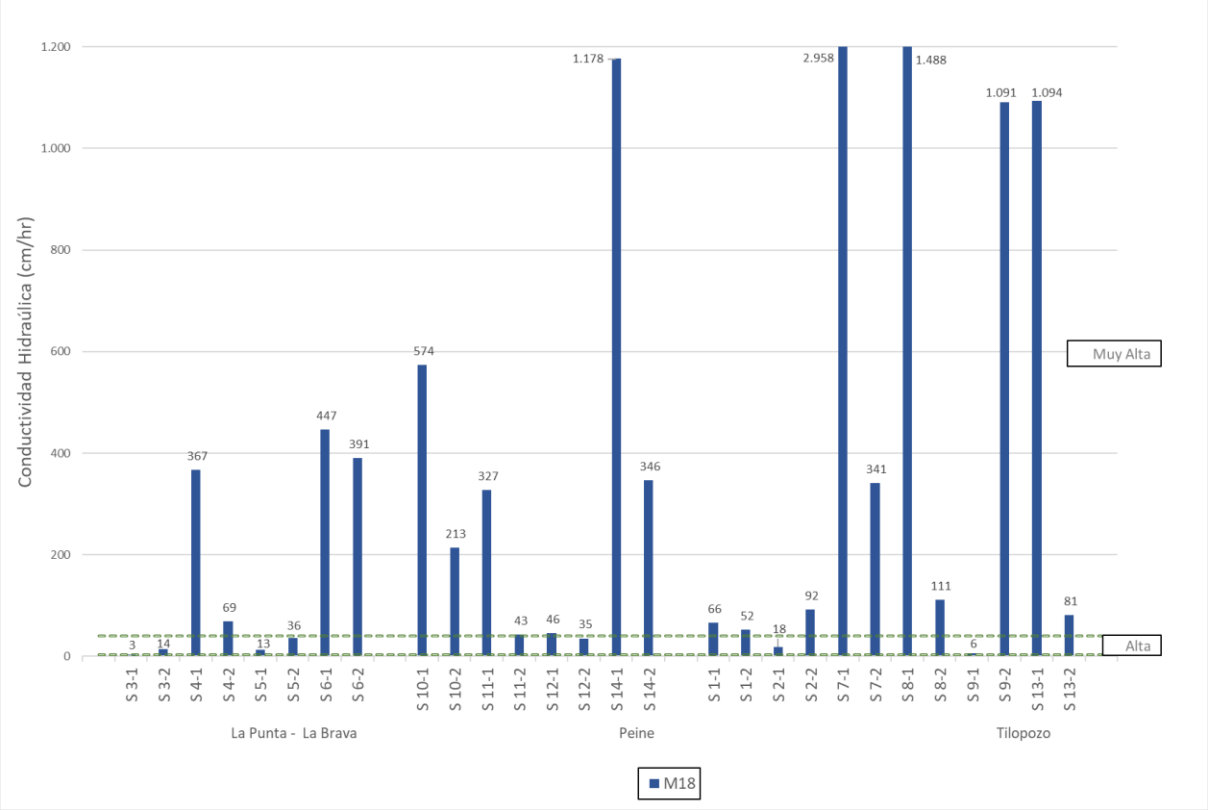
[30] Sin nivel freático a la profundidad de toma de muestra.

Tabla N° 9-13. Código textura.

a	Arenosa	Fa	Franco arenosa
A	Arcillosa	FAa	Franco arcillo arenosa
aF	Areno francosa	FAL	Franco arcillo limosa
F	Franca	FL	Franco limosa
FA	Franco arcillosa	L	Limosa
Aa	Arcillo arenosa		

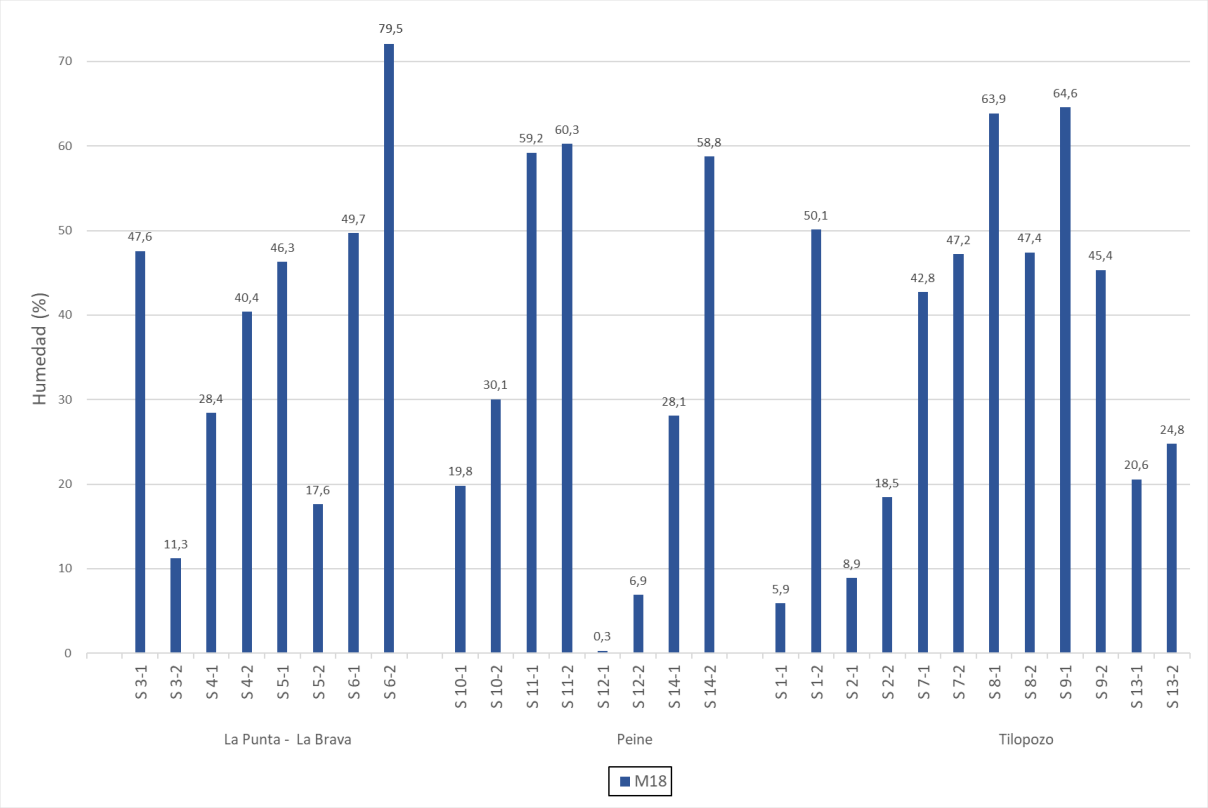
A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica.

Figura N° 9-20. Resultados Conductividad hidráulica, Campaña Verano M18.



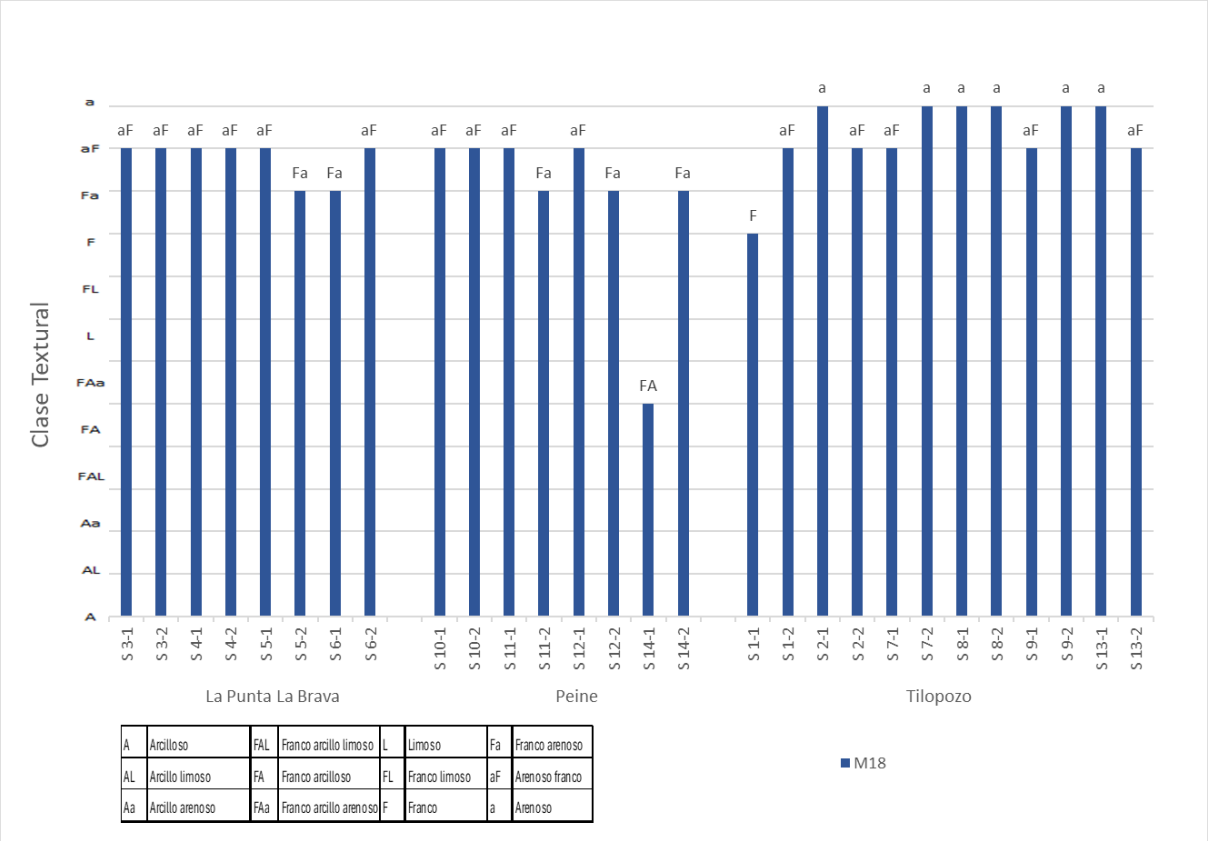
Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-21. Resultados Humedad, Campaña Verano M18.



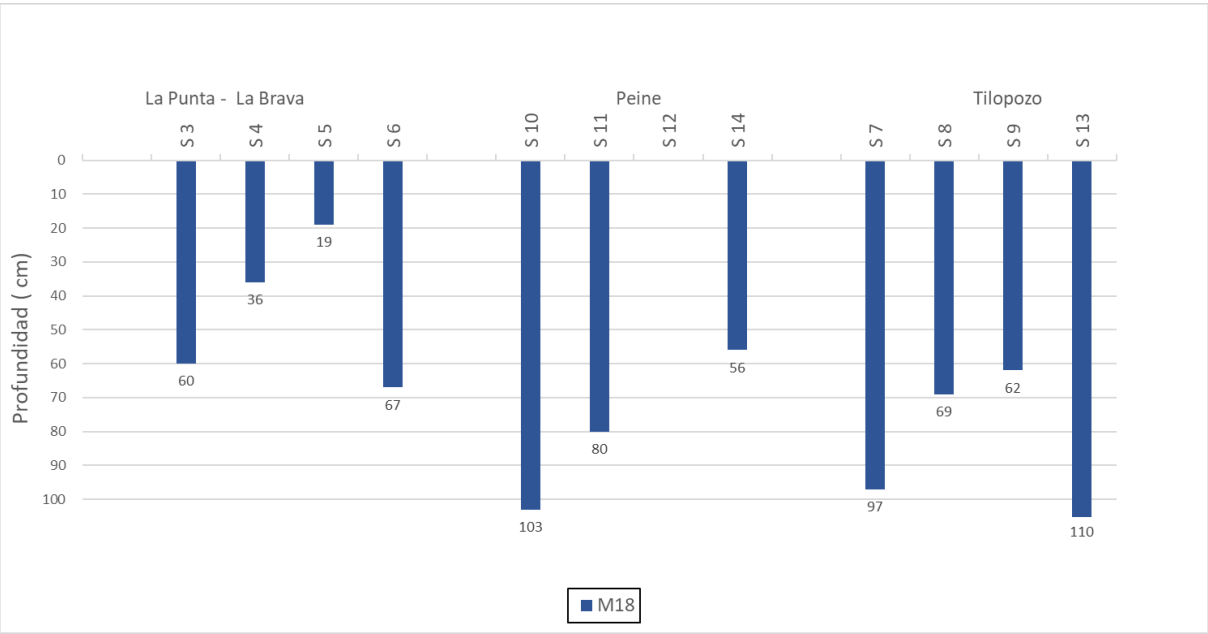
Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-22. Resultados Clase textural, Campaña Verano M18.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 9-23. Resultados Nivel Freático, Campaña Verano M18.



Fuente: Elaboración Propia.

9.2.3 Límites considerados en la evaluación de Suelo o Sustrato

En la RCA 21/2016 del proyecto, dentro del Plan de Seguimiento, quedaron establecidos como Niveles o Límites comprometidos los de “Mantención dentro de su variación histórica”. Considerando lo anterior, y dado que no se presentaron antecedentes específicos para el subcomponente suelo (Línea de Base), como los desarrollados en estas campañas, el análisis comparativo de la evolución de estos parámetros se considera junto con la información de monitoreos realizados en el periodo de construcción del proyecto, esto es tomando como nivel base o referencial el primer Monitoreo de Verano, el que corresponde a (M2).

Es por esta razón que, en general, los análisis de la evolución del componente se desarrollan en base al monitoreo inicial M1, de invierno 2016 y el M2, de verano 2017. No obstante, para efectos de este Informe Anual N°9, se mantiene principalmente el enfoque estacional, analizando la evolución de las variables del suelo entre los monitoreos de invierno, como el monitoreo M1, M3, M5, M7, M9, M13, M15 y el actual M17, así como las de verano, las que corresponden a M2, M4, M6, M10, M12, M14, M16 y el actual M18.

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

Este acápite corresponde a las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos de invierno 2024 y verano de 2025, 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 2024, el que se desarrolló en terreno entre los días 12 y 14 de agosto de 2024, como a los resultados del monitoreo semestral de verano 2025, realizado entre el 18 y 21 de marzo de 2025. Esta actividad de seguimiento fue llevada a cabo por **Cedrem Consultores Limitada** por encargo del Titular del Proyecto.

Los objetivos específicos para esta componente de monitoreo son:

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

10.1 MATERIALES Y MÉTODOS

10.1.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el Salar de Atacama, el cual se encuentra ubicado en el altiplano de la región de Antofagasta. Corresponde a una cuenca endorreica, cuya superficie alcanza los 15.620 km², flanqueada en toda su extensión por cordones cordilleranos, lo que determina que el agua que precipita en ella escurre superficial o subterráneamente hasta la parte baja de la hoya, donde se localiza el Salar propiamente tal. En términos climáticos, la cuenca del Salar de Atacama está bajo la influencia del tipo climático Desértico Marginal de

Altura (CADE-IDEPE 2004), mientras que, de acuerdo al régimen hídrico, se encuentra dentro de la zona denominada Árida Estepárica Fría de Altura, caracterizada por una estación de lluvias estivales que va de diciembre a marzo, un régimen térmico extremadamente frío y registro de heladas durante todo el año (Santibáñez *et al.* 2008).

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

El área de estudio incluye tres sectores bien definidos, Sector Peine que incluye al complejo lagunar formado por Salada, Saladita e Interna, Sector La Punta-La Brava formado por las lagunas La Punta y La Brava, y finalmente el Sector Tilopozo donde se ubica un par de lagunas profundas y un afloramiento de agua (**Figura N° 10-1**).

10.1.2 Ubicación de puntos muestreo

Se analizan *in situ* 14 puntos de monitoreo, distribuidos en los sistemas lagunares Sector Peine conformado por Laguna Salada, Laguna Saladita y Laguna Interna y Sector Laguna La Brava, Laguna La Punta y Sector Tilopozo. Los puntos de monitoreo y sus coordenadas se presentan en la **Tabla N° 10-1** y su ubicación en **Figura N° 10-1**.

Cabe destacar que el Plan de Seguimiento PMB, señala 12 estaciones, no obstante, con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos y en función de tener una mayor representatividad espacial de acuerdo la naturaleza heterogénea de los sistemas lagunares, se han adicionado desde el primer año de monitoreo dos estaciones, una estación de muestreo en el sector La Brava (LB-3) y una en el sector Tilopozo (TB-3). Lo anterior, ya fue previamente informado en los Informes Anuales Nº1, N°2, N°3, N°4, N°5, N°6, N°7 y N°8 del PMB.

Complementariamente, en agosto de 2016, como parte de una prospección y evaluación inicial *in situ* (terreno) de la posición y cantidad de puntos de monitoreo establecidos en el PMB, se propone por parte del equipo asesor en limnología ajustes necesarios en este aspecto. Esto con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos del seguimiento, que es asociar los puntos a los cuerpos de agua de manera de poder hacer seguimiento en el tiempo de la biota acuática y de los parámetros de calidad de aguas y sedimento. Cabe señalar que los puntos originales indicados por la RCA no caían exactamente en cuerpos de agua (TB-1 y TB-2); o bien se encontraban muy próximos entre sí (se desplaza LB-2 de LB-1); o bien se debieron mover para mejorar la accesibilidad al cuerpo de agua, procurando mantener una posición con buena representatividad del sistema lagunar para efecto de la toma de muestras (I-17 y LP-23).

Es así como en el marco de dar cumplimiento a los compromisos del seguimiento, como también de la representatividad de la componente, por un lado, se realizó un leve desplazamiento dentro de la misma área, de la localización de algunas estaciones de muestreo (5 estaciones), de acuerdo con criterios expresados anteriormente, y por otro, se sumaron adicionalmente como ya se mencionó dos nuevas estaciones, una estación de muestreo en el sector La Brava (LB-3) y una en el sector de Tilopozo (TB-3), con el propósito de robustecer la calidad del muestreo y representar óptimamente cada sistema (**Tabla N° 10-1**).

Como ha sido mencionado, en el monitoreo de invierno 2024 solamente fue posible medir algunas estaciones del Sector Peine, mientras que en el de verano de 2025 ninguna de las estaciones del Sector Peine fue muestreada. Lo anterior, por encontrarse cerrado el acceso a las lagunas debido a la época de reproducción de flamencos (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

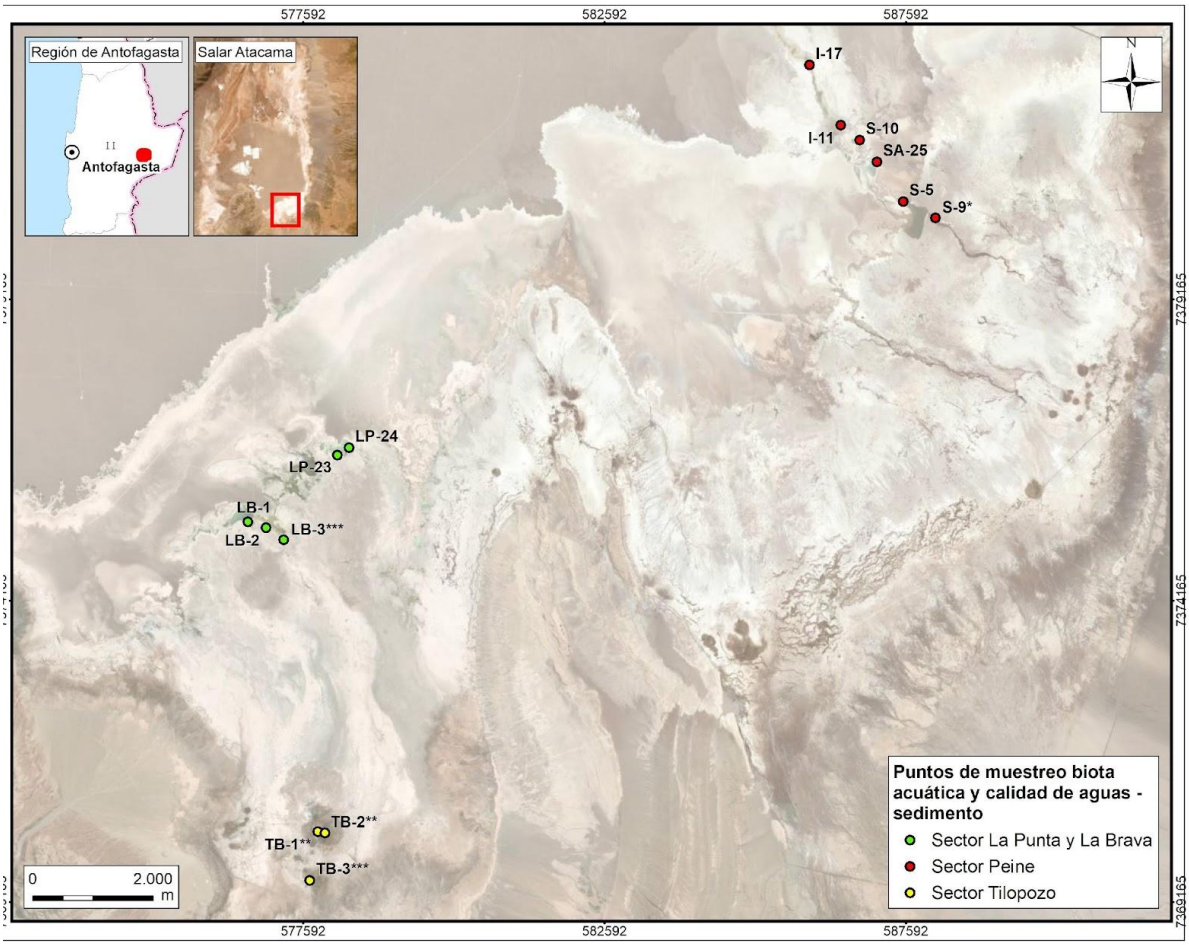
Tabla N° 10-1. Ubicación de las estaciones de monitoreo por Sector, campaña invierno 2024 y verano 2025.

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

Fuente: Elaboración propia. * En el Sector Peine, puntualmente la estación S-9 fue desplazada a la orilla opuesta del curso de agua, con el fin de facilitar la ejecución de toma de muestras y levantamiento de datos en terreno. (Ref. desde Inf Anual Nº1 Albemarle - marzo 2017). ** En el sector Tilopozo, se debió modificar la ubicación de las estaciones TB-1 y TB-2 debido a que las coordenadas de la ubicación inicial no estaban asociadas a cuerpos de agua. (Ref. desde Inf Anual Nº1 Albemarle - marzo 2017). (Ver **Fotografía N° 10-1**). ***Estaciones Adicionales. **** En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023, verano 2024, parte de invierno 2024 y verano 2025, no pudo ser realizado el monitoreo en el Sector Peine, por encontrarse cerrado el acceso a las lagunas debido a la época de reproducción de flamencos.

Se destacan en negrita en la **Tabla N° 10-1**, las dos estaciones adicionales, **LB-3** en La Brava y **TB-3** en Tilopozo, incluidas desde el inicio del plan de seguimiento ambiental biótico por parte del Titular del Proyecto, con el objetivo de tener una mejor representatividad de los sistemas evaluados, así como procurar un permanente acceso a los puntos de monitoreo.

Figura N° 10-1. Ubicación de estaciones de monitoreo de Limnología; Biota acuática, Calidad de Agua y Sedimentos, Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 10-1. Ubicación de las estaciones TB-1 (izquierda) y TB-2 (derecha) de acuerdo al Plan de Manejo Biótico (PMB, 2015), sin presencia de cuerpos de agua.

Ubicación original TB-1 | **Ubicación original TB-2**



Fuente: Elaboración propia.

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

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

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

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

Algunos parámetros si bien no están comprometidos en el PMB, se analizaron en laboratorio y se informan sus registros, como Calcio Total y Magnesio Total, que se requieren para el cálculo de la alcalinidad, y como los propios parámetros de alcalinidad parcial y total, por ser requisito para medir otros como carbonatos y bicarbonatos, que sí son parte del monitoreo. El parámetro turbiedad se incorpora, ya que fue evaluado como requerimiento para descripción de tapetes microbianos y se considera la medición de la profundidad (cm) como variable de importancia limnológica (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

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

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

10.1.4.1 Metodología de muestreo y análisis calidad de agua y sedimentos

En cada una de las estaciones visitadas se evalúan parámetros *in situ* correspondientes a temperatura, pH, turbiedad, oxígeno disuelto en el agua y la profundidad (cm) de la columna de agua. También, se colectan muestras de agua y sedimentos para su posterior análisis en laboratorio acreditado como ETFA, a cargo de la empresa ANAM S.A. (Análisis Ambientales S.A.). Cabe mencionar, que los certificados de análisis correspondientes a verano 2024 emitidos por la ETFA señalada, se presentan en el formato ETFA requerido por la SMA (RES. 1194/2015) en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos_Calidad de Agua** y **Anexo Limnología_Sedimentos**.

Para la evaluación de las variables *in situ*, se calibran diariamente los sensores utilizados con las soluciones del fabricante y siguiendo las instrucciones de este. Además, los sensores son ubicados en la columna de agua, de manera de evitar la alteración del registro en el agua, debido a la actividad propia del muestreo biológico o de sedimentos (agitación de agua, resuspensión de sedimentos, etc.). Por la misma razón, las muestras de agua colectadas para analizar en laboratorio son tomadas aguas arriba o antes de la toma de muestras biológicas o de sedimento. La profundidad (cm) de la columna de agua se mide con regla graduada en 3 puntos de ésta en la estación de muestreo para obtener un valor promedio.

Las muestras de agua son colectadas y transportadas por personal de la ETFA ANAM S.A. según la serie de normas NCh 411 (partes 1, 2, 3, 4, 6, 10 y 11) para el muestreo de aguas crudas y residuales. Los frascos con las muestras de agua son transportados en cajas de material aislante de temperatura, rellenos con hielo en escarcha, y enviados directamente al laboratorio de manera de que las muestras fueran analizadas dentro de los plazos o *holding time* requeridos. Todas las cajas incluyen un frasco testigo para corroborar la temperatura.

El muestreo de sedimentos consiste en colectar una porción de sustrato sumergido en cada una de las estaciones evaluadas, vaciando el sedimento en contenedores específicos para ello y cuidando de no contaminar la muestra con agentes externos. Estas muestras son debidamente etiquetadas, almacenadas y transportadas hasta el laboratorio para su análisis, procurando no realizar contaminación cruzada entre las distintas muestras (según serie de normas NCh 411, partes 1, 2, 3, 4, 6, 10 y 11, para el muestreo de aguas crudas y residuales).

Las metodologías y unidades de medida utilizadas para el análisis de las variables físicas y químicas de agua son las señaladas en la **Tabla N° 10-2**.

Tabla N° 10-2. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de agua.

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Temperatura	°C	(Cod.SMA:55124) ILM000007 med. terreno
pH	pH	(Cod.SMA:55040) ILM000007 med. terreno
Conductividad	µS/cm	(Cod.SMA:51332) ILM000015 med. terreno
Salinidad*	g/kg	ILM000015 med. terreno
Oxígeno disuelto	mg/L	(Cod.SMA:51441) ILM000015 med. terreno
Turbiedad	UNT	MLM 000006
Clorofila “a” (Fitoplancton)	µg/L	SM 10200-H2c Ed. 23
Clorofila “a” (Perifiton)	mg cl-a/m²	SM 10300-C7 Ed. 23
Alcalinidad Parcial ($CaCO_3$)	mg/L	SM 2320 B Ed. 23
Alcalinidad Total ($CaCO_3$)	mg/L	(Cod.SMA:54495) SM 2320 B Ed. 23
Bicarbonato ($CaCO_3$)	mg/L	(Cod.SMA:54496) SM 2320 B Ed. 23
Carbonatos ($CaCO_3$)	mg/L	(Cod.SMA:54497) SM 2320 B Ed. 23
Cloruro (Cl)	mg/L	(Cod.SMA:54879) SM 4110 B Ed. 23
Nitrato (NO_3^-)	mg/L	(Cod.SMA:54881) SM 4110 B Ed. 23
Nitrito (NO_2^-)	mg/L	(Cod.SMA:54882) SM 4110 B Ed. 23
Amonio (N-NH_4^+)	mg/L	(Cod.SMA:54731) SM 4500-NH3 F
Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT)	mg/L	(Cod.SMA:55011) SM 4500 Norg B-C NH3 D 201
Fósforo Total (P)	mg/L	(Cod.SMA:54957) SM 4500-P E Ed. 23
Ortofosfato	mg/L	SM 4500-P E Ed. 23
Sulfato (SO_4^{-2})	mg/L	(Cod.SMA:54883) SM 4110 B Ed. 23
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	(Cod.SMA:54477) SM 5520 B-D

(*) El parámetro Salinidad cuando se expresa en g/kg corresponde a *salinidad absoluta* (cantidad de sales en 1 kilo de agua) y cuando está expresado en g/L corresponde a *salinidad común* (cantidad de sales en 1 litro de agua). Ambas unidades son equivalentes en valor, ya que como referencia se toma la densidad promedio considerada por Albemarle en el informe hídrico del PSAH de las lagunas LM-01 LM_02, LM-03 y LM04 desde 2016 a 2020 que corresponde a 1,04 g/mL. También la Salinidad se puede expresar en PSU (*Practical Salinity Unit*), donde 1 PSU está definido como 1 g de sal en 1000 g de agua (g/kg). Para fines prácticos se puede presentar el parámetro en cualquiera de estas unidades ya que son equivalentes.

Fuente: Elaboración propia.

Las metodologías y unidades de medida utilizadas para el análisis de las variables físicas y químicas de sedimentos son las señaladas en **Tabla N° 10-3**.

Tabla N° 10-3. Metodologías y unidades asociadas a los análisis de Calidad de Sedimentos.

Parámetro	Unidad	Método (laboratorio ANAM)
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	MQC000059 basado en TMECC 05.0
Fosforo Total (P)	mg/Kg	(Cod.SMA:55390) MQC000057 rev 07, basado en SM
Materia Orgánica	%	(Cod.SMA:55403) MQC000059 basado en TMECC 05.0
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	(Cod.SMA:88826) MLAB-S-09 Rev.0 INIA 2006
Potencial Redox	mV	-

Fuente: Elaboración propia.

Respecto de los resultados granulométricos que se realizan para cada estación, éstos se clasifican según la escala de Wentworth (1922), la cual cataloga los sedimentos según el tamaño de grano. En la **Tabla N° 10-4** se muestran las categorías de la escala que son utilizadas para caracterizar los sedimentos, que van desde limo a grava muy fina. Las estadísticas para la obtención del diámetro medio de grano y el grado de selección por estación, se realizan con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0 (Blott & Pye, 2001).

Tabla N° 10-4. Escala de tamaño de grano utilizada en base a Wentworth (1922).

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

Fuente: Blott & Pye (2001)

10.1.4.2 Metodología de muestreo flora y fauna acuática

El muestreo de flora y fauna acuática se realiza utilizando como referencia dos documentos internacionales de metodologías. Los documentos referidos corresponden a "*Metodologías para el establecimiento del estado ecológico según la DMA (Directiva Marco del Agua) de la Confederación Hidrológica del Ebro*", Ministerio de Medio Ambiente de España (2005) y las metodologías de examinación biológica definidas por la Asociación de Salud Pública Americana de Estados Unidos (APHA) mediante su publicación de "*Métodos estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*". También, se consideró lo recomendado por la Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile (SUBPESCA, 2018) y la Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos (MMA, 2011). Las referencias se resumen en la **Tabla N° 10-5**.

Tabla N° 10-5. Resumen de metodologías de muestreo de componentes biológicos.

Componente	Metodología	
	APHA[1]	**DMA[2] -SUBPESCA[3]**
Fitoplancton	SM10200C / SM10200F	Protocolo de muestreo y análisis para Fitoplancton
Fitobentos	SM10300B / SM10200F	Protocolo de muestreo y análisis para Microalgas Bentónicas
Zooplancton	SM10200B / SM10200G	Protocolo de muestreo y análisis para Zooplancton
Zoobentos	SM10500B / SM10500C	Protocolo de muestreo y análisis para macroinvertebrados bentónicos
Macrófitas	SM10400B / SM10400C	Protocolo de muestreo y análisis para plantas vasculares acuáticas

[1] APHA: Standard Methods (2012). [2] DMA: Directiva Marco del Agua (2005).[3] Guía Subpesca (2018).

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 R. Ex N° E-2023-472 del 04-08-2023. El documento se presenta como "**Permiso de Pesca de Investigación"** en el **"Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua"** de este Informe Anual Nº9.

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^3 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). El análisis se realizó según el procedimiento del laboratorio AquaExpert “Análisis Taxonómico Cualitativo y Cuantitativo de Fitobentos” basado en SM 10300 C.

- **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). El análisis se realizó según el procedimiento del laboratorio AquaExpert “Análisis Taxonómico Cualitativo y Cuantitativo de Fitoplancton” basado en SM 10200 F.

- **Zoobentos**: La estimación de la composición y abundancia de la fauna bentónica se realizó mediante el recuento directo por grupo de organismos. Esto se midió en muestras en duplicado por punto de monitoreo obtenidas con un core de 0,004 m2 las que fueron preservadas en alcohol al 70%. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo la lupa, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos se realizó en base a los trabajos de Bertrand (1995), Lopretto & Tell (1995), Merrit & Cummins (1996), Lugo-Ortiz & MacCafferty (1995-1999), Fernández & Domínguez (2001), Domínguez et al. (2006). El análisis se realizó según el

procedimiento del laboratorio AquaExpert “Análisis Taxonómico Cualitativo y Cuantitativo de Macrozoobentos” basado en SM 10500 A y C.

- **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 según en base a los trabajos de Araya & Zuñiga (1985) y Pennak (1989). El análisis se realizó según el procedimiento del laboratorio AquaExpert “Análisis Taxonómico Cualitativo y Cuantitativo de Zooplancton” basado en SM 10200 G.

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:

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

Donde, S = número de especies y pi = proporción de la especie i en la muestra

El valor de este índice se encuentra acotado entre 0 y el logaritmo natural (S), tendiendo a cero en comunidades poco diversas.

También se determinó la homogeneidad de las abundancias de especies en la muestra a través del índice de equidad (J'), de acuerdo a la expresión:

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

Donde, H’ = índice de Shannon-Wiener, H’max = valor máximo teórico de H’ y S = número de especies.

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

10.1.5 Materiales y equipos utilizados

Los materiales, equipos e instrumentos utilizados se indican en la **Tabla N° 10-6** y **Tabla N° 10-7**.

Tabla N° 10-6. Instrumentos de medición *in situ* de parámetros del agua

Análisis	Referencias del Método
Temperatura (°C)	Medidor Multiparamétrico HANNA HI 98194
pH	
Oxígeno disuelto (mg/L)	
Conductividad (µS/cm)	
Salinidad (g/Kg)	
Turbiedad (UNT)	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 10-7. Materiales e instrumentos utilizados en la obtención de muestras de biota acuática.

Componente	Instrumento/fijador
Fitobentos	Cepillo para superficies duras (25 cm^2) y Jeringa-core de 5 mL para superficies blandas. Fijador Lugol
Fitoplancton	Frascos de 500 mL. Fijador Lugol
Zoobentos	Core de 0,004 m^2 para sistemas lénticos. Fijador alcohol*.
Zooplancton	Tamiz de 60 micrones. Fijador alcohol*.

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

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

La campaña de monitoreo correspondiente a invierno de 2024 se realizó entre las fechas **12 y 14 de agosto de 2024**, mientras que la campaña de verano 2025 tuvo lugar entre los días **18 y 21 de marzo de 2025**, días en los cuales se visitaron las estaciones y se tomaron tanto las muestras de agua y sedimentos, como aquellas correspondientes a biota. En la **Tabla N° 10-8** se presenta el detalle de las fechas de visita por sector y obtención de muestras para cada variable evaluada en los monitoreos respectivos.

Tabla N° 10-8. Fechas de muestreo de cada una de las variables evaluadas en las campañas de invierno 2024 y verano 2025.

Componente	Variable	Fecha toma muestra					
		Sector La Punta y La Brava		Sector Tilopozo		Sector Peine*	
		Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
Agua	Temperatura	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	Sin acceso al sector por periodo reproductivo de flamencos
	pH	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Conductividad	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Salinidad	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Turbiedad	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Oxígeno disuelto	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Clorofila "a" en Fitoplancton	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Clorofila en Perifiton	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Alcalinidad Parcial (CaCO3)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Alcalinidad Total (CaCO3)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Bicarbonato (CaCO3)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Carbonatos (CaCO3)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Cloruro (Cl)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Nitrato (N-NO3-)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Nitrito (N-NO2-)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Nitrógeno amoniacal (NH4+)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Fosforo Total	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Ortofosfato	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Sulfato (SO4-2)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Aceites y Grasas (A y G)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
Sedimento	Carbono Orgánico Total (COT)	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Fosforo Total (P) M.S.	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Materia Orgánica	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Nitrógeno Total Kjeldahl	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Potencial Redox	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
Biota	Fitobentos	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Fitoplancton	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Zoobentos	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Zooplancton	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	
	Macrófitas	13-08-24	18 y 19-03-25	14-08-24	21-03-25	12-08-24	

Fuente: Elaboración propia. * En el sector Peine en Invierno 2024, fue posible acceder solo a las estaciones S-10, SA-25, I-11 e I-17 (Lagunas Saladita e Interna), ya que las estaciones S-9 y S-5 (Laguna Salada) permanecieron cerradas por el periodo reproductivo de flamencos. En Verano 2025 todo el sector permaneció cerrado por la misma razón.

10.2 RESULTADOS

10.2.1 Caracterización del hábitat durante campañas de invierno 2024 y verano 2025

A continuación, se describen las estaciones de muestreo emplazadas en los sectores La Punta y La Brava, Vegas de Tilopozo y Peine, en el contexto del seguimiento ambiental y en las campañas de invierno 2024 y verano 2025.

10.2.1.1 Sector La Punta y La Brava

Este sector comprende las lagunas La Punta y La Brava, en el cual fueron emplazadas cinco estaciones de monitoreo, tres ubicadas en Laguna La Brava (LB-1; LB-2 y LB-3) y dos en Laguna La Punta (LP-23 y LP-24) (ver **Tabla N° 10-1** y **Figura N° 10-1**).

- Estación LB-1

La estación LB-1 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica estimada de 2.277 msnm, con un ancho de sección estimado de 254,6 m en invierno y 249 m en verano, con una profundidad promedio de columna de agua de 4,2 cm en invierno y 14,2 cm en verano. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino (limo y arena), con la presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo en invierno y bajo flujo en verano y con aguas transparentes en los respectivos periodos de muestreo. La estación no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña en invierno ni en verano (**Fotografía N° 10-2**).

Fotografía N° 10-2. Estación LB-1. Campaña Invierno 2024. a. y b. Vista panorámica de la estación y Campaña Verano 2025 c. y d. Vista panorámica de la estación sin hidrófitas ni helófitas.

a. 

b. 

c. 

d. 

Fuente: Elaboración propia.

- <u>Estación LB-2</u>

La estación LB-2 se encuentra ubicada en la laguna La Brava, a una altura geográfica estimada de 2.305 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 221,9 m en invierno y de 218 m en verano, de profundidad 3,9 y 4,7 cm en promedio entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino (limo y arena), con presencia de costras salinas insertas en el sustrato de fondo de modo aleatorio, sin flujo y con aguas transparentes en invierno y verano. La estación de muestreo presentó una especie emergente correspondiente a una helófita en ambos periodos de monitoreo. Cabe señalar que en verano se observó a través de registro visual, una disminución en el área del espejo de agua de la laguna, respecto de campañas anteriores, siendo este el segundo verano consecutivo que se registra dicha reducción. (**Fotografía N° 10-3**).

Fotografía N° 10-3. Estación LB-2. Campaña Invierno 2024 y Verano 2025. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y especie emergente (Helófita: *Triglochin concinna*).

a. 

b. 

c. 

d. 

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 adicional a las comprometidas en el PMB. La estación se ubica a una altura geográfica estimada de 2.301 msnm, con un ancho de sección estimado de 5,4 m y 3,70 m entre periodos de monitoreos, de profundidad promedio de 5,3 cm en invierno y 3,8 cm en verano. El tipo de sustrato corresponde a sedimento fino, sin flujo y aguas transparentes en invierno y verano. La estación de monitoreo presentó plantas acuáticas hidrófitas sumergidas en invierno y en verano. Cabe señalar que en verano se observó a través de registro visual, una disminución en el espejo de agua de la laguna, respecto de campañas anteriores, siendo este el segundo verano consecutivo que se registra dicha reducción. (**Fotografía N° 10-4**).

Fotografía N° 10-4. Estación LB-3. Campaña Invierno 2024. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino e hidrófita. Campaña Verano 2025. c. y d. Vista panorámica de la estación y Sustrato fino y presencia de hidrófita.

a. 

b. 

c. 

d. 

Fuente: Elaboración propia.

- Estación LP-23

La estación LP-23 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica estimada de 2.302 msnm, con un ancho de sección estimado de 131,9 m en invierno y 135 m en verano, con una profundidad que osciló entre 16,5 y 7,3 cm entre periodos de monitoreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, aunque se observaron afloramientos pequeños en la línea de costa de la laguna, con un flujo bajo en invierno y sin flujo verano, y con aguas transparentes en los respectivos periodos de muestreo. La estación de monitoreo presentó parches de hidrófitas sumergidas (*Ruppia*) y tres especies de helófitas en ribera y presencia de microbialitos al interior de la laguna (**Fotografía N° 10-5**).

Fotografía N° 10-5. Estación LP-23. Campaña Invierno 2024. a. Vista panorámica de la estación. b. Sustrato fino y parche *Sarcocornia fruticosa* (helófita). Campaña Verano 2025. c. Vista panorámica de la estación y d. Sustrato fino y parche hidrófita (*Ruppia*).

a. 

b. 

c. 

d. 

Fuente: Elaboración propia.

- <u>Estación LP-24</u>

La estación LP-24 se encuentra ubicada en la laguna La Punta, a una altura geográfica de 2.310 msnm aproximadamente, con un ancho de sección estimado de 239,8 m en invierno y 231 m en verano, y con una profundidad que osciló entre 15,4 y 7,5 cm entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo en invierno y flujo bajo en verano, con aguas transparentes en los respectivos periodos de muestreo. La estación de muestreo presentó parches de hidrófitas sumergidas y helófitas en ribera. Se sugiere la presencia de evaporitas al interior de la laguna (**Fotografía N° 10-6**).

Fotografía N° 10-6. Estación LP-24. Campaña Invierno 2024 y Verano 2025. a y c. Vista panorámica de la estación. b y d. Sustrato fino y evaporitas.

a. 

b. 

c. 

d. 

Fuente: Elaboración propia.

10.2.1.2 Sector Tilopozo

Este Sector corresponde al área denominada vegas de Tilopozo y en ella se ubican tres estaciones de monitoreo, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos con pozas profundas, mientras que, TB-2 corresponde a un sistema somero tipo pajonal hídrico (ver **Tabla N° 10-1** y **Figura N° 10-1**).

- Estación TB-1

La estación TB-1 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2.314 msnm aproximadamente, con un área estimada de 67,2 m^2, un ancho de sección aproximado de 8,73 m en invierno y verano; y una profundidad de 3,2 y 2,25 m entre periodos de muestreo. El sustrato de la estación corresponde a roca madre, sedimento arena y limo, sin flujo y con aguas transparentes.

Además, en esta estación se observó un canal aledaño de 97 cm de ancho; con especies emergentes (helófitas) principalmente de los géneros *Schoenoplectus*, *Distichlis* y lamas de microalgas flotantes en el canal, se observó también la presencia de peces del género *Gambusia*, taxón introducido y sin categoría de conservación según RCE (2012). Cabe

destacar que, la poza presenta gran cantidad de hidrófitas sumergidas (*Zannichellia palustris*) y lamas de microalgas que crecen sobre y entre dichas plantas, condición observada en ambas campañas de monitoreo (**Fotografía N° 10-7**). Además, se observó la presencia de caracoles durante el periodo de verano.

Cabe señalar, que en invierno 2024 se observaron llamas, burros y cabras en actividades de pastoreo.

Fotografía N° 10-7. Estación TB-1. Campaña Invierno 2024 y Verano 2025 a y c. Vista panorámica de la estación b y d. Parche *Zannichellia palustris* (hidrófita) con lamas de microalgas bajo el agua.

a.  b. 

c.  d. 

Fuente: Elaboración propia.

- <u>Estación TB-2</u>

La estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico, ubicado a una altura geográfica de 2.317 msnm aproximadamente, con un área aproximada de 358,6 m^2 en invierno y en verano, en cuyo costado fluye un pequeño brazo emergente de 0,84 m de ancho en invierno y 0,4 m en verano, con una profundidad de 20,2 y 14 cm entre periodos de muestreo. Respecto del sustrato, durante el periodo de invierno se observó que corresponde a un sedimento con arena y limo, con velocidad de la corriente nula y aguas transparente. La estación de monitoreo estaba completamente cubierta por especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Juncus* y *Schoenoplectus*, además en invierno se observaron *Distichlis* y algas flotantes. En la estación se detectó la presencia de *Gambusia*, taxón invasor e introducido (**Fotografía N° 10-8**

a, b, c y **d**). Cabe señalar que, en la campaña invierno 2024, la estación de monitoreo se encontró con la vegetación ramoneada y con la presencia llamas, burros y cabras.

Fotografía N° 10-8. Estación TB-2. Campaña Invierno 2024. a. Vista panorámica de la estación, presencia de pajonal hídrico sin agua superficial. b. Presencia de helófita *Schoenoplectus californicus*. Campaña Verano 2025. c. Vista panorámica de la estación 100% cubierta *de S. californicus* y d. Escurrimiento al costado de la estación de monitoreo.

a. 
b. 
c. 
d. 

Fuente: Elaboración propia.

- Estación TB-3

La estación TB-3 corresponde a un afloramiento (poza) y pajonal hídrico ubicado a una altura geográfica de 2.320 msnm aproximadamente, que abarca un área estimada de 88,0 m^2 en invierno y un ancho de sección aproximado de 9,10 m en verano, con una profundidad de 2,3 y 1,58 m entre periodos de monitoreo. El sustrato de la estación corresponde a roca madre y sedimento fino, detrito y materia orgánica particulada fina, sin flujo, y con aguas transparentes en ambos periodos de muestreo.

En la estación se detectaron especies emergentes (helófitas) principalmente del género *Baccharis* durante el invierno y *Schoenoplectus* junto a la hidrófita *Zannichellia palustris* en ambos periodos de muestreo. Se observó también la presencia de peces del género *Gambusia*, taxón introducido y sin categoría de conservación según RCE (2012). (**Fotografía N° 10-9**). Cabe señalar que al costado de la estación se ubica una bomba de agua de Albemarle.

Fotografía N° 10-9. Estación TB-3. Campaña Invierno 2024 a. Vista panorámica de la estación y b. presencia de lamas microalgales dentro de la poza y helófitas en la línea de costa y Campaña Verano 2025 c. Vista panorámica de la estación, presencia de *Schoenoplectus californicus* y *Baccharis linearis* en línea de costa. y d. Interior de la poza.

a. 

b. 

c. 

d. 

Fuente: Elaboración propia.

10.2.1.3 Sector Peine

En las campañas invierno 2024 y verano 2025, el Sector Peine, que corresponde a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17) fue monitoreado de manera parcial. Durante la campaña de invierno, fue posible acceder únicamente a las estaciones S-10, SA-25, I-11 e I-17, ya que, las estaciones S-9 y S-5, permanecieron cerradas por el periodo reproductivo de flamencos. Mientras que para la campaña de verano no fue posible acceder a realizar labores de monitoreo, por el mismo motivo **(Ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**.

- <u>Estación S-10</u>

La estación S-10 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2.313 msnm, con un ancho de sección estimado de 51,8 m, con una profundidad de columna de agua de 10,7 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a

sedimento fino, con un flujo nulo y de aguas ligeramente turbias. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida (*Ruppia*) y sin vegetación ribereña.

Fotografía N° 10-10. Estación S-10. Campaña Invierno 2024 a. Vista panorámica de la estación y b. Presencia de hidrófita sumergida (*Ruppia*).

a.  b. 

Fuente: Elaboración propia.

- Estación SA-25

La estación SA-25 corresponde a un sector somero de laguna Saladita, ubicada a una altura geográfica de 2.312 msnm, con un ancho de sección estimado de 108,7 m, con una profundidad de columna de agua de 17,0 cm en promedio. El sustrato de la estación correspondió a sedimento fino, sin flujo y con aguas ligeramente turbias. La estación de muestreo presentó parches de una hidrófita sumergida (*Ruppia*) y sin vegetación ribereña.

Fotografía N° 10-11. Estación SA-25. Campaña Invierno 2024 a. Vista panorámica de la estación y b. Presencia de hidrófita sumergida (*Ruppia*).

a.  b. 

Fuente: Elaboración propia.

- Estación I-11

La estación I-11 se encuentra en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2.307 msnm, con un ancho de sección estimado de 193,4 m y una profundidad de 12,8 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, de flujo bajo y de aguas ligeramente turbias. El punto de muestreo no presentó plantas acuáticas, ni vegetación ribereña.

Fotografía N° 10-12. Estación I-11. Campaña Invierno 2024 a. Vista panorámica de la estación y b. Sustrato fino.

a.  b. 

Fuente: Elaboración propia.

- Estación I-17

La estación I-17 se encuentra en la laguna Interna, a una altura geográfica de 2.308 msnm, con un ancho de sección de 26,3 m, de una profundidad de 5,8 cm en promedio. El sustrato de la estación corresponde a sedimento fino, sin flujo y de aguas ligeramente turbias. El punto de muestreo no presentó plantas acuáticas hidrófitas y helófitas, ni vegetación ribereña. La estación presentó una alta desecación y con un espejo de agua de menor tamaño respecto de las campañas anteriores.

Fotografía N° 10-13. Estación I-17. Campaña Invierno 2024 a. Vista panorámica de la estación y b. Sedimento fino.

a.  b. 

Fuente: Elaboración propia.

10.2.2 Resultados del muestreo campaña de invierno 2024 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)

10.2.2.1 Resultados Calidad de agua

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de invierno 2024 de los parámetros de calidad de agua evaluados en las diferentes estaciones de los sectores de estudio. Los informes de ensayo de laboratorio se presentan en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos_Calidad de Agua**.

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

10.2.2.1.1 Resultados Sector La Punta y La Brava

El sector de La Punta y La Brava (**Tabla N° 10-9**) se caracteriza por presentar aguas con una alta conductividad, mostrando durante la campaña de invierno 2024 valores entre 29.600 y 66.740 µS/cm y una salinidad entre 18,37 y 45,41 g/Kg. La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruro (entre 9.463,8 y 27.147,3 mg/L) y sulfato (entre 1.804,3 y 5.151,5 mg/L), siendo las estaciones LB-1 y LB-2 de laguna La Brava las que presentan el mayor contenido de sales comparado con el resto de las estaciones monitoreadas en el sector (>65.000 µS/cm en conductividad). En la estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de la laguna La Brava, se han registrado los menores valores de conductividad, salinidad, cloruros y sulfatos del sector. En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades menores que en LB-1 y LB-2 de La Brava, sin embargo, también fueron altos, con valores para LP-23 y LP-24 de 31.990 y 34.010 µS/cm en conductividad y de 20,01 y 21,18 g/Kg en salinidad, respectivamente. En esta laguna se registraron también altas concentraciones en cloruro (>11.000 mg/L) y sulfato (>1.800 mg/L).

En este sector durante la campaña de invierno 2024, en los cuerpos de agua se registró un amplio rango de temperaturas, con valores entre 6,76°C y 8,9°C en laguna La Punta y entre 15,33°C y 23,22°C en La Brava, junto con un pH moderadamente alcalino, que fluctuó entre 7,99 y 8,41 unidades para el sector. Estos últimos registros se relacionan principalmente con los parámetros de alcalinidad total y bicarbonato, con valores entre 288 y 409 mg/L. El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 4,76 y 7,99 mg/L, registrándose el mayor valor en LB-3 (afluente de La Brava). Por su parte la clorofila “a” presentó una variación entre <0,02 y 0,87 µg/L, mientras que para la clorofila en Perifiton se registraron concentraciones entre <0,02 y 14,35 mg cl-a/m², siendo ambos máximos registrados en LB-1 (La Brava). La turbiedad tuvo un rango de valores entre 3 y 11,2 UNT (máximo también en LB-

1). Los compuestos nitrogenados (nitrito, nitrato, amonio y Nitrógeno Total Kjeldhal) presentaron en todas las estaciones valores por debajo el límite de detección. Por su parte el fósforo total y el ortofosfato, presentaron valores entre 0,68 y 1,944 mg/L para el fósforo total y entre 2 y 5,9 mg/L para el ortofosfato, observándose los mayores valores en LB-2. El parámetro de aceites y grasas presentó valores bajo el límite de detección para todas las estaciones del sector.

Tabla N° 10-9. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2024.

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (**)	Max LB (**)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Temperatura (*)	°C	-	7,5	24,9	8,9	6,76	15,33	21,78	23,22
pH (*)	Unidad pH	-	7,77	8,32	8,37	8,41	8,11	8,13	7,99
Conductividad (*)	µS/cm	-	22.300	77.600	31.990	34.010	66.740	65.500	29.600
Salinidad (*)	g/kg	-	22,7	24,9	20,01	21,18	45,41	44,49	18,37
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	5,3	9,12	6,55	6,22	4,76	5,88	7,99
Turbiedad (*)	UNT	-	2,7	5,7	5,8	5,1	11,2	7,7	3
Clorofila "a"	µg/L	0,02	<1,00	1,5	0,47	<0,02	0,87	0,4	0,3
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m²	0,02	-	-	7,82	<0,02	14,35	6,67	4,99
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	1	-	-	<1	39	<1	24	<1
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1	268	387	360	366	408	409	295
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	1	-	-	360	288	408	361	295
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	1	-	-	<1	78	<1	48	<1
Cloruro (Cl-)	mg/L	0,101	22.224	22.865	14.656,7	11.024,4	26.271,0	27.147,3	9.463,8
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	0,203	<0,5	<0,5	<0,203	<0,203	<0,203	<0,203	<0,203
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	0,039	<0,15	<0,15	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039
Amonio (N-NH4+)	mg/L	0,001	-	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	0,27	1,25	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Fósforo Total (P)	mg/L	0,0004	<0,05	<0,05	0,68	0,788	1,175	1,944	0,807
Ortofosfato	mg/L	0,5	-	-	2	2,3	3,1	5,9	2,3
Sulfato (SO4-2)	mg/L	0,112	6.716,0	7.261,0	2.339,4	1.804,3	4.078,4	5.151,5	2.362,2
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	424	749	<4	<4	<4	<4	<4

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

10.2.2.1.2 Resultados Sector Tilopozo

Los valores obtenidos en el sector de Tilopozo, muestran un sistema de vegas mucho menos salino que el de La Punta y La Brava (**Tabla N° 10-10**), con valores más bajos en conductividad (entre 4.340 y 4.457 µS/cm), salinidad (≤2,4 g/Kg), cloruro (882,8 a 927,9 mg/L) y sulfato (393,8 a 411,9 mg/L). Se registró un pH neutro de 6,76 a 7,14 y valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 350 y 354 mg/L. El oxígeno disuelto registrado en estos cuerpos de agua presentó concentraciones entre 3,22 y 3,72 mg/L, mientras que las temperaturas oscilaron entre 13,71 y 25,25 °C, siendo el menor registro de temperatura el encontrado en la estación TB-2, que corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad. Por su parte las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de <2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial, donde se registraron temperaturas >25°C.

Por otro lado, la turbiedad en este sector mostró valores entre 2,6 y 19,4 UNT, la clorofila “a” en fitoplancton presentó valores entre 7,16 y 101,72 µg/L y la clorofila en Perifiton entre 118,05 y 1676,38 mg cl-a/m², observándose los máximos de clorofila en TB-1. En relación con los compuestos nitrogenados, todos presentaron valores por debajo el límite de detección en las tres estaciones del sector. En el caso del fósforo total se registraron valores entre 0,159 y 0,187 mg/L y el ortofosfato concentraciones ≤0,5 mg/L en todas las estaciones de Tilopozo. El parámetro de aceites y grasas presentó valores bajo el límite de detección para todas las estaciones del sector (**Tabla N° 10-10**).

Tabla N° 10-10. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2024.

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Temperatura (*)	°C	-	25,25	13,71	25,09
pH (*)	Unidad de pH	-	6,76	7,14	6,81
Conductividad (*)	µS/cm	-	4.428	4.457	4.340
Salinidad (*)	g/kg	-	2	2,4	2,31
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	3,23	3,22	3,72
Turbiedad (*)	UNT	-	2,6	19,4	18,7
Clorofila "a"	µg/L	0,02	101,72	7,16	7,42
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m²	0,02	1676,38	118,05	122,26
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	1	<1	<1	<1
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1	353	354	350
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	1	353	354	350
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	1	<1	<1	<1

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Cloruro (Cl-)	mg/L	0,101	927,9	927,4	882,8
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	0,203	<0,203	<0,203	<0,203
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	0,039	<0,039	<0,039	<0,039
Amonio (N-NH4+)	mg/L	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	<0,010	<0,010	<0,010
Fósforo Total (P)	mg/L	0,0004	0,159	0,168	0,187
Ortofosfato	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	0,5
Sulfato (SO4-2)	mg/L	0,112	408,9	411,9	393,8
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (*) Parámetros registrados *in situ*.

10.2.2.1.3 Resultados Sector Peine

En el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), no fue posible acceder a realizar las labores de monitoreo específicamente en las estaciones S-9 y S-5 (laguna Salada) durante la campaña de invierno 2024, debido al cierre de acceso a esa laguna por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas y Prohibiciones.**

Los resultados de las lagunas muestreadas del Sector Peine en invierno 2024 (**Tabla N° 10-11**) mostraron que se encuentran en los rangos propios de sistemas acuáticos salinos, es decir, alta conductividad (entre 37.080 y 43.090 µS/cm) y salinidad elevada (entre 22,39 y 27,82 g/kg), lo cual está asociado al contenido de sales como cloruros (entre 11.881,7 y 15.427,0 mg/L) y sulfatos (entre 1.624,6 y 2.549,5 mg/L), observándose los valores más altos para estos parámetros en laguna Interna respecto a laguna Saladita. En estos cuerpos de agua se registró un amplio rango de temperaturas, con valores entre 7,17°C y 12,00°C en laguna Saladita y entre 19,78°C y 28,11°C en laguna Interna (máximo en estación I-11). El pH fue moderadamente alcalino para el sector con valores entre 8,21 y 8,29, los cuales se corresponden con los obtenidos para la alcalinidad total y bicarbonato (entre 191 y 216 mg/L).

El oxígeno disuelto registrado, estuvo en un rango entre 2,74 y 4,02 mg/L, registrándose la mayor y menor concentración en laguna Interna. La turbiedad tuvo valores entre 9,7 y 37,5 UNT, alcanzando el mayor y menor registro también en laguna Interna. La clorofila “a” en fitoplancton por su parte, presentó concentraciones entre <0,02 y 3,04 µg/L, con sus valores máximo y mínimo registrados en laguna Saladita (máximo en S-10), de igual forma que la clorofila en perifiton que mostró valores entre <0,02 y 50,04 mg cl-a/m². Los compuestos nitrogenados (nitrito, nitrato, amonio y Nitrógeno Total Kjeldhal) presentaron en todas las estaciones del sector, valores por debajo el límite de detección. Respecto a fósforo total

presentó valores entre 0,049 y 0,168 mg/L, mientras que el ortofosfato mostró valores bajo el límite de detección, al igual que el parámetro de aceites y grasas (**Tabla N° 10-11**).

Tabla N° 10-11. Resultados de calidad de agua en el Sector Peine. Campaña Invierno 2024.

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Min LB (**)	Max LB (**)	Salada		Saladita		Interna	
					S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Temperatura (*)	°C	-	4,8	24,5	Sin acceso	Sin acceso	7,17	12	28,11	19,78
pH (*)	Unidad pH	-	8,1	8,57			8,29	8,22	8,21	8,23
Conductividad (*)	µS/cm	-	25.350	45.900			37.080	37.480	39.060	43.090
Salinidad (*)	g/kg	-	8,7	23,3			22,56	22,39	23,11	27,82
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	4,1	9,6			3,48	3,89	2,74	4,02
Turbiedad (*)	UNT	-	21,3	152			18,7	12	37,5	9,7
Clorofila "a"	µg/L	0,02	8,4	18,2			<0,02	3,04	0,76	0,76
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m²	0,02	-	-			<0,02	50,04	12,54	12,54
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	1	-	-			<1	<1	<1	<1
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1	273	491			216	192	196	191
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	1	-	-			216	192	196	191
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	1	-	-			<1	<1	<1	<1
Cloruro (Cl-)	mg/L	0,101	9.634	17.575			12.579,5	11.881,7	15.427,0	15.286,4
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	0,203	<0,5	<0,5			<0,203	<0,203	<0,203	<0,203
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	0,039	<0,15	<0,15			<0,039	<0,039	<0,039	<0,039
Amonio (N-NH4+)	mg/L	0,001	-	-			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Nitrógeno Total Kjeldhal	mg/L	0,01	0,42	1,41			<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Fósforo Total (P)	mg/L	0,0004	<0,05	<0,05			0,049	0,139	0,168	0,101
Ortofosfato	mg/L	0,5	-	-			<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO4-2)	mg/L	0,112	845	3.474			1.684,6	1.624,6	2.501,3	2.549,5
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	137	619			<4	<4	<4	<4

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

10.2.2.2 Resultados Calidad de sedimentos

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para los parámetros de calidad de sedimentos evaluados en las diferentes estaciones de los sectores de estudio, durante la campaña de invierno 2024. Los certificados de laboratorio se presentan en el **Anexo Limnología – Sedimentos**.

10.2.2.2.1 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 10-12** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2024 del Sector de La Punta - La Brava. La concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 72,51 a 90,78 g/Kg y de 12,50% a 15,65%, respectivamente, registrándose los valores más altos para estos parámetros en laguna La Brava (LB-3). El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en el sedimento, varió entre 1,991 y 5,881 g/Kg, con el mayor valor registrado en LB-3. Respecto al fósforo total, los valores registrados oscilaron en un rango de <500 a 1.000 mg/Kg, con el máximo registro en LB-2. Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, en todas las estaciones se registraron valores negativos, que indican sedimentos donde se favorecen reacciones de reducción con valores entre -409 mV (LB-2) y -381 mV (LP-23).

Tabla N° 10-12. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2024.

Parámetro	Unidad	L.D.	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	**22**	**48**	81,73	72,51	82,31	73,9	90,78
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	**8**	**55**	600	<500	600	1000	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,00312	**1,596**	**6,351**	4,093	2,788	1,991	3,512	5,881
Materia Orgánica	%	0,28	**3,9**	**8,2**	14,09	12,5	14,19	12,74	15,65
Potencial Redox	mV	-	**-161,6**	**-61**	-381	-405	-399	-409	-402

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

En relación con el análisis granulométrico, en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos en LP-23 y LP-24, respectivamente, correspondieron a *Arena media* (entre 0,343 y 0,294 mm), con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado*. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano correspondió a *Arena media* (0,257 a 0,471 mm), con grados de selección en las estaciones de *Muy pobremente seleccionado* a *Pobremente seleccionado* (**Tabla N° 10-13**).

Tabla N° 10-13: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2024.

Sub Sector	Estación	Diámetro medio*		Grado de selección*	
		(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
La Punta	LP-23	0,343	Arena Media	0,006	Muy pobremente seleccionado
	LP-24	0,294	Arena Media	0,004	Muy pobremente seleccionado
La Brava	LB-1	0,460	Arena Media	0,002	Pobremente seleccionado
	LB-2	0,257	Arena Media	0,005	Muy pobremente seleccionado
	LB-3	0,471	Arena Media	0,003	Pobremente seleccionado

Fuente: Elaboración propia. (*) Estadísticas de tamaños de grano y grados de selección obtenidas con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth (1922), con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0

10.2.2.2.2 Resultados Sector Tilopozo

En la **Tabla N° 10-14** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña invierno 2024 del Sector de Tilopozo. Las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden respectivamente a pozas de <2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad. Los resultados mostraron valores de carbono orgánico total (COT) entre 58,53 y 186,19 g/Kg y de materia orgánica entre 10,09% y 32,10%, encontrándose sus máximos en TB-2. El nitrógeno total Kjeldahl varió de 2,623 g/Kg a 4,819 g/Kg, siendo su máximo en TB-1. En el caso del fósforo total, los valores oscilaron de <500 mg/Kg en TB-3 a 1.100 mg/Kg en TB-1. Por su parte, el potencial óxido-reducción en los sedimentos, presentó valores negativos en todas las estaciones del sector, entre -385 mV (TB-1) y -359 mV (TB-2), indicando sedimentos donde se favorecen las reacciones de reducción.

Tabla N° 10-14. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2024.

Parámetro	Unidad	L.D.	TB-1	TB-2	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	94,43	186,19	58,53
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	1100	600	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,00312	4,819	2,820	2,623
Materia Orgánica	%	0,28	16,28	32,1	10,09
Potencial Redox	mV	-	-385	-359	-362

Fuente: Elaboración propia. L.D.= Límite de detección.

Los resultados granulométricos para el sector Tilopozo en invierno 2024, muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones correspondió a *arena fina* en TB-1 y TB-3 (0,156 y 0,229 mm, respectivamente) y a *arena gruesa* en TB-2 (0,706 mm de diámetro medio de grano), con grados de selección de *Muy pobremente seleccionado* (**Tabla N° 10-15**).

Tabla N° 10-15: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2024.

Estación	Diámetro medio*		Grado de selección*	
	(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
TB-1	0,156	Arena Fina	0,005	Muy pobremente seleccionado
TB-2	0,706	Arena Gruesa	0,004	Muy pobremente seleccionado
TB-3	0,229	Arena Fina	0,005	Muy pobremente seleccionado

Fuente: Elaboración propia. (*) Estadísticas de tamaños de grano y grados de selección obtenidas con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth (1922), con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0

10.2.2.2.3 Resultados Sector Peine

En el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), como se indicó anteriormente, no fue posible acceder a realizar las labores de monitoreo en las estaciones S-9 y S-5 (laguna Salada) en la campaña de invierno 2024, debido al cierre de acceso a esa laguna por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas y Prohibiciones.**

Los resultados de las lagunas muestreadas del Sector Peine en invierno 2024, mostraron que la concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 73,38 a 88,28 g/kg y de 12,65% a 15,22%, respectivamente, registrándose los valores más altos en laguna Interna (máximos en I-17). El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en los sedimentos, varió de 2,340 a 4,081 g/kg, siendo las concentraciones mayores las obtenidas en laguna Saladita. Respecto al fósforo total, los valores registrados oscilaron en un rango de 500 mg/Kg a 800 mg/Kg, con el máximo registro obtenido en S-10 e I-17. Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones se registraron sedimentos con características reductoras con valores entre -402 y -388 mV (**Tabla N° 10-16**).

Tabla N° 10-16. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Peine. Campaña invierno 2024.

Parámetro	Unidad	L.D.	Min LB (*)	Max LB (*)	Salada		Saladita		Interna	
					S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Carbono Orgánico Total	g/Kg	1,62	**3**	**43**	Sin acceso	Sin acceso	73,38	79,64	86,14	88,28
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	**34**	**78**			500	800	700	800
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,00312	**0,14**	**5,3**			4,081	4,027	3,771	2,340
Materia Orgánica	%	0,28	**0,5**	**7,4**			12,65	13,73	14,85	15,22
Potencial Redox	mV	-	**-160**	**46,4**			-400	-388	-394	-402

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

En relación con el análisis granulométrico, en laguna Saladita los diámetros medios de grano obtenidos en SA-25 y S-10 correspondieron a *Arena media* (0,321 a 0,373 mm) con un grado de selección de *Pobremente seleccionado*. En laguna Interna, el diámetro medio de grano estuvo comprendido entre *Arena media* (0,378 mm) y *Arena fina* (0,207 mm), con un grado de selección en las estaciones de *Pobremente seleccionado* (**Tabla N° 10-17**).

Tabla N° 10-17: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Peine. Campaña Invierno 2024.

Sub Sector	Estación	Diámetro medio*		Grado de selección*	
		(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
Salada	S-9	Sin acceso			
	S-5	Sin acceso			
Saladita	SA-25	0,373	Arena Media	0,003	Pobremente seleccionado
	S-10	0,321	Arena Media	0,002	Pobremente seleccionado
Interna	I-11	0,378	Arena Media	0,003	Pobremente seleccionado
	I-17	0,207	Arena Fina	0,003	Pobremente seleccionado

Fuente: Elaboración propia. (*) Estadísticas de tamaños de grano y grados de selección obtenidas con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth (1922), con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0

10.2.2.3 Resultados Biota acuática

10.2.2.3.1 Fitobentos

El fitobentos corresponde al complejo de comunidades microalgales que viven asociadas a un sustrato del fondo de los cuerpos de agua (Parra & Bicudo, 1996), las cuales son representadas por microalgas bentónicas. Su importancia radica en ser productores primarios en el ecosistema (estando o no asociadas a los tapetes microbianos) sosteniendo en parte la diversidad de invertebrados y la avifauna que se alimentan de ellas.

10.2.2.3.1.1 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de invierno 2024 estuvo compuesta por 18 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 8 géneros presentes en la estación LB-1 (La Brava) y 15 géneros en la estación LP-23 (La Punta). Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 1.323.805 cel/cm^2 en LB-2 (La Brava) y 4.485.000 cel/cm^2 en LB-1 (La Brava) (**Tabla N° 10-18**). Cabe señalar que, las estaciones de la laguna La Punta presentaron valores intermedios de abundancia respecto de La Brava.

La comunidad fitobentónica presentó una diversidad y equidad mayor en la estación LB-3, ubicada en la laguna La Brava, con valores de 1,92 nits/ind y 0,73 unidades respectivamente.

Por otro lado, en la estación LB-2 de La Brava, se registró la menor diversidad y equidad con registros de 1,14 nits/ind y 0,52 unidades (**Tabla N° 10-18**).

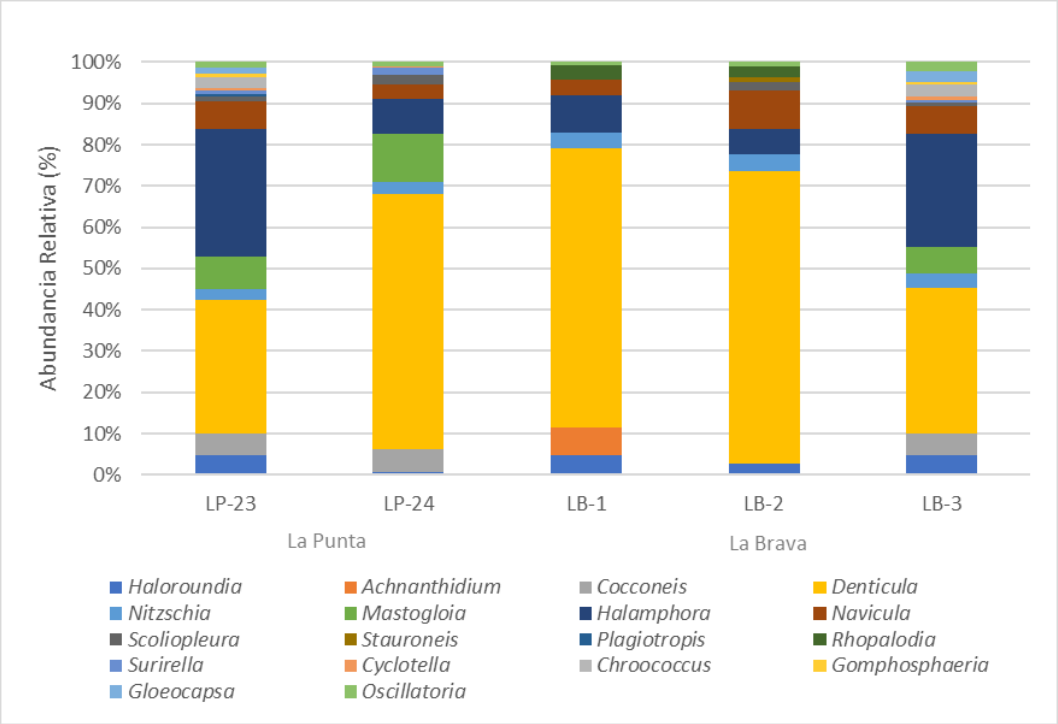
En relación con los *taxa* dominantes, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Denticula* y *Halamphora* (**Figura N° 10-2**). El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, tuvieron la mayor representatividad en el Sector La Punta y La Brava.

Tabla N° 10-18. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (Invierno 2024).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Achnanthales	Achnanthaceae	*Haloroundia*	115.909	18.750	210.000	36.673	130.286
		Achnanthidiaceae	*Achnanthidium*			300.000		
		Cocconeidaceae	*Cocconeis*	120.455	127.500			139.929
	Bacillariales	Bacillariaceae	*Denticula*	771.591	1.441.250	3.045.000	936.673	956.143
			Nitzschia	59.659	68.750	165.000	54.871	101.464
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	*Mastogloia*	185.227	271.250			172.500
	Naviculales	Amphipleuraceae	*Halamphora*	737.500	197.500	405.000	82.169	741.964
		Naviculaceae	*Navicula*	158.523	82.500	165.000	122.426	178.714
		Scoliotropidaceae	*Scoliopleura*	27.273	56.250		27.574	27.000
		Stauroneidaceae	*Stauroneis*				13.511	
		Plagiotropidaceae	*Plagiotropis*	13.636				
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*			165.000	36.121	
	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	20.455	41.250			18.000
	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	*Cyclotella*	12.500	6.250			17.679
Cyanobacteriia	Cyanobacteriales	Microcystaceae	*Chroococcus*	63.636				83.143
		Gomphosphaeriaceae	*Gomphosphaeria*	18.750				11.786
		Gloeocapsaceae	*Gloeocapsa*	34.091				72.000
		Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*	31.818	21.250	30.000	13.787	62.357
Límites LB (*)		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación Invierno 2024**				
Abundancia total (cel/cm^2)		**16**	**8.753**	**2.371.023**	**2.332.500**	**4.485.000**	**1.323.805**	**2.712.964**
Riqueza de géneros (S)		**5**	**17**	**15**	**11**	**8**	**9**	**14**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**1,90**	**1,40**	**1,20**	**1,14**	**1,92**
Equidad (J')		**-**	**-**	**0,70**	**0,58**	**0,58**	**0,52**	**0,73**

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 8.753 cel/cm^2, considerando campañas de invierno y verano LB, y no a los presentados en el Informe Anual 2 con un valor de 2.673 cel/cm^2. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

Figura N° 10-2. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (Invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.1.2 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 11 géneros. La riqueza por estación de monitoreo, presentó el mayor registro en la estación TB-3 con 9 géneros y el menor en TB-2 con 4 géneros. Respecto a las abundancias registradas, la estación TB-3 presentó el mayor registro de abundancia con 5.812.500 cel/cm^2 y el menor en TB-2 con 1.209.063 cel/cm^2 (**Tabla N° 10-19**).

La diversidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fue mayor para la estación TB-3 con 0,91 nits/ind y menor en la estación TB-2 con 0,60 nits/ind. Respecto a la equidad, se observó que el mayor registro lo compartieron las estaciones TB-1 y TB-2 con 0,43 unidades y el menor TB-3 con 0,42 unidades (**Tabla N° 10-19**).

En la **Figura N° 10-3**, se puede observar que los *taxa* dominantes, correspondieron a las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis,* las que presentaron las mayores abundancias relativas entre las estaciones evaluadas. El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró

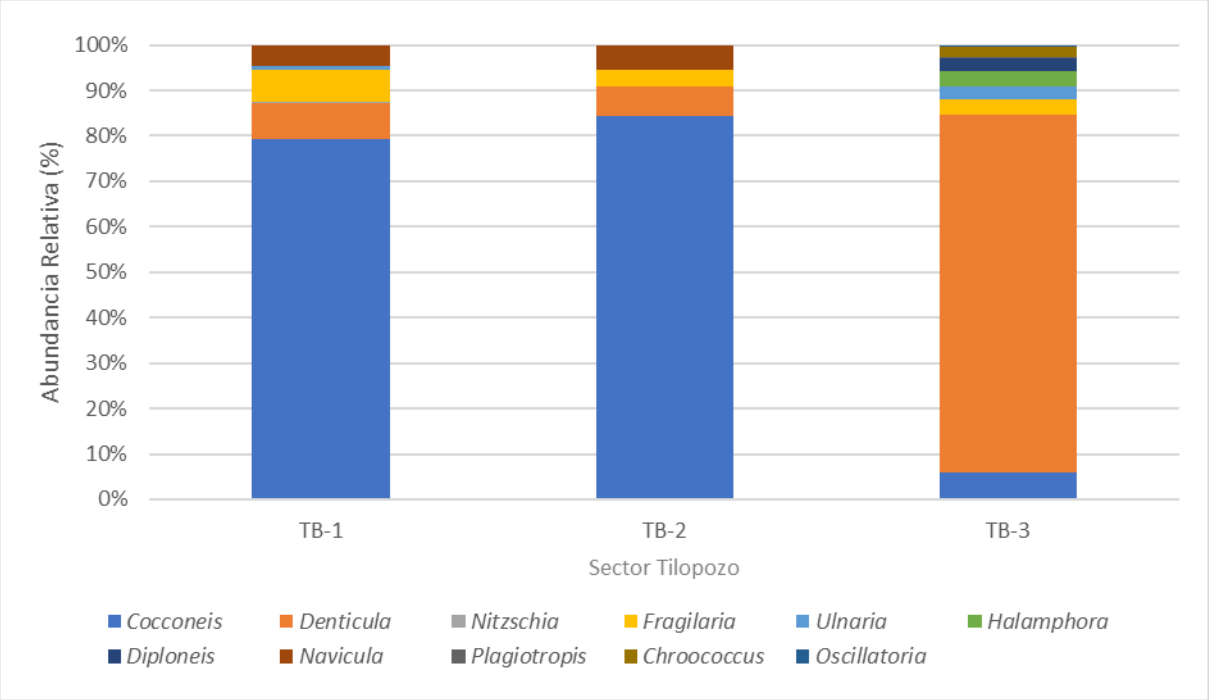
que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector de Tilopozo.

Tabla N° 10-19. Comunidad fitobentónica. Sector Tilopozo (Campaña Invierno 2024).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthales	Cocconeidaceae	*Cocconeis*	994.500	1.020.938	345.000
	Bacillariales	Bacillariaceae	*Denticula*	97.500	77.500	4.571.250
			Nitzschia	4.875		
	Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria*	87.750	43.125	198.750
			Ulnaria	9.750		165.000
	Naviculales	Amphipleuraceae	*Halamphora*			198.750
		Diploneidaceae	*Diploneis*			168.750
		Naviculaceae	*Navicula*	58.500	67.500	
		Plagiotropidaceae	*Plagiotropis*			18.750
Cyanobacteriia	Cyanobacteriales	Microcystaceae	*Chroococcus*			127.500
		Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*			18.750
Abundancia total (cel/cm^2)				**1.252.875**	**1.209.063**	**5.812.500**
Riqueza de géneros (S)				**6**	**4**	**9**
Diversidad Shannon (nits/ind)				**0,77**	**0,60**	**0,91**
Equidad (J')				**0,43**	**0,43**	**0,42**

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-3. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (Invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.1.3 Sector Peine

En la campaña invierno 2024, no fue posible acceder a realizar labores de monitoreo a las estaciones S-9 y S-5, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos **(Ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**.

La comunidad fitobentónica en el Sector Peine, en la campaña de invierno 2024 estuvo compuesta por 11 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 3 géneros presentes en la estación S-10 (Saladita) y 7 géneros en la estación I-11 (Interna). Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, fluctuó entre 3.905.357 cel/cm^2 en I-11 (Interna) y 489.935 cel/cm^2 en SA-25 (Saladita), presentando la laguna Interna los mayores registros de abundancia (**Tabla N° 10-20**).

La comunidad presentó una diversidad mayor para la estación SA-25 (Saladita) con 0,67 nits/ind y menor en la estación S-10 (Saladita) con 0,25 nits/ind. Respecto a la equidad, se observó que el máximo valor fue de 0,41 unidades detectado en I-17 (Interna) y el mínimo de 0,23 unidades en S-10 (Saladita) (**Tabla N° 10-20**).

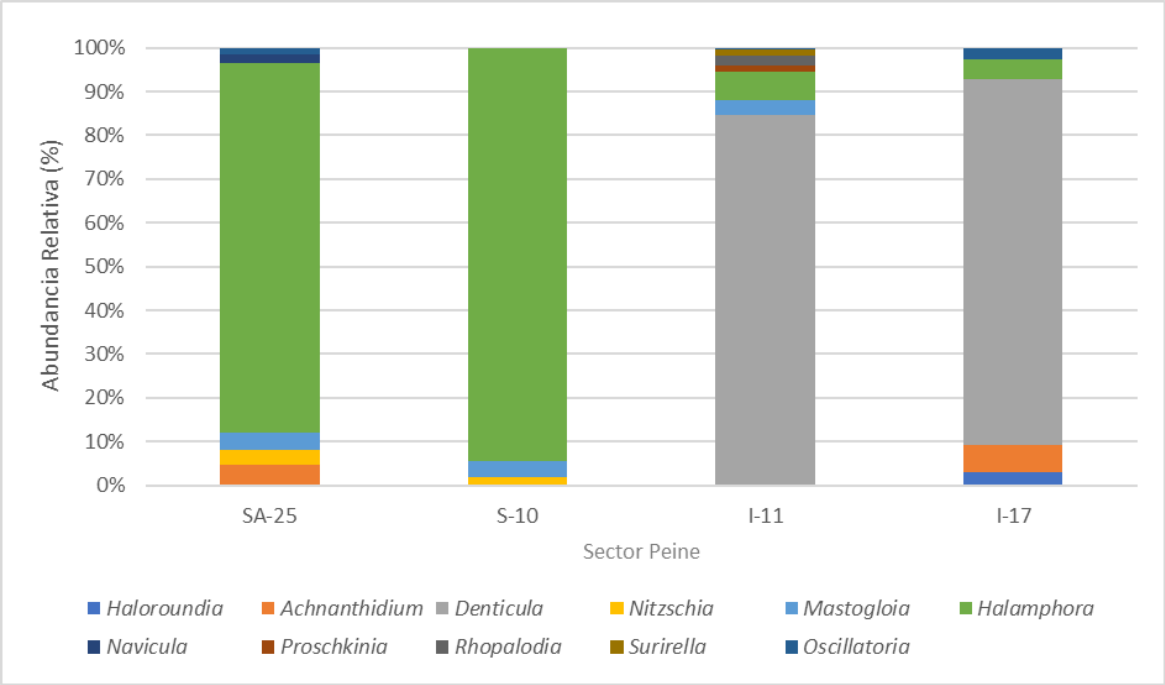
En relación con los *taxa* dominantes durante la campaña de invierno 2024, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Denticula* y *Halamphora* ().

Tabla N° 10-20. Comunidad fitobentos, Abundancia (cel/cm^2) y Riqueza en Sector Peine. Campaña Invierno 2024.

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Achnanthales	Achnanthaceae	*Haloroundia*	Sin acceso por periodo reproductivo de flamencos	Sin acceso por periodo reproductivo de flamencos				52.418
		Achnanthidiaceae	*Achnanthidium*			23.484			105.824
	Bacillariales	Bacillariaceae	*Denticula*					3.310.714	1.434.066
			Nitzschia			15.806	24.000		
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	*Mastogloia*			19.742	48.000	128.571	
	Naviculales	Amphipleuraceae	*Halamphora*			413.290	1.236.000	257.143	73.681
		Naviculaceae	*Navicula*			9.742			
		Proschkiniaceae	*Proschkinia*					48.214	
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*					96.429	
	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*					48.214	
Cyanobacteriia	Cyanobacteriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*			7.871		16.071	46.484
Límites LB (*)		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación Invierno 2024**					
Abundancia total (cel/cm^2)		**47**	**6.787**	**-**	**-**	**489.935**	**1.308.000**	**3.905.357**	**1.712.473**
Riqueza de géneros (S)		**2**	**14**	**-**	**-**	**6**	**3**	**7**	**5**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**-**	**-**	**0,67**	**0,25**	**0,65**	**0,66**
Equidad (J')		**-**	**-**	**-**	**-**	**0,38**	**0,23**	**0,34**	**0,41**

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

Figura N° 10-4. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Peine (Invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.2 Fitoplancton

Corresponde a la comunidad de microalgas fotosintetizadoras que se hallan en suspensión en las aguas y que puede ser delimitada ecológica y fisionómicamente (Parra & Bicudo, 1996). Su importancia ecológica, al igual que el fitobentos, radica en ser productores primarios en el ecosistema, sosteniendo en parte la diversidad de invertebrados y la avifauna que se alimentan de los microorganismos que componen el fitoplancton. A continuación, se presentan los resultados del fitoplancton obtenidos en la campaña de invierno 2024.

10.2.2.3.2.1 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitoplancton en el Sector La Punta - La Brava, en la campaña de invierno 2024 presentó 11 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 4 y 7 géneros, con un registro mínimo en las estaciones LP-23 (La Punta) y LB-3 (La Brava) y el máximo en LB-2 (La Brava). Respecto a la abundancia de las microalgas planctónicas, fluctuaron entre 19,5 cel/mL en LP-23 (La Punta) y 55,0 cel/mL en LB-2 (La Brava) (**Tabla N° 10-21**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LB-2 (La Brava) con 1,75 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LP-23 (La Punta) con 1,11 nits/ind

(**Tabla N° 10-21**). En tanto, la equidad fluctuó entre 0,80 unidades registrado en la estación LP-23 y 0,92 en la estación LP-24.

El gráfico de abundancia relativa (**Figura N° 10-5**), permite observar que durante la campaña de invierno 2024, los *taxa* dominantes correspondieron a las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula*, las cuales presentaron las mayores representatividades.

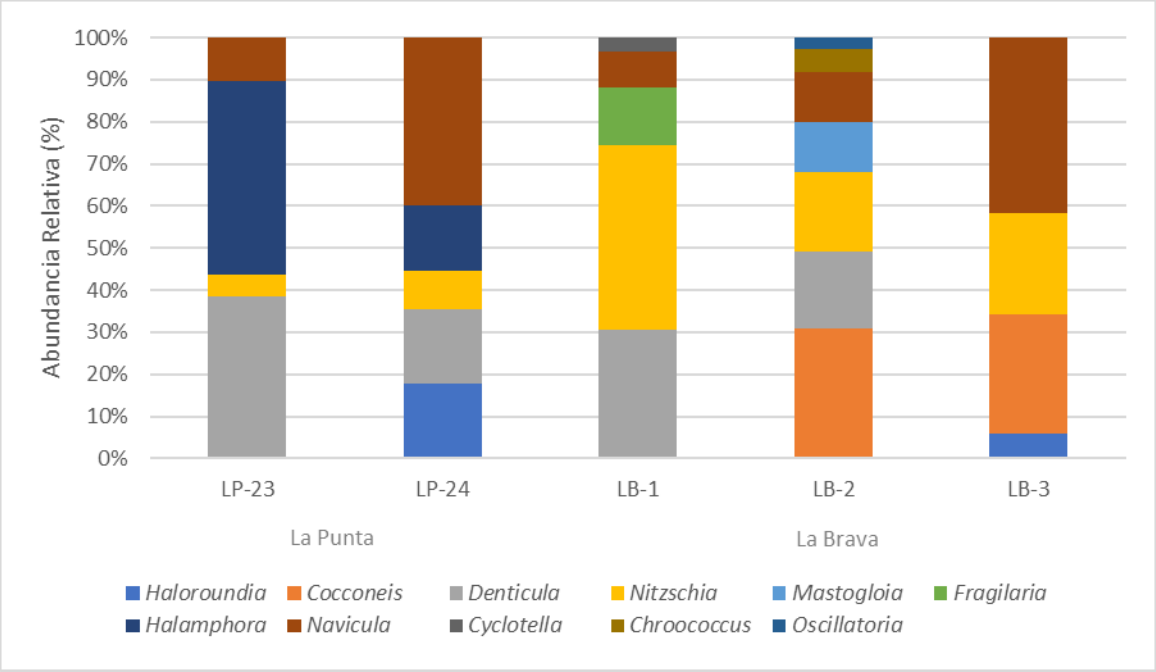
El análisis por clase de la comunidad de fitoplancton mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector La Punta y La Brava.

Tabla N° 10-21. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (Campaña Invierno 2024).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				Sector La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Achnanthales	Achnanthaceae	*Haloroundia*		4,0			2,0
		Cocconeidaceae	*Cocconeis*				17,0	9,5
	Bacillariales	Bacillariaceae	*Denticula*	7,5	4,0	9,0	10,0	
			Nitzschia	1,0	2,0	13,0	10,5	8,0
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	*Mastogloia*				6,5	
	Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria*			4,0		
	Naviculales	Amphipleuraceae	*Halamphora*	9,0	3,5			
		Naviculaceae	*Navicula*	2,0	9,0	2,5	6,5	14,0
	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	*Cyclotella*			1,0		
Cyanobacteriia	Cyanobacteriales	Microcystaceae	*Chroococcus*				3,0	
		Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*				1,5	
Límites LB (*)		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación Invierno 2024**				
Abundancia total (cel/mL)		**76**	**4.905**	**19,5**	**22,5**	**29,5**	**55,0**	**33,5**
Riqueza de géneros (S)		**6**	**14**	**4**	**5**	**5**	**7**	**4**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**1,11**	**1,49**	**1,32**	**1,75**	**1,23**
Equidad (J')		**-**	**-**	**0,80**	**0,92**	**0,82**	**0,90**	**0,89**

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

Figura N° 10-5. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (Invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.2.2 Sector Tilopozo

Dentro del Sector de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 8 géneros. La riqueza osciló entre 4 géneros en TB-1 y TB-2 y 8 géneros en TB-3 respectivamente. Respecto de las abundancias registradas, oscilaron entre 18,5 cel/mL en TB-1 y 61,5 cel/mL en TB-3 (**Tabla N° 10-22**).

En relación con los valores de diversidad y equidad, se observó una mayor diversidad y equidad en la estación TB-3, con registros de 1,92 nits/ind y 0,92 unidades, respectivamente. En tanto, la menor diversidad y equidad se obtuvo en TB-2 con valores de 0,31 nits/ind y 0,22 unidades.

Respecto de los *taxa* dominantes, las diatomeas *Cocconeis* y *Ulnaria,* presentaron las mayores representatividades entre las estaciones de vegas de Tilopozo (**Figura N° 10-6**).

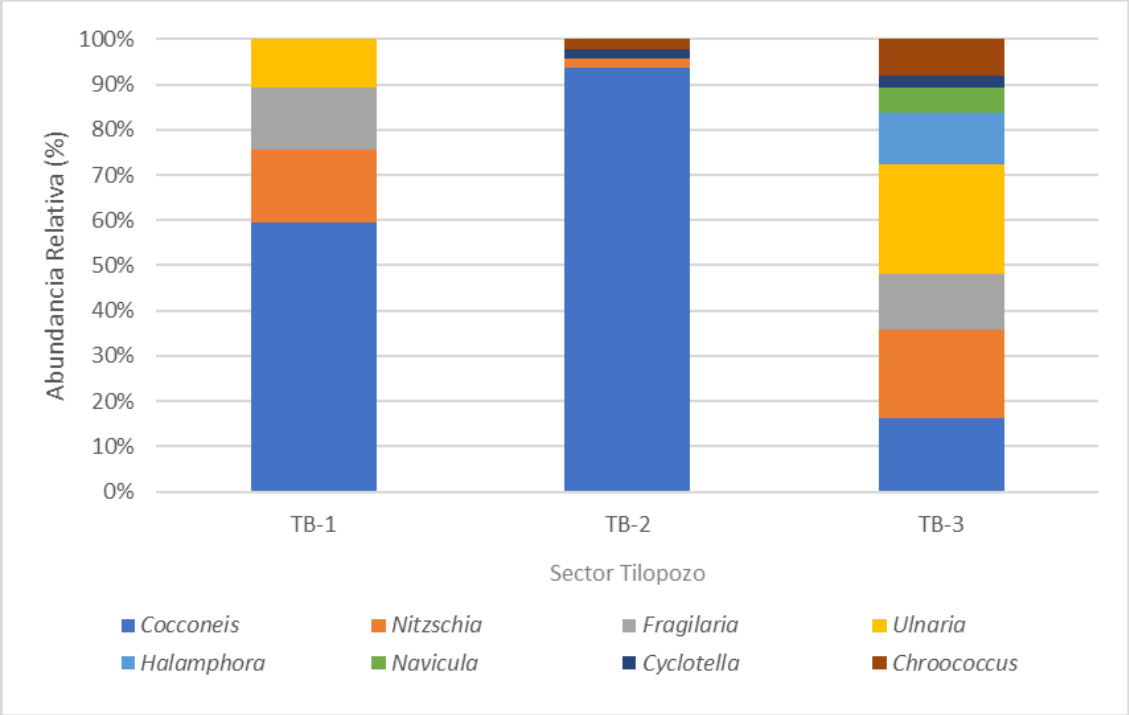
El análisis por clase de la comunidad de fitoplancton mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector Tilopozo.

Tabla N° 10-22. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (Invierno 2024).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Sector Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthales	Cocconeidaceae	*Cocconeis*	11,0	22,0	10,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzschia*	3,0	0,5	12,0
	Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria*	2,5		7,5
			Ulnaria	2,0		15,0
	Naviculales	Amphipleuraceae	*Halamphora*			7,0
		Naviculaceae	*Navicula*			3,5
	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	*Cyclotella*		0,5	1,5
Cyanobacteriia	Cyanobacteriales	Microcystaceae	*Chroococcus*		0,5	5,0
Abundancia total (cel/mL)				**18,5**	**23,5**	**61,5**
Riqueza de géneros (S)				**4**	**4**	**8**
Diversidad Shannon (nits/ind)				**1,12**	**0,31**	**1,92**
Equidad (J')				**0,80**	**0,22**	**0,92**

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-6. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (Invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.2.3 Sector Peine

En la campaña invierno 2024, no fue posible acceder a realizar labores de monitoreo a las estaciones S-9 y S-5, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos **(Ver Anexo Cartas y Prohibiciones)**.

La comunidad de fitoplancton en el Sector Peine, presentó 15 géneros microalgales, con valores de riqueza que fluctuaron entre 4 y 12 géneros, con el menor registro en la estación I-17 (Interna) y el mayor en la estación S-10 (Saladita). Respecto a la abundancia de las microalgas planctónicas, fluctuaron entre 21 cel/mL en SA-25 (Saladita) y 2.392 cel/mL en I-17 (Interna), registrándose las mayores abundancias en la laguna Interna (**Tabla N° 10-23**).

En relación con los valores de diversidad y equidad, la mayor diversidad y equidad se observó en la estación SA-25 (Saladita) con valores de 1,22 nits/ind y 0,76 unidades, respectivamente. En cambio, la menor diversidad y equidad se presentó en I-17 (Interna) con valores de 0,53 nits/ind y 0,38 unidades, respectivamente (**Tabla N° 10-23**).

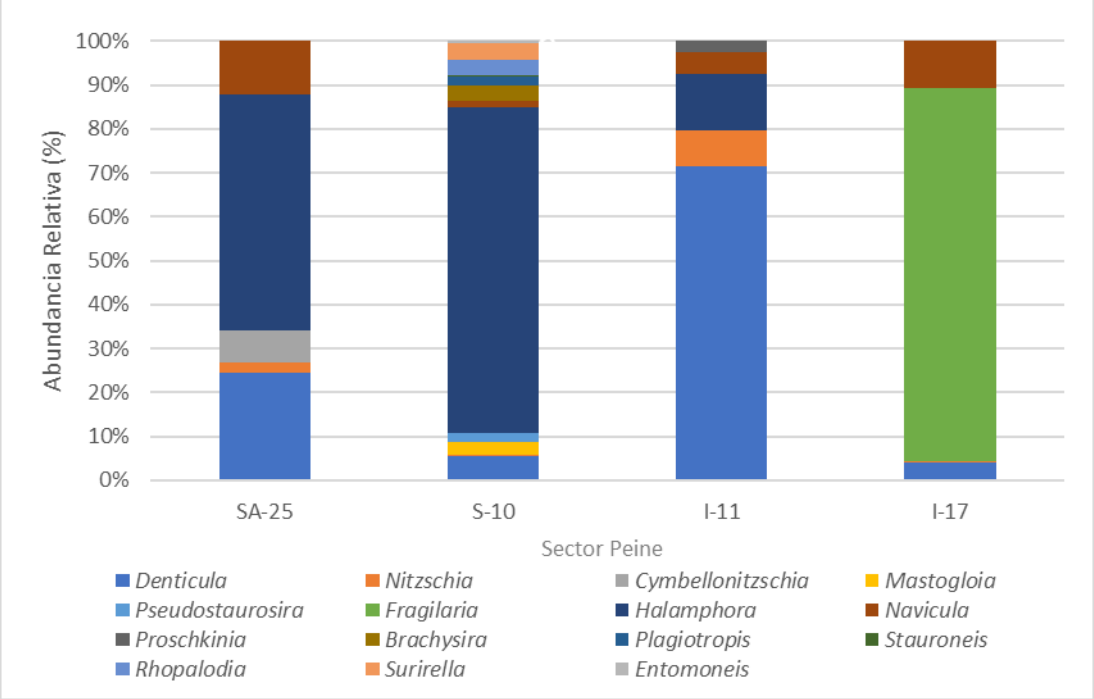
Respecto de los *taxa* dominantes registrados durante la campaña de invierno 2024, se detectó que las mayores representatividades fueron para las diatomeas *Fragilaria* y *Denticula*.

Tabla N° 10-23. Comunidad fitoplancton, Abundancia (cel/mL) y Riqueza en Sector Peine. Campaña Invierno 2024.

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones					
				Sector Peine					
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Denticula*	Sin acceso por periodo reproductivo de flamencos	Sin acceso por periodo reproductivo de flamencos	5,0	63,3	936,8	97,3
			Nitzschia			0,5	4,2	108,4	9,6
			Cymbellonitzschia			1,5			
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	*Mastogloia*				33,6		
	Fragilariales	Fragilariaceae	*Pseudostaurosira*				25,1		
			Fragilaria						2.029,6
	Naviculales	Amphipleuraceae	*Halamphora*			11,0	874,2	167,0	
		Naviculaceae	*Navicula*			2,5	17,0	67,8	255,8
		Proschkiniaceae	*Proschkinia*					31,7	
		Brachysiraceae	*Brachysira*				42,1		
		Plagiotropidaceae	*Plagiotropis*				21,1		
		Stauroneidaceae	*Stauroneis*				4,2		
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*				42,0		
	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*				46,3		
		Entomoneidaceae	*Entomoneis*				4,2		
Límites LB (*)		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación Invierno 2024**					
Abundancia total (cel/mL)		**29**	**5.280**	**-**	**-**	**21**	**1.177**	**1.312**	**2.392**
Riqueza de géneros (S)		**4**	**12**	**-**	**-**	**5**	**12**	**5**	**4**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**-**	**-**	**1,22**	**1,12**	**0,95**	**0,53**
Equidad (J')		**-**	**-**	**-**	**-**	**0,76**	**0,45**	**0,59**	**0,38**

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

Figura N° 10-7. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Peine (Invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.3 Zooplancton

Los organismos zooplanctónicos son animales invertebrados cuyas características distintivas son su tamaño principalmente microscópico, su movilidad limitada, ser dependientes de los movimientos verticales y horizontales del agua (Samanez *et al*., 2014) y ser organismos heterótrofos (componente animal del plancton) (Wetzel, 2001). Estos organismos son los consumidores secundarios de los ecosistemas acuáticos, siendo activos filtradores del fitoplancton o bien, de dieta omnívora consumiendo tanto microalgas como zooplancteres en estado larvario (De los Ríos-Escalante, 2010). A continuación, se presentan los resultados del zooplancton obtenidos en la campaña de invierno 2024.

10.2.2.3.3.1 Sector La Punta y La Brava

En el sector de las lagunas La Punta y La Brava en invierno de 2024, se registraron riquezas entre 1 y 2 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos, siendo la máxima obtenida en la estación LB-1 y la mínima de un taxón en el resto de las estaciones del sector. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por los copépodos Calanoida *Boeckella* sp., copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp. *y* los insectos dípteros de la familia Ephydridae. Los *taxa* con mayor frecuencia fueron *Tigriopus* sp. en laguna La Brava y *Boeckella* sp. en laguna La Punta. Las abundancias totales de zooplancton por estación tuvieron un rango de 0,63 a 11,75 ind/L, con el mínimo obtenido en LB-3 y el máximo en LB-1 (**Tabla N° 10-24**).

El organismo más abundante fue *Tigriopus* sp., alcanzando 11,69 ind/L en LB-1, seguido por *Boeckella* sp. que obtuvo un máximo de 7,50 ind/L en LP-24. La estructura comunitaria del zooplancton en este sector muestra que el grupo dominante en laguna La Punta fue el copépodo *Boeckella* sp., mientras que en La Brava fue el copépodo *Tigriopus* sp. (**Tabla N° 10-24** y **Figura N° 10-8**).

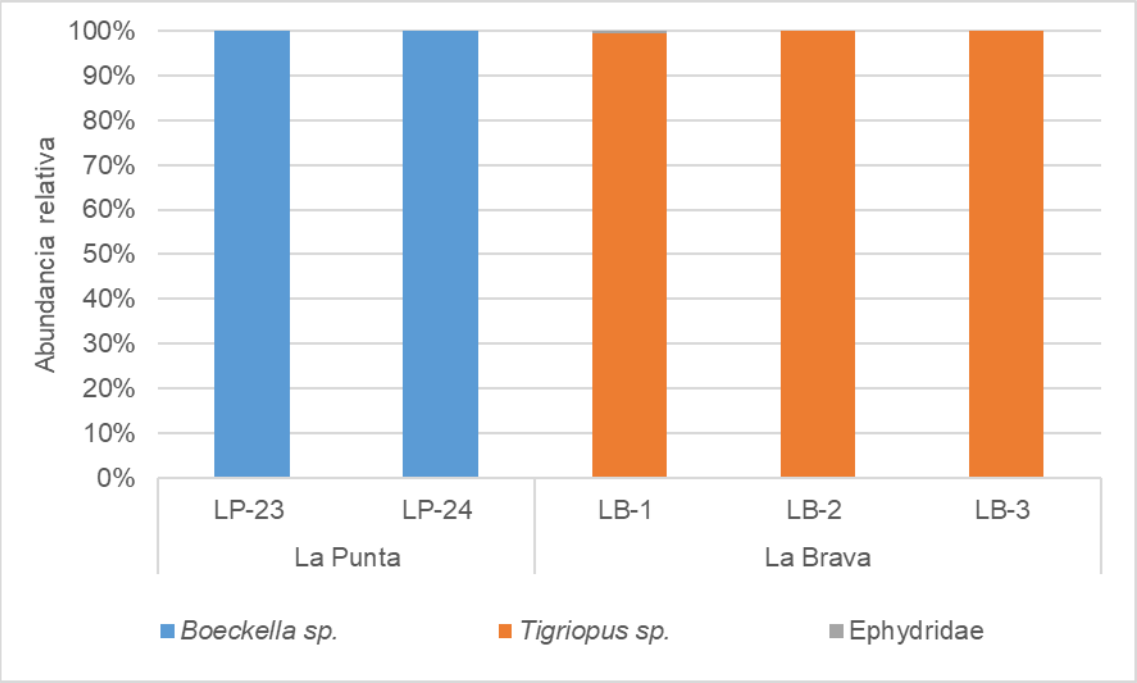
Respecto a la diversidad y equidad solo en la estación LB-1 se pudieron estimar (≥ 2 *taxa*), donde la diversidad alcanzó 0,03 nits/ind y la equidad fue baja obteniéndose un valor de 0,05, esto debido a la baja riqueza registrada y a que las abundancias de sus *taxa* fueron disímiles. Para el resto de las estaciones del sector no se pudieron estimar estos índices, debido a que solo se encontró un taxón en cada estación (**Tabla N° 10-24**).

Tabla N° 10-24. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2024.

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Copepoda	Calanoida	Centropagidae	*Boeckella sp.*	2,80	7,50			
Copepoda	Harpacticoida	Harpacticidae	*Tigriopus sp.*			11,69	10,56	0,63
Insecta	Diptera	Ephydridae	Ephydridae			0,06		
Límites LB		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación en Invierno 2024**				
Abundancia total (Ind/L)		**0**	**239,1**	**2,80**	**7,50**	**11,75**	**10,56**	**0,63**
Riqueza de taxa (S)		**0**	**4**	**1**	**1**	**2**	**1**	**1**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**-**	**-**	**0,03**	**-**	**-**
Equidad (J')		**-**	**-**	**-**	**-**	**0,05**	**-**	**-**

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector, durante las campañas de invierno de 2008, 2013 y 2014 de la Línea Base.

Figura N° 10-8. Abundancia relativa del zooplancton en Sector La Punta y La Brava (invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.3.2 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2024, se registraron riquezas entre 0 y 2 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación "En Peligro Crítico" según el DS 52 MMA del 2014), por los insectos dípteros (Chironomidae) *Corynoneura* sp. y los Colémbolos *Podura* sp. Las abundancias totales del zooplancton por estación tuvieron un rango de 0,00 a 1,75 ind/L, con el mínimo de cero individuos obtenido en TB-1 y el máximo en TB-2. Los organismos dominantes fueron el Colémbolo *Podura* sp. en TB-2 (1,25 ind/L) y el gasterópodo *Heleobia atacamensis* en TB-3 (1,38 ind/L), siendo este último el único taxón del zooplancton encontrado en esa estación (**Tabla N° 10-25** y **Figura N° 10-9**).

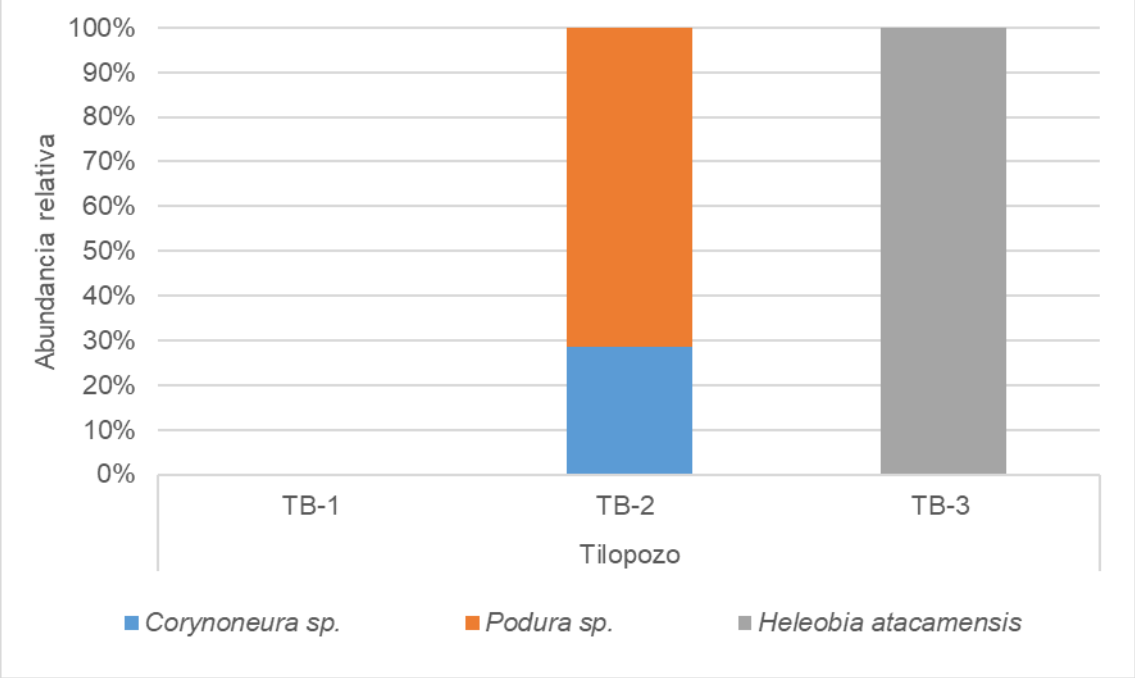
Respecto a los índices comunitarios, solo en la estación TB-2 se pudieron estimar (≥ 2 *taxa*), donde la diversidad alcanzó 0,60 nits/ind y la equidad fue alta (0,86), debido a la baja riqueza registrada y a que las abundancias de sus *taxa* fueron similares. Por su parte en TB-1 y TB-3 no se pudieron estimar estos índices debido a que se encontró cero *taxa* y un taxón, respectivamente (**Tabla N° 10-25**).

Tabla N° 10-25. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2024.

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Insecta	Diptera	Chironomidae Sub.F.: Orthocladiinae	*Corynoneura sp.*		0,50	
Collembola	Poduromorpha	Poduridae	*Podura sp.*		1,25	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	*Heleobia atacamensis*			1,38
Abundancia total (Ind/L)				**0,00**	**1,75**	**1,38**
Riqueza de taxa (S)				**0**	**2**	**1**
Diversidad Shannon (nits/ind)				**-**	**0,60**	**-**
Equidad (J')				**-**	**0,86**	**-**

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-9. Abundancia relativa del zooplancton Sector Tilopozo (invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.3.3 Sector Peine

En el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), en la campaña de invierno 2024 no fue posible acceder a realizar las labores de monitoreo en las estaciones S-9 y S-5 (laguna Salada), debido al cierre de acceso a esa laguna por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas y Prohibiciones.**

En la comunidad de zooplancton del sector de Peine en invierno 2024, se observaron riquezas entre 0 y 2 *taxa* en las estaciones de muestreo, siendo la máxima obtenida en la estación I-17 (laguna Interna) y la mínima de cero *taxa* en la estación S-10 (laguna Saladita). La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta principalmente por copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp., por el branquiópodo *Artemia franciscana* y larvas de insectos de las familias Ephydridae y Muscidae (**Tabla N° 10-26**).

Los valores de abundancia total por estación para el zooplancton variaron entre 0,00 ind/L en S-10 (laguna Saladita) y 0,38 ind/L en I-11 (laguna Interna). Los organismos con mayor abundancia en el sector Peine fueron los copépodos *Tigriopus* sp., obteniendo su máximo registro de 0,38 ind/L en I-11 (laguna Interna) y siendo el único taxón del zooplancton encontrado en esa estación. Por su parte *A. franciscana* se encontró en baja abundancia, registrándose sólo en laguna Interna (I-17) con 0,08 ind/L y compartiendo la dominancia en esa estación (igual abundancia) con larvas de moscas Muscidae (**Tabla N° 10-26** y **Figura N° 10-10).**

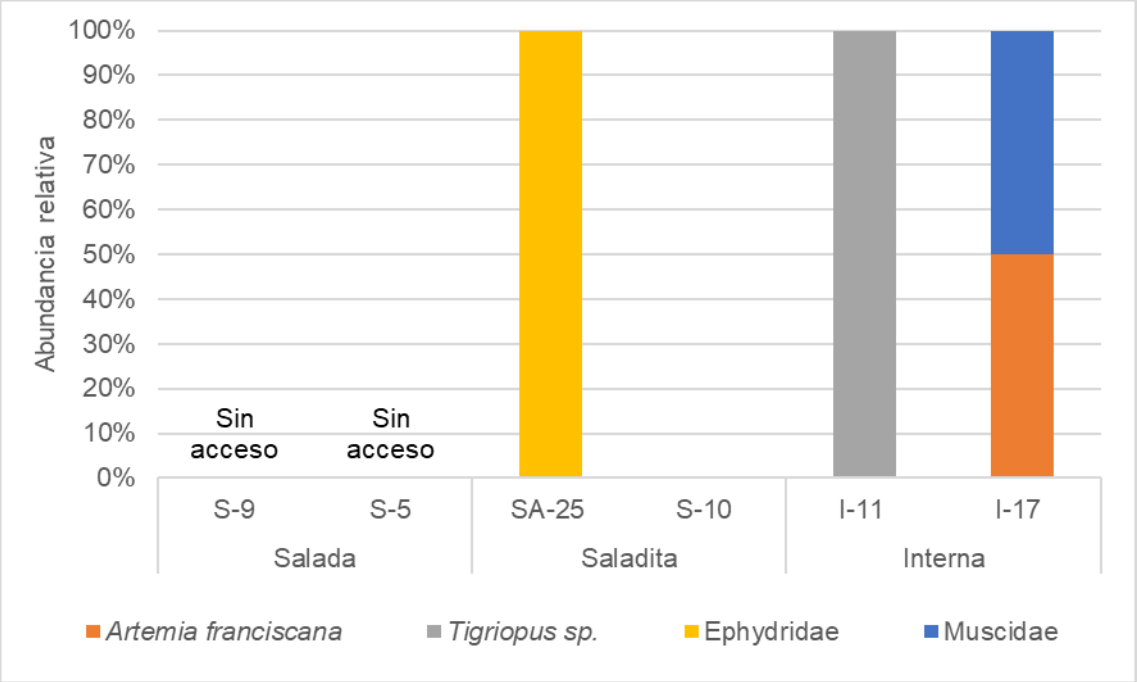
Respecto a la diversidad y equidad solo en la estación I-17 se pudieron estimar (≥ 2 *taxa*), donde la diversidad alcanzó los 0,69 nits/ind y la equidad fue alta obteniéndose un valor de 1,00, esto debido a la baja riqueza registrada y a que las abundancias de sus *taxa* fueron iguales. Para el resto de las estaciones del sector no se pudieron estimar estos índices, debido a que se encontró cero *taxa* o un taxón en esas estaciones (**Tabla N° 10-26**).

Tabla N° 10-26. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Peine. Campaña Invierno 2024.

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Branchipoda	Anostraca	Artemiidae	*Artemia franciscana*	Sin acceso	Sin acceso				0,08
Copepoda	Harpacticoida	Harpacticidae	*Tigriopus sp.*					0,38	
Insecta	Diptera	Ephydridae	Ephydridae			0,03			
Insecta	Diptera	Muscidae	Muscidae						0,08
Límites LB		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación en Invierno 2024**					
Abundancia total (Ind/L)		**0,3**	**137,3**	**-**	**-**	**0,03**	**0,00**	**0,38**	**0,17**
Riqueza de taxa (S)		**1**	**4**	**-**	**-**	**1**	**0**	**1**	**2**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0,69**
Equidad (J')		**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**1,00**

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector, durante las campañas de invierno de 2008, 2013 y 2014 de la Línea Base.

Figura N° 10-10. Abundancia relativa del zooplancton Sector Peine (invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.4 Zoobentos

Se refiere a la fauna de invertebrados que habita los sustratos sumergidos de los medios acuáticos. En las lagunas salinas el zoobentos está constituido por crustáceos como anfípodos y copépodos, larvas de insectos (Chironomidae, Ceratopogonidae, Ephydridae, 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). Los organismos zoobentónicos corresponden a consumidores secundarios de los ecosistemas acuáticos, siendo activos carnívoros, herbívoros y detritívoros, siendo el eslabón entre los productores primarios, los consumidores secundarios y los niveles tróficos superiores. A continuación, se presentan los resultados del zoobentos de la campaña de monitoreo de invierno 2024.

10.2.2.3.4.1 Sector La Punta y La Brava

En el sector La Punta y La Brava en invierno 2024, el zoobentos presentó una riqueza de *taxa* entre 1 y 4, ocurriendo el máximo en las estaciones LP-23 (La Punta) y LB-3 (La Brava). La fauna estuvo compuesta por ostrácodos Cyprididae, insectos dípteros *Dasyhelea* sp. (Ceratopogonidae) y de la familia Muscidae, gasterópodos *Heleobia* sp., los anfípodos *Hyalella* sp y los copépodos *Tigriopus* sp. (**Tabla N° 10-27**).

Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 130 ind/m^2 (LB-2) a 19.878 ind/m^2 (LB-1). Los organismos más abundantes fueron los ostrácodos Cyprididae

siendo mayoritarios y dominantes en LB-1 (19.878 ind/m^2). Fueron seguidos en abundancia por los dípteros *Dasyhelea* sp., siendo estos dominantes en LP-23, LP-24 y LB-3, alcanzando su máxima abundancia en La Punta (LP-23; 1.949 ind/m^2). Respecto a los gasterópodos *Heleobia* sp., alcanzaron una mayor abundancia en LB-3 con 650 ind/m^2, registrándose también en LP-23 y LP-24 con 260 ind/m^2, respectivamente. Por su parte los copépodos *Tigriopus* sp. se encontraron en LB-2 siendo el único taxón del zoobentos registrado en esa estación (**Tabla N° 10-27** y **Figura N° 10-11**).

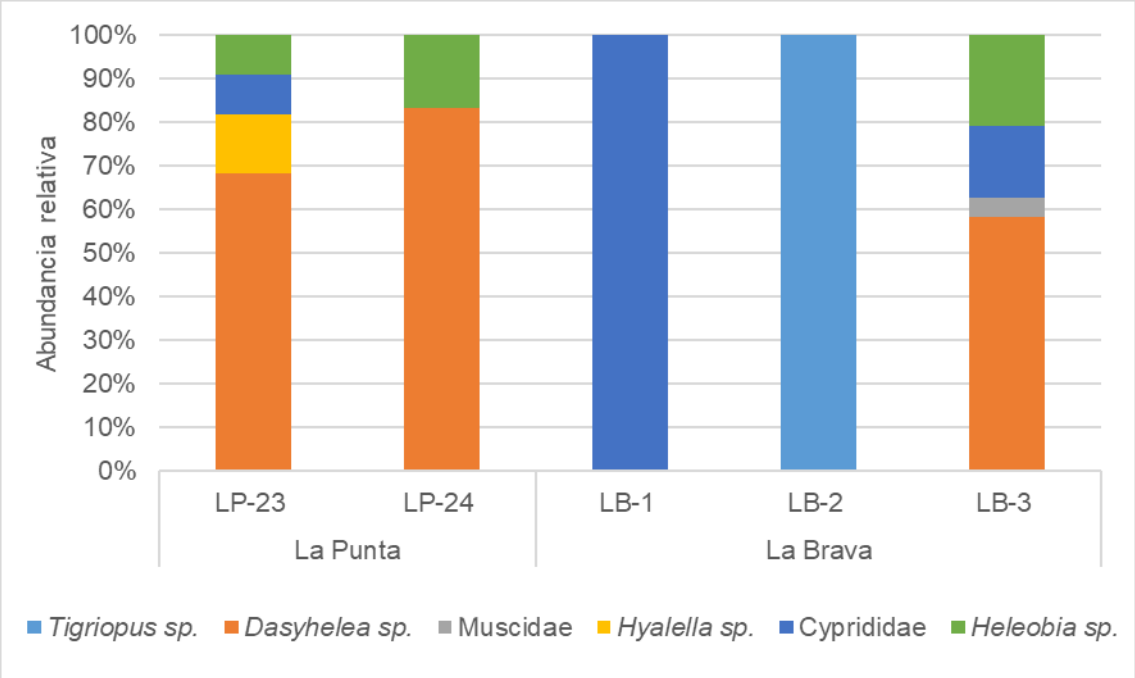
Las estimaciones de diversidad estuvieron entre 0,45 y 1,07 nits/ind, y la equidad tuvo estimaciones bajas (≤0,77), dado porque las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser distintas entre sí (**Tabla N° 10-27**).

Tabla N° 10-27. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m^2) y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Invierno 2024.

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Copepoda	Harpacticoida	Harpacticidae	*Tigriopus sp.*				130	
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	*Dasyhelea sp.*	1.949	1.299			1.819
Insecta	Diptera	Muscidae	Muscidae					130
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	*Hyalella sp.*	390				
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae	260		19.878		520
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	*Heleobia sp.*	260	260			650
Límites LB		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación en Invierno 2024**				
Abundancia total (Ind/m²)		**-**	**-**	**2.858**	**1.559**	**19.878**	**130**	**3.118**
Riqueza de taxa (S)		**0**	**6**	**4**	**2**	**1**	**1**	**4**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**0,97**	**0,45**	**-**	**-**	**1,07**
Equidad (J')		**-**	**-**	**0,70**	**0,65**	**-**	**-**	**0,77**

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB corresponden al valor mínimo y máximo de riqueza de *taxa* registrados en este sector, durante las campañas de Invierno 2013 y 2014 de la Línea Base.

Figura N° 10-11. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.4.2 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en invierno de 2024, el zoobentos presentó una riqueza de 1 taxón en cada una de las estaciones monitoreadas, que correspondió al gasterópodo de la especie *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación "En Peligro Crítico" según el DS 52 MMA del 2014).

Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 130 ind/m^2 (TB-2 y TB-3) a 390 ind/m^2 (TB-1). Respecto a los índices comunitarios, no se pudieron estimar debido a que se encontró solo un taxón en cada estación (**Tabla N° 10-28**).

Tabla N° 10-28. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m^2) y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Invierno 2024.

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	*Heleobia atacamensis*	390	130	130
			Abundancia total (Ind/m²)	**390**	**130**	**130**
			Riqueza de taxa (S)	**1**	**1**	**1**
			Diversidad Shannon (nits/ind)	**-**	**-**	**-**
			Equidad (J')	**-**	**-**	**-**

Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.4.3 Sector Peine

En el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), en la campaña de invierno 2024 no fue posible acceder a las estaciones S-9 y S-5 (laguna Salada), debido al cierre de acceso a esa laguna por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas y Prohibiciones.**

En las lagunas muestreadas del sector Peine en invierno 2024, el zoobentos registró una riqueza entre 0 y 4 *taxa*, encontrándose el máximo en la estación S-10 (laguna Saladita). La fauna zoobentónica en este sector estuvo compuesta por los copépodos *Tigriopus* sp., los insectos dípteros *Dasyhelea* sp. y Muscidae, además de los gasterópodos *Heleobia* sp. Las abundancias totales por estación tuvieron valores de 0 ind/m^2 en I-17 a 16.500 ind/m^2 en S-10. Los organismos más abundantes fueron los copépodos *Tigriopus* sp, siendo dominantes en laguna Salada y alcanzando los 14.811 ind/m^2 en S-10. Fueron seguidos por los dípteros *Dasyhelea* sp. que alcanzaron 1.039 ind/m^2 en I-11 (laguna Interna), siendo el único taxón dominante en esa estación. Cabe también mencionar a los gasterópodos *Heleobia* sp que alcanzaron 1.169 ind/m^2 en la estación S-10 (laguna Saladita) (**Tabla N° 10-29** y **Figura N° 10-12**).

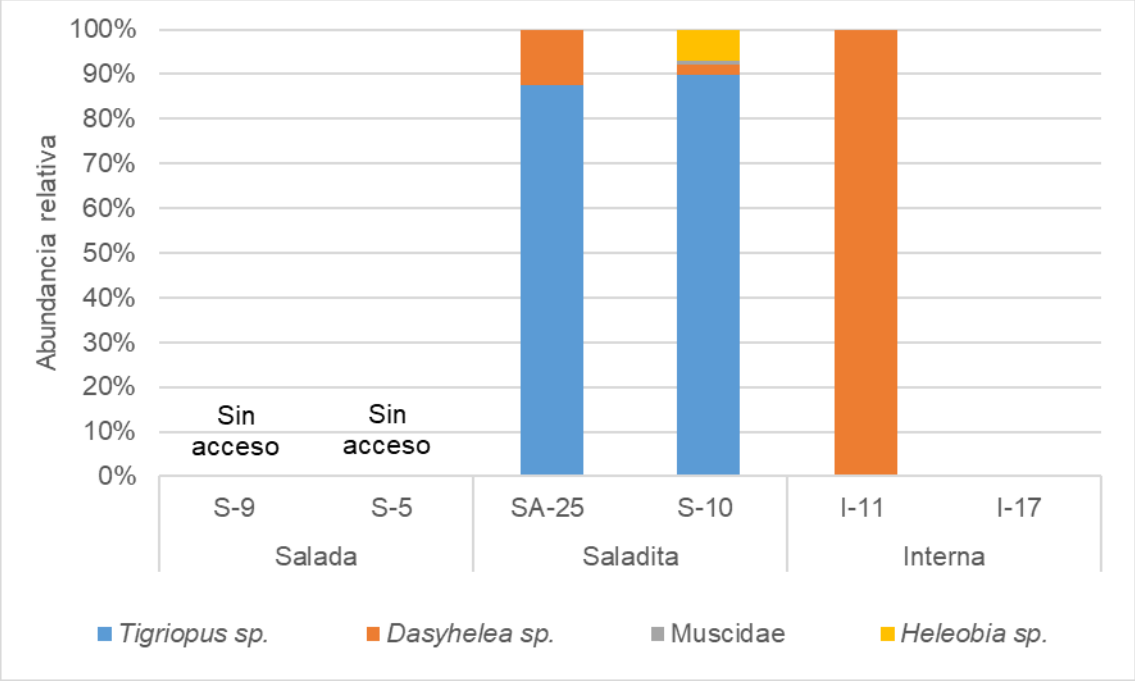
Respecto a los índices comunitarios, las estimaciones de diversidad estuvieron entre 0,38 nits/ind en SA-25 y 0,41 nits/ind en S-10, no pudiéndose estimar en las estaciones I-11 e I-17, por registrarse solo un taxón y cero *taxa*, respectivamente. Las equidades fueron bajas, la máxima estimada alcanzó solo 0,54 en SA-25, lo cual está dado por que las abundancias por *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 10-29**).

Tabla N° 10-29. Comunidad de zoobentos, abundancia (ind/m^2) y riqueza en Sector Peine. Campaña Invierno 2024.

Clase	Orden	Familia	Taxa	Salada		Saladita		Interna	
				S-9	S-5	SA-25	S-10	I-11	I-17
Copepoda	Harpacticoida	Harpacticidae	*Tigriopus sp.*	Sin acceso	Sin acceso	909	14.811		
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	*Dasyhelea sp.*			130	390	1.039	
Insecta	Diptera	Muscidae	Muscidae indet.				130		
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	*Heleobia sp.*				1.169		
Límites LB		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación en Invierno 2024**					
Abundancia total (Ind/m²)		**-**	**-**	**-**	**-**	**1.039**	**16.500**	**1.039**	**0**
Riqueza de taxa (S)		**2**	**5**	**-**	**-**	**2**	**4**	**1**	**0**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**-**	**-**	**0,38**	**0,41**	**-**	**-**
Equidad (J')		**-**	**-**	**-**	**-**	**0,54**	**0,30**	**-**	**-**

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

Figura N° 10-12. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Peine (invierno 2024).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.2.3.5 Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

La comunidad de plantas vasculares acuáticas (macrófitas), corresponde a la comunidad que conforma la vegetación acuática, ya sea especies de vegetación emergente o sumergida, ya sea enraizada o flotante, en los sistemas acuáticos (Ramírez & San Martín 2006). Por otra parte, se debe distinguir entre hidrófita que corresponde a las plantas que viven todo su ciclo de vida dentro del agua en zonas litorales de lagos, lagunas, ríos entre otros y helófita que corresponde a las plantas que son dependientes de la presencia de agua, generalmente están presentes en ambientes más de ribera y terrestres (ambientes palustres), y son capaces de tolerar alta desecación (Lacoul y Freedman 2006).

En la campaña de invierno 2024, como se indicó anteriormente, no se pudo acceder a las estaciones S-9 y S-5 (Salada) del sector de Peine, debido a las restricciones de acceso ya señaladas, por lo que no fue muestreado en la presente campaña (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**). En tanto, para las demás lagunas de Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, fueron detectadas 9 especies, las que correspondieron a las hidrófitas *Ruppia filifolia y Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Distichlis spicata*, *Juncus balticus* y *Baccharis linearis*.

Con relación al origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación (**Tabla N° 10-31**).

Tabla N° 10-30. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (Invierno 2024).

Clase	Familia	Especie	Nombre Común	Hábito	Origen
Liliopsida	Ruppiaceae	*Ruppia filifolia*	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	*Zannichellia palustris*	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	*Schoenoplectus californicus*	Totora	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	*Triglochin concinna*	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	*Puccinellia frigida*	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	*Distichlis spicata*	Grama salada	Helófita	Nativa
	Juncaceae	*Juncus balticus*	Junco	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Amaranthaceae	*Sarcocornia fruticosa*	Hierba sosa	Helófita	Nativa
	Asteraceae	*Baccharis linearis*.	Romerillo	Helófita	Nativa

Fuente: Elaboración propia.

Los sectores de Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza de plantas vasculares acuáticas (**Tabla N° 10-31**), en el que se detectaron 1 especie para Peine, 4 especies para La Punta-La Brava y 5 especies para vegas de Tilopozo. La estación con mayor riqueza de especies correspondió a LP-23 (La Punta) con 4 especies y con el menor registro se observó a las estaciones I-11, I-17 (Interna) y LB-1 (La Brava) con 0 especies.

Respecto a la cobertura (%), se observó en el sector La Punta-La Brava la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en algunas estaciones de monitoreo. En el sector La Punta-La Brava se observaron coberturas entre 8% en la estación LP-23 y 23% en la estación en LB-3, cabe destacar que, esta especie hidrófita fue detectada siempre sumergida.

Por otra parte, en las orillas de la laguna La Punta en la estación LP-23 se reportó a las helófitas emergentes *Triglochin concinna* y *Puccinellia frigida* con un 7% y *Sarcocornia fruticosa* (53%). En la estación LP-24 se detectó un parche de *S. fruticosa* de 30%. En la laguna La Brava se reportó un pequeño parche aislado de *T. concinna* con 30% en LB-2.

En tanto, en el sector de vegas de Tilopozo, se detectó la presencia de la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* con porcentajes de cobertura de 33% en las estaciones TB-3 y TB-1. Además de la presencia de las helófitas emergentes, *Schoenoplectus californicus* con coberturas entre 33% y 67% en TB-3 y TB-2 respectivamente, *Distichlis spicata* con 50% en TB-1 y 30% en TB-2. *Juncus balticus* con coberturas entre el 3% y 17% en TB-2 y TB-1 y por último *Baccharis linearis* con un 33% de cobertura en TB-3 (**Tabla N° 10-31**).

Respecto del sector Peine, se detectó la presencia solo de la hidrófita sumergida *Ruppia filifolia* en algunas estaciones de monitoreo, específicamente, en las estaciones SA-25 y S-10 de la laguna Saladita con porcentajes de 62% y 47%.

Tabla N° 10-31. Comunidad de Plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura en el área de estudio (Campaña invierno 2024).

Especie	Estaciones													
	Sector Peine						Sector La Punta - La Brava					Sector Tilopozo		
	S5	S9	SA 25	S10	I11	I17	LP 23	LP 24	LB1	LB2	LB3	TB1	TB2	TB3
Ruppia filifolia	Sin acceso	Sin acceso	X (62%)	X (47%)			X (8%)	X (7%)			X (23%)			
Zannichellia palustris												X (33%)		X (33%)
Schoenoplectus californicus													X (67%)	X (33%)
Triglochin concinna							X (7%)			X (30%)				
Puccinellia frigida							X (7%)							
Distichlis spicata												X (50%)	X (30%)	
Juncus balticus												X (17%)	X (3%)	
Sarcocornia fruticosa							X (53%)	X (30%)						
Baccharis linearis														X (33%)
Riqueza Total	-	-	1	1	0	0	4	2	0	1	1	3	3	3

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

10.2.3 Resultados del muestreo campaña de verano 2025 (Calidad de agua, sedimento y Biota Acuática)

10.2.3.1 Resultados Calidad de agua

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de verano 2025 de los parámetros de calidad de agua evaluados en las diferentes estaciones de los sectores de estudio. Los certificados de laboratorio se presentan en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**.

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

10.2.3.1.1 Resultados Sector La Punta y La Brava

Los valores obtenidos para el Sector de La Punta y La Brava en verano 2025 se caracterizaron por presentar, como es habitual, una alta conductividad (entre 29.500 y 139.200 µS/cm) y elevadas salinidades (entre 15,37 y 70 g/Kg). La variación de estos parámetros está asociada principalmente al alto contenido de sales como cloruro (entre 7.291,3 y 61.649,8 mg/L) y sulfato (entre 1.810,1 y 10.796,5 mg/L), siendo las estaciones LB-1 y LB-2 de laguna La Brava las que presentaron el mayor contenido de sales comparado con el resto de las estaciones monitoreadas en el sector (114.400 y 139.200 µS/cm en conductividad, respectivamente). En esta campaña y al igual que en las anteriores, en la estación LB-3 ubicada en la desembocadura de un afluente de laguna La Brava, se registraron los menores valores de conductividad, salinidad, cloruros y sulfatos del sector (conductividad 29.500 µS/cm). En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades menores que en la estación LB-2 de La Brava, aunque también fueron altos como propios de un salar, con valores para LP-23 y LP-24 de 56.330 y 65.780 µS/cm en conductividad y de 38,29 g/Kg y 44,23 g/Kg en salinidad, respectivamente. En esta laguna se registraron también altas concentraciones en cloruro (>18.270 mg/L) y sulfato (>3.171 mg/L) (**Tabla N° 10-32**).

Las temperaturas registradas en la campaña verano 2025 para el sector estuvieron acordes con la baja profundidad de sus cuerpos de agua (19,58 a 31,54 °C), junto con un pH de neutro a moderadamente alcalino que fluctuó entre 7,88 y 8,2 unidades. Estos últimos valores se relacionan con los parámetros de alcalinidad total y bicarbonato (61 a 440 mg/L). El oxígeno disuelto presentó concentraciones que oscilaron entre 1,45 y 4,08 mg/L, observándose el mayor valor en LB-3 (afluente de La Brava) y los menores en LB-1 y LB-2. Por su parte la clorofila “a” presentó una variación entre <0,02 y 6,98 µg/L con su máximo registro en LB-1 (La Brava). La turbiedad tuvo un rango de valores entre 0,6 y 18,8 UNT (máximo en LP-23). Los compuestos nitrogenados correspondientes al nitrito, nitrato, amonio y Nitrógeno Total Kjeldhal, presentaron en todas las estaciones valores por debajo del límite de detección. El

fósforo total y el ortofosfato presentaron también valores por debajo del límite de detección en todas las estaciones, al igual que el parámetro de aceites y grasas (**Tabla N° 10-32**).

Tabla N° 10-32. Resultados de calidad de agua en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2025.

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	25,4	23,83	19,58	22,65	26,57	31,54
pH (*)	Unidad de pH	-	7,89	8,38	8,11	8,2	7,96	7,88	8,2
Conductividad (*)	µS/cm	-	49.000	149.500	56.330	65.780	114.400	139.200	29.500
Salinidad (*)	g/kg	-	35,6	36,3	38,29	44,23	15,37	70	17,27
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	2,69	9,72	3,13	2,7	1,76	1,45	4,08
Turbiedad (*)	UNT	-	3	31,4	18,8	3,9	2,3	2,6	0,6
Clorofila "a"	µg/L	0,02	0	31,9	0,89	<0,02	6,98	<0,02	0,05
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m²	0,02	-	-	14,53	<0,02	115,06	<0,02	0,81
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	1	-	-	<1	34	<1	<1	<1
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1	309	806	388	440	273	61	303
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	1	240,51	311,1	388	372	273	61	303
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	1	156,67	307,54	<1	68	<1	<1	<1
Cloruro (Cl-)	mg/L	0,101	18.293	58.199	18.270,8	23.859,3	7.291,3	61.649,8	9.461,0
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	0,203	0,18	0,245	<0,203	<0,203	<0,203	<0,203	<0,203
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	0,039	<0,0002	<0,0002	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039
Amonio (N-NH4+)	mg/L	0,001	0,044	0,268	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	<0,1	3,19	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Fósforo Total (P)	mg/L	0,0004	<0,05	3,77	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Ortofosfato	mg/L	0,5	0,255	3,29	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO4-2)	mg/L	0,112	2.923	7.017	3.171,8	4.067,5	1.810,1	10.796,5	2.163,9
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	40,3	<4	<4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (*) Parámetros registrados *in situ*. (**) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante las campañas de verano de 2014 y 2015 de la Línea Base.

10.2.3.1.2 Resultados Sector Tilopozo

El Sector Tilopozo, corresponde a un sistema de vegas mucho menos salino respecto de La Punta y La Brava (**Tabla N° 10-33**), mostrando en verano 2025 valores de conductividad entre 4.219 y 4.252 µS/cm, de salinidad entre 2,17 y 2,25 g/Kg, el cloruro entre 920,2 y 963,6 mg/L y el sulfato de 417,3 a 527,9 mg/L. Se registró un pH neutro de 6,83 a 7,2 y valores de alcalinidad total y de bicarbonato entre 348 y 358 mg/L. Las temperaturas registradas en estos cuerpos de agua fueron altas y estables, las cuales oscilaron entre 24,72 y 25,4 °C, mientras

que el oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 1,18 y 2,22 mg/L. Cabe mencionar que la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad y las estaciones TB-1 y TB-3 correspondieron a pozas de <2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial.

Por otro lado, la turbiedad en este sector mostró valores entre 0,6 y 280 UNT, la clorofila “a” en fitoplancton presentó valores entre <0,02 y 0,17 µg/L y la clorofila en Perifiton entre <0,02 y 2,77 mg cl-a/m², observándose los máximos de estos parámetros en TB-3. En relación a los compuestos nitrogenados, el nitrato y el nitrito presentaron valores por debajo el límite de detección en todas las estaciones del sector, mientras que el amonio presentó valores entre 0,01 y 0,063 mg/L y el Nitrógeno Total Kjeldhal registros entre 0,024 y 0,085 mg/L, obteniéndose los mayores valores en TB-2. En el caso del fósforo total y el ortofosfato presentaron valores por debajo del límite de detección, al igual que el parámetro de aceites y grasas, en todas las estaciones del Sector Tilopozo (**Tabla N° 10-33**).

Tabla N° 10-33. Resultados de calidad de agua en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2025.

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Tilopozo		
			TB-1	TB-2	TB-3
Temperatura (*)	°C	-	25,4	24,72	25,4
pH (*)	Unidad de pH	-	6,89	7,2	6,83
Conductividad (*)	µS/cm	-	4.252	4.248	4.219
Salinidad	g/kg	-	2	2,17	2,25
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	-	2,22	1,5	1,18
Turbiedad (*)	UNT	-	1,9	0,6	280
Clorofila "a"	µg/L	0,02	<0,02	<0,02	0,17
Clorofila en Perifiton	mg cl-a/m²	0,02	<0,02	<0,02	2,77
Alcalinidad Parcial (CaCO3)	mg/L	1	<1	<1	<1
Alcalinidad Total (CaCO3)	mg/L	1	351	348	358
Bicarbonato (CaCO3)	mg/L	1	351	348	358
Carbonatos (CaCO3)	mg/L	1	<1	<1	<1
Cloruro (Cl-)	mg/L	0,101	922,0	920,2	963,6
Nitrato (N-NO3-)	mg/L	0,203	<0,203	<0,203	<0,203
Nitrito (N-NO2-)	mg/L	0,039	<0,039	<0,039	<0,039
Amonio (N-NH4+)	mg/L	0,001	0,01	0,063	0,043
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	0,01	0,024	0,085	0,044
Fósforo Total (P)	mg/L	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Ortofosfato	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sulfato (SO4-2)	mg/L	0,112	417,3	419,3	527,9
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	4	<4	<4	<4

Fuente: Elaboración propia. (*) Parámetros registrados *in situ*.

10.2.3.1.3 Resultados Sector Peine

En el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos, no fue posible realizar el monitoreo de verano 2025**.** Ver información de respaldo en **Anexo Cartas y Prohibiciones.**

10.2.3.2 Resultados Calidad de sedimentos

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para los parámetros de calidad de sedimentos evaluados en las diferentes estaciones de los sectores de estudio, durante la campaña de verano 2025. Los certificados de laboratorio se presentan en el **Anexo Limnología – Sedimentos**.

10.2.3.2.1 Resultados Sector La Punta y La Brava

En la **Tabla N° 10-34** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2025 del Sector de La Punta - La Brava. La concentración de carbono orgánico total y porcentaje de materia orgánica variaron de 43,85 a 138,17 g/Kg y de 7,56% a 23,82%, respectivamente, registrándose los valores más altos para estos parámetros en la estación LB-1 en laguna La Brava. El Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en el sedimento, varió entre 0,652 y 2,442 g/Kg, con el mayor valor registrado en LB-1 (La Brava). Respecto al fósforo total, los valores estuvieron entre <500 mg/Kg (mayoría de las estaciones) y 1.400 mg/Kg (LP-24 de La Punta). Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, en todas las estaciones se registraron valores negativos que indican sedimentos donde se favorecen reacciones de reducción, con valores entre -398 mV (LB-2) y -382 mV (LB-1).

Tabla N° 10-34. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2025.

Parámetro	Unidad	L.D.	Min LB (*)	Max LB (*)	La Punta		La Brava		
					LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	**22**	**48**	73,09	43,85	138,17	49,25	50,41
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	**8**	**55**	<500	1400	<500	<500	<500
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,00312	**1,596**	**6,351**	1,291	0,879	2,442	0,905	0,652
Materia Orgánica	%	0,28	**3,9**	**8,2**	12,6	7,56	23,82	8,49	8,69
Potencial Redox	mV	-	**-161,6**	**-61**	-397	-396	-382	-398	-383

Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante la campaña de verano de 2015 de la Línea Base (única campaña de referencia para este componente). L.D.= Límite de detección. Cabe mencionar que a partir del verano 2022 el límite de detección del Fósforo Total fue actualizado por el laboratorio a 500 mg/Kg.

En relación con el análisis granulométrico, en laguna La Punta los diámetros medios de grano obtenidos en LP-23 y LP-24, respectivamente, correspondieron a *Arena Fina* (0,146 mm) y *Arena Muy Gruesa* (1,022 mm), con un grado de selección de *Muy pobremente seleccionado* a *Pobremente seleccionado*. En laguna La Brava, el diámetro medio de grano en las tres estaciones fue de *Arena Gruesa* (0,723 mm a 0,944 mm), con grados de selección de *Muy pobremente seleccionado* a *Pobremente seleccionado* (**Tabla N° 10-35**).

Tabla N° 10-35: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2025.

Estación	Diámetro medio (*)		Grado de selección (*)	
	(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
LP-23	0,146	Arena Fina	0,0079	Muy pobremente seleccionado
LP-24	1,022	Arena Muy Gruesa	0,0026	Pobremente seleccionado
LB-1	0,770	Arena Gruesa	0,0043	Muy pobremente seleccionado
LB-2	0,944	Arena Gruesa	0,0033	Pobremente seleccionado
LB-3	0,723	Arena Gruesa	0,0026	Pobremente seleccionado

Fuente: Elaboración propia. (*) Estadísticas de tamaños de grano y grados de selección obtenidas con el método de Folk y Ward (1957) en escala de Wentworth (1922), con el paquete estadístico GRADISTAT v8.0

10.2.3.2.2 Resultados Sector Tilopozo

En la **Tabla N° 10-36** se presentan los resultados de calidad en sedimentos para la campaña verano 2025 del Sector de Tilopozo. Las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden respectivamente a pozas de <2 m de profundidad de afloramiento subsuperficial y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad. Los resultados mostraron valores de carbono orgánico total (COT) entre 95,24 y 181,67 g/Kg y de materia orgánica entre 16,42%

y 31,32%, encontrándose sus máximos en TB-2. El nitrógeno total Kjeldahl varió de 1,232 g/Kg a 4,936 g/Kg, siendo su máximo registro en este caso en TB-1. En el caso del fósforo total, los valores oscilaron de <500 mg/Kg en TB-2 a 18.100 mg/Kg en TB-1. Por su parte, el potencial óxido-reducción en los sedimentos, presentó valores negativos en todas las estaciones del sector, entre -345 mV y -303 mV, indicando sedimentos donde se favorecen las reacciones de reducción.

Tabla N° 10-36. Resultados de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2025.

Parámetro	Unidad	L.D.	TB-1	TB-2	TB-3
Carbono Orgánico Total (COT)	g/Kg	1,62	95,24	181,67	134,74
Fósforo Total (P)	mg/Kg	500	18.100	<500	2.800
Nitrógeno Total Kjeldahl	g/Kg	0,00312	4,936	1,981	1,232
Materia Orgánica	%	0,28	16,42	31,32	23,23
Potencial Redox	mV	-	-345	-303	-323

Fuente: Elaboración propia. (*). L.D.= Límite de detección.

Los resultados granulométricos para el sector Tilopozo, muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las estaciones correspondió a *Arena Muy Fina* en TB-1 (0,115 mm), a *Arena Media* en TB-2 (0,465 mm) y a *Arena Gruesa* en TB-3 (0,928 mm), con grados de selección entre *Pobremente seleccionado* y *Muy pobremente seleccionado* (**Tabla N° 10-37**).

Tabla N° 10-37: Resultados granulométricos de los sedimentos en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2025.

Estación	Diámetro medio (*)		Grado de selección (*)	
	(mm)	Clasificación	(mm)	Clasificación
TB-1	0,115	Arena Muy Fina	0,0061	Muy pobremente seleccionado
TB-2	0,465	Arena Media	0,0057	Muy pobremente seleccionado
TB-3	0,928	Arena Gruesa	0,0032	Pobremente seleccionado

Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.2.3 Resultados Sector Peine

En el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos, no fue posible realizar el monitoreo de verano 2025. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas y Prohibiciones.**

10.2.3.3 Resultados Biota acuática

10.2.3.3.1 Fitobentos

10.2.3.3.1.1 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitobentos en el Sector La Punta y La Brava, en la campaña de verano 2025 estuvo compuesta por 24 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 9 géneros presentes en la estación LB-1 (La Brava) y 14 géneros en las estaciones LP-23 (La Punta), LP-24 (La Punta) y LB-2 (La Brava).

Respecto a la abundancia de microalgas bentónicas, esta fluctuó entre 1.271.324 cel/cm^2 en la estación LP-24 (La Punta) y 5.885.250 cél/cm² en la estación LB-2 (La Brava) (**Tabla N° 10-38**). Cabe señalar que, en la laguna La Brava fueron observadas las mayores abundancias fitobentónicas.

En la campaña, la comunidad presentó una diversidad Shannon mayor en la estación LB-2 (La Brava), con 1,71 nits/ind, y esta misma estación también registró la mayor equidad (J') con 0,65 unidades. Por otro lado, la menor diversidad (1,11 nits/ind) y la menor equidad (0,43 unidades) se observaron en la estación LB-3 (La Brava) (**Tabla N° 10-38**).

En relación con los *taxa* dominantes, se observó que las mayores representatividades fueron mostradas por las diatomeas *Denticula* y *Halamphora* (**Figura N° 10-13**).

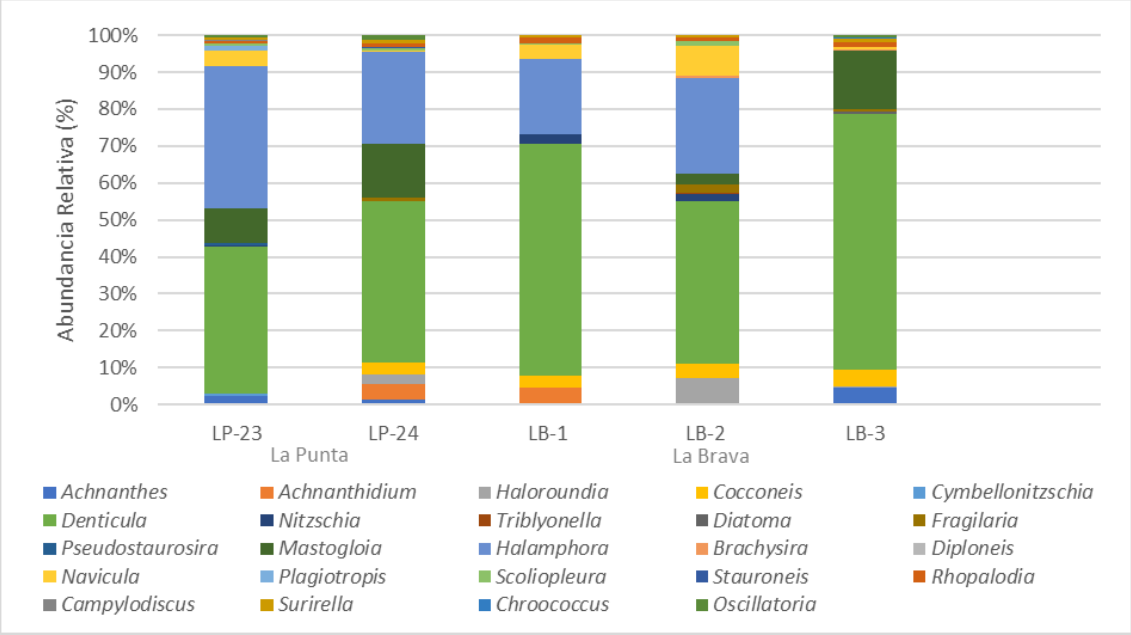
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector La Punta y La Brava.

Tabla N° 10-38. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (Campaña Verano 2025).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				La Punta y La Brava				
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*	61.786	15.588		26.250	95.758
			Achnanthidium		53.824	135.000		
			Haloroundia		33.676		399.000	10.909
		Cocconeidaceae	*Cocconeis*		41.176	99.000	233.625	89.091
	Bacillariales	Bacillariaceae	*Cymbellonitzschia*	20.714				
			Denticula	1.072.500	556.471	1.872.000	2.572.500	1.455.152
			Nitzschia	15.000		81.000	115.500	
			Triblyonella				34.125	
	Fragilariales	Fragilariaceae	*Diatoma*					13.333
			Fragilaria		10.588		120.750	10.909
			Pseudostaurosira	15.357				
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	*Mastogloia*	258.571	185.735		168.000	336.970
	Naviculales	Amphipleuraceae	*Halamphora*	1.042.857	317.353	612.000	1.530.375	
		Brachyspiraceae	*Brachysira*				44.625	6.667
		Diploneidaceae	*Diploneis*					
		Naviculaceae	*Navicula*	109.286	5.294	117.000	475.125	10.909
		Plagiotropidaceae	*Plagiotropis*	36.429				
		Scoliotropidaceae	*Scoliopleura*	21.071	7.647	9.000	73.500	
		Stauroneidaceae	*Stauroneis*		2.647			
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*	15.714	12.941	45.000	57.750	29.697
	Surirellales	Surirellaceae	*Campylodiscus*	5.000				
			Surirella	15.357	13.088	18.000	34.125	17.576
Cyanobacteriia	Cyanobacteriales	Microcystaceae	*Chroococcus*					10.909
		Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*	20.357	15.294			10.909
Limites LB (*)		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación Verano 2025**				
Abundancia total (cél/cm²)		**707**	**88.793**	**2.710.000**	**1.271.324**	**2.988.000**	**5.885.250**	**2.098.788**
Riqueza de géneros (S)		**9**	**14**	**14**	**14**	**9**	**14**	**13**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**1,47**	**1,64**	**1,21**	**1,71**	**1,11**
Equidad (J')		**-**	**-**	**0,56**	**0,62**	**0,55**	**0,65**	**0,43**

Fuente: Elaboración propia. (*) Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en las estaciones del sector La Punta-La Brava durante todas las campañas (invierno y verano) de la Línea Base. **Nota 1:** A diferencia de los Informes Anuales 1 y 2, en el presente informe los valores máximos y mínimos de LB corresponden solo a los registros de las estaciones donde se realiza el monitoreo del Plan de Manejo Biótico. El valor máximo de LB corresponde a 88.793 cel/cm^2, considerando campañas de invierno y verano LB, y no a los presentados en el Informe Anual 2 con un valor de 6.187 cel/cm^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^3 y cel/mm^2 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^2 y riqueza a nivel de géneros.

Figura N° 10-13. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector La Punta y La Brava (Verano 2025).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.1.2 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 12 géneros microalgales. La riqueza de géneros por estación de monitoreo presentó el mayor registro en la estación TB-1 con 11 géneros y el menor en la estación TB-2 con 3 géneros. Respecto a las abundancias registradas, la estación TB-3 presentó el mayor registro con 2.877.500 cel/cm^2, mientras que la estación TB-1 registró la menor abundancia con 867.706 cel/cm^2 (**Tabla N° 10-39**).

La diversidad en la comunidad de fitobentos dentro del Sector Tilopozo fue mayor para la estación TB-3 con 1,30 nits/ind y menor en la estación TB-2 con 0,56 nits/ind. Respecto a la equidad, se observó que el mayor registro lo presentó la estación TB-3 con 0,67 unidades y el menor lo presentó la estación TB-1 con 0,48 unidades (**Tabla N° 10-39**).

Respecto de los *taxa* dominantes, se puede observar que las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis* presentaron las mayores representatividades entre las estaciones evaluadas (**Figura N° 10-14**).

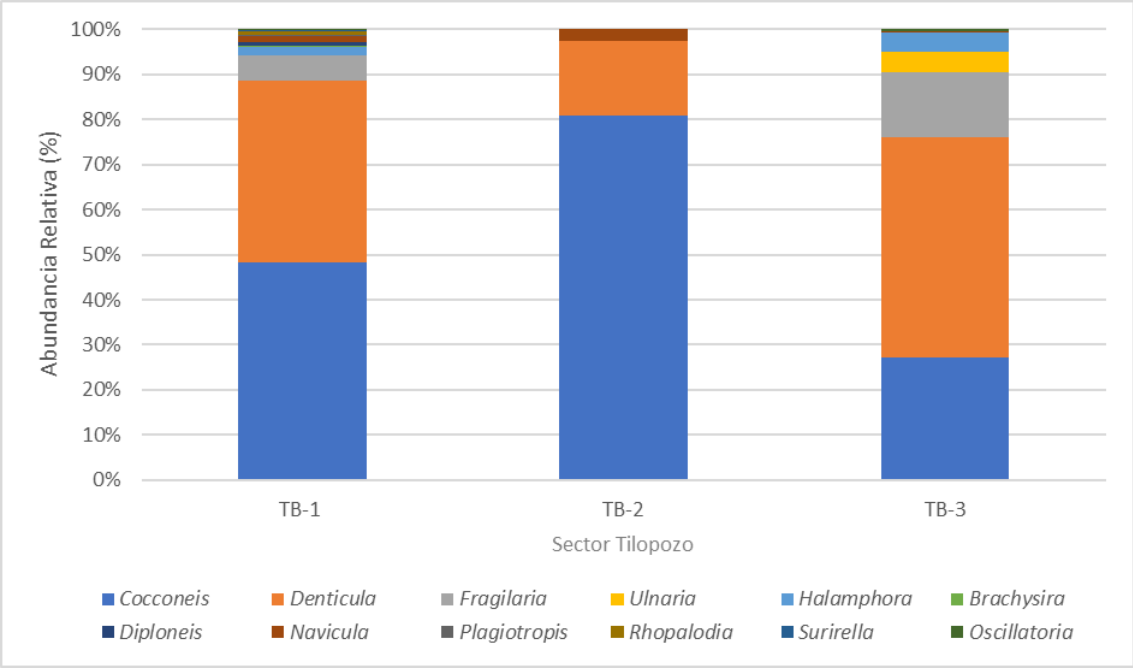
El análisis por clase de la comunidad de fitobentos, mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector Tilopozo.

Tabla N° 10-39. Comunidad fitobentónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (Campaña Verano 2025).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthales	Cocconeidaceae	*Cocconeis*	418.528	745.875	786.923
	Bacillariales	Bacillariaceae	*Denticula*	349.784	151.875	1.411.566
	Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria*	49.784		415.673
			Ulnaria			128.283
	Naviculales	Amphipleuraceae	*Halamphora*	16.364		121.030
		Brachyspiraceae	*Brachysira*	1.818		
		Diploneidaceae	*Diploneis*	7.359		
		Naviculaceae	*Navicula*	11.082	23.625	11.786
		Plagiotropidaceae	*Plagiotropis*	1.905		
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*	7.446		
	Surirellales	Surirellaceae	*Surirella*	1.818		
Cyanobacteriia	Cyanobacteriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria*	1.818		12.239
Abundancia total (cél/cm²)				**867.706**	**921.375**	**2.887.500**
Riqueza de géneros (S)				**11**	**3**	**7**
Diversidad Shannon (nits/ind)				**1,15**	**0,56**	**1,30**
Equidad (J')				**0,48**	**0,51**	**0,67**

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-14. Abundancia relativa (%) del fitobentos. Sector Tilopozo (Campaña Verano 2025).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.1.3 Sector Peine

En la campaña de verano 2025, no se tuvo acceso al sector Peine debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos, por lo que no fue posible realizar su monitoreo (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

10.2.3.3.2 Fitoplancton

10.2.3.3.2.1 Sector La Punta y La Brava

La comunidad de fitoplancton en el Sector La Punta - La Brava, en la campaña de verano 2025 presentó 10 géneros microalgales, con valores de riqueza que oscilaron entre 4 registrado en LP-23 (La Punta) y 8 en la estación LB-3 (La Brava). Respecto a la abundancia de las microalgas planctónicas, fluctuaron entre 17,5 cel/mL en la estación LP-23 (La Punta) y 41,0 cel/mL en la estación LB-1 (La Brava) (**Tabla N° 10-40**).

La comunidad presentó una diversidad mayor en la estación LP-24 con 1,65 nits/ind, mientras que, el menor valor fue registrado en la estación LP-23 (La Punta) con 0,91 nits/ind (**Tabla N° 10-40**). En tanto, la equidad fluctuó entre 0,66 unidades en la estación LP-23 (La Punta) y 0,92 unidades, en la estación LP-24.

Respecto de los *taxa* dominantes, se observó que las mayores representatividades fueron observadas para las diatomeas *Denticula* y *Halamphora* (**Figura N° 10-15**).

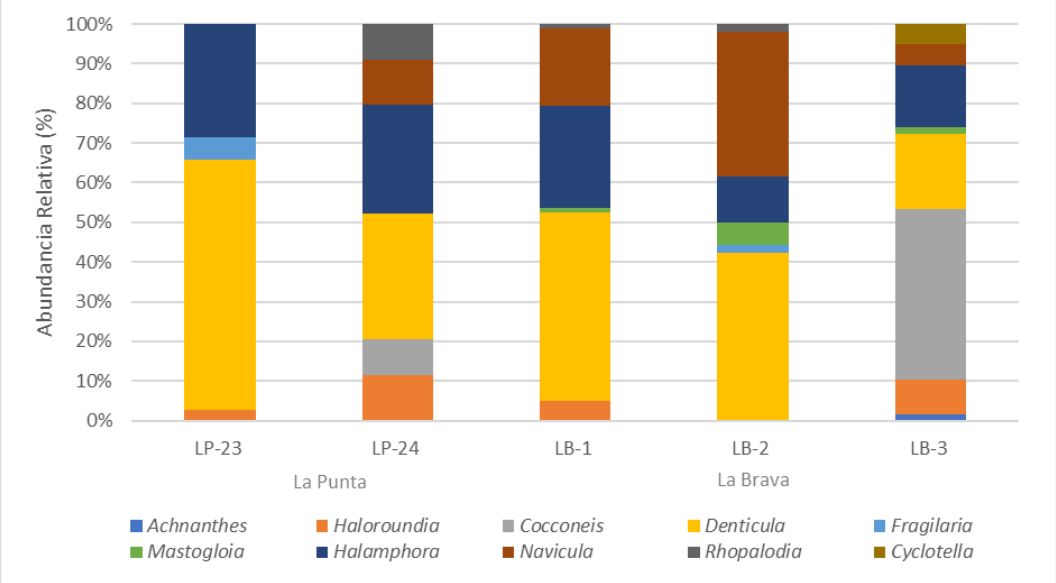
El análisis por clase de la comunidad de fitoplancton mostró que la clase Bacillariophyceae correspondientes a las diatomeas, presentan la mayor representatividad en el Sector La Punta y La Brava.

Tabla N° 10-40. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector La Punta y La Brava (Campaña Verano 2025).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones				
				La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Bacillariophyceae	Achnanthales	Achnanthaceae	*Achnanthes*					0,5
			Haloroundia	0,5	2,5	2,0		2,5
		Cocconeidaceae	*Cocconeis*		2,0			12,5
	Bacillariales	Bacillariaceae	*Denticula*	11	7,0	19,5	11,0	5,5
	Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria*	1,0			0,5	
	Mastogloiales	Mastogloiaceae	*Mastogloia*			0,5	1,5	0,5
	Naviculales	Amphipleuraceae	*Halamphora*	5,0	6,0	10,5	3,0	4,5
		Naviculaceae	*Navicula*		2,5	8,0	9,5	1,5
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*		2,0	0,5	0,5	
	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	*Cyclotella*					1,5
Limites LB (*)		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación Verano 2025**				
Abundancia total (cél/mL)		**24**	**10.110**	**17,5**	**22,0**	**41,0**	**26,0**	**29,0**
Riqueza de géneros (S)		**6**	**12**	**4**	**6**	**6**	**6**	**8**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**0,91**	**1,65**	**1,28**	**1,30**	**1,62**
Equidad (J')		**-**	**-**	**0,66**	**0,92**	**0,71**	**0,72**	**0,78**

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 10.110 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 12 géneros, y no de 17, como se indicó en el Informe Anual 2. No obstante, los valores señalados se encuentran dentro del mismo orden de magnitud.

Figura N° 10-15. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector La Punta y La Brava (Campaña Verano 2025).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.2.2 Sector Tilopozo

Dentro del Sector vegas de Tilopozo, las estaciones evaluadas registraron un total de 9 géneros pertenecientes a la clase Bacillariophyceae. La riqueza osciló entre 4 géneros observados en TB-1 y TB-3 y 8 géneros en TB-2. Respecto de las abundancias registradas, estas oscilaron entre 16,0 cel/mL en la estación TB-1 y 108,5 cel/mL en la estaciónTB-2 (**Tabla N° 10-41**).

En relación con los valores de diversidad se observó una mayor diversidad de 1,04 nits/ind en la estación TB-2 y la menor, de 0,93 nits/ind en la estación TB-3. En tanto, la equidad presentó valores que oscilaron entre 0,50 unidades en la estación TB-2 y 0,73 unidades en la estación TB-1 (**Tabla N° 10-41**).

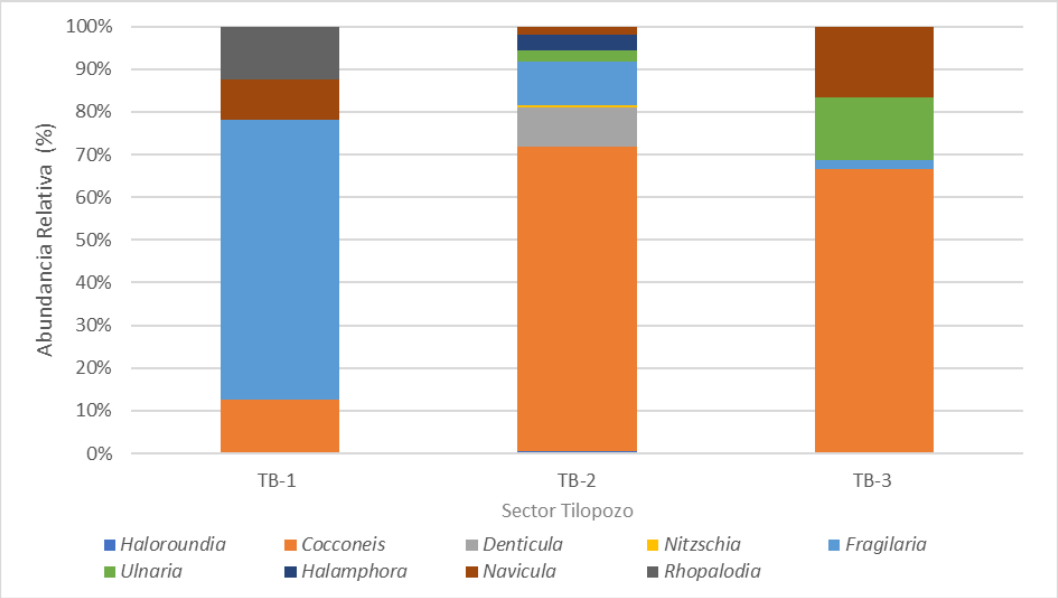
Respecto de los *taxa* dominantes, la diatomea *Cocconeis* presentó la mayor representatividad en las estaciones de vegas de Tilopozo, especialmente en la estación TB-2, seguida de *Fragilaria* (**Figura N° 10-16**). En tanto, la dominancia por clase de la comunidad de fitoplancton en vegas de Tilopozo, correspondió a Bacillariophyceae.

Tabla N° 10-41. Comunidad fitoplanctónica, abundancia total y riqueza de géneros. Sector Tilopozo (Campaña Verano 2025).

Clase	Orden	Familia	Género	Estaciones		
				Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Bacillariophyceae	Achnanthales	Achnanthaceae	*Haloroundia*		0,5	
		Cocconeidaceae	*Cocconeis*	2,0	77,5	16,0
	Bacillariales	Bacillariaceae	*Denticula*		10,0	
			Nitzschia		0,5	
	Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria*	10,5	11,0	0,5
			Ulnaria		3,0	3,5
	Naviculales	Amphipleuraceae	*Halamphora*		4,0	
		Naviculaceae	*Navicula*	1,5	2,0	4,0
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Rhopalodia*	2,0		
Abundancia total (cél/mL)				**16,0**	**108,5**	**24,0**
Riqueza de géneros (S)				**4**	**8**	**4**
Diversidad Shannon (nits/ind)				**1,02**	**1,04**	**0,93**
Equidad (J')				**0,73**	**0,50**	**0,67**

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-16. Abundancia relativa (%) del fitoplancton. Sector Tilopozo (Campaña Verano 2025).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.2.3 Sector Peine

En la campaña verano 2025, no se tuvo acceso al sector Peine debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos, por lo que no fue posible realizar su monitoreo (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

10.2.3.3.3 Zooplancton

10.2.3.3.3.1 Sector La Punta y La Brava

En el sector de las lagunas La Punta y La Brava en verano de 2025, se registraron riquezas entre 0 y 4 *taxa* por estación de organismos zooplanctónicos, siendo el valor cero obtenido en la estación LB-3 y la máxima riqueza en la estación LB-1 de laguna La Brava. La fauna zooplanctónica en este sector estuvo compuesta por copépodos Calanoida de la especie *Boeckella poopoensis*, el branquiópodo *Artemia franciscana*, copépodos Harpacticoida *Tigriopus* sp, además de los insectos dípteros Ephydridae. La mayor frecuencia y representatividad estuvo dada principalmente por los copépodos *B. poopoensis*, los cuales se encontraron en tres de las cinco estaciones de este sector. Las abundancias totales de zooplancton por estación (mayor a cero) tuvieron un rango de 0,67 a 30,60 ind/L, con un mínimo obtenido en LB-2 y un máximo en LP-23 (**Tabla N° 10-42**).

El organismo más abundante fue el copépodo *B. poopoensis* que alcanzó los 30,60 ind/L en LP-23. Fue seguido por branquiópodo el *A. franciscana* y el copépodo *Tigriopus* sp. con abundancias de 0,80 ind/L en LB-1, respectivamente. La estructura comunitaria del zooplancton en este sector muestra que el grupo dominante absoluto en laguna La Punta fue el del copépodo *B. poopoensis*, mientras que, en La Brava principalmente fue el branquiópodo *A. franciscana,* seguido por el copépodo *Tigriopus* sp. (**Tabla N° 10-42** y **Figura N° 10-17**).

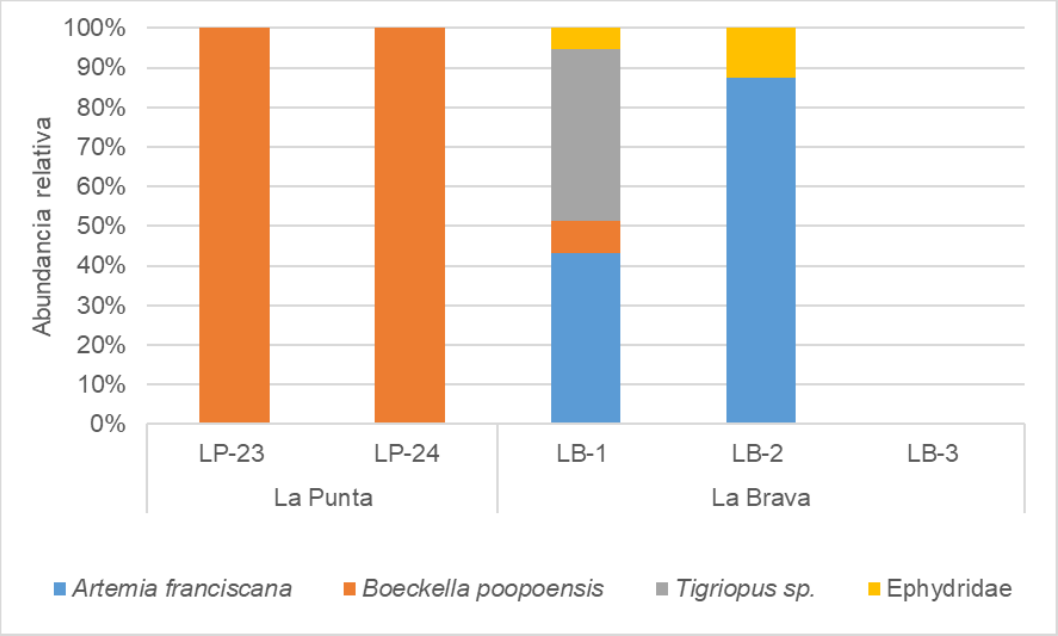
Respecto a las diversidades estimadas, estas oscilaron entre 0,38 nits/ind (LB-2) y 1,09 nits/ind (LB-1), no pudiéndose calcular en las otras estaciones (se requiere una riqueza ≥2). La equidad fue baja en ambas estaciones de laguna La Brava (<0,8), debido a las bajas riquezas y que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser disímiles (**Tabla N° 10-42**).

Tabla N° 10-42. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2025.

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Branchiopoda	Anostraca	Artemiidae	*Artemia franciscana*			0,80	0,58	
Copepoda	Calanoida	Centropagidae	*Boeckella poopoensis*	30,60	1,33	0,15		
	Harpacticoida	Harpacticidae	*Tigriopus* sp.			0,80		
Insecta	Diptera	Ephydridae	Ephydridae			0,10	0,08	
Límites LB		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación en Verano 2025**				
Abundancia total (Ind/L)		**1**	**17,9**	**30,60**	**1,33**	**1,85**	**0,67**	**0,00**
Riqueza de taxa (S)		**1**	**4**	**1**	**1**	**4**	**2**	**0**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**-**	**-**	**1,09**	**0,38**	**-**
Equidad (J')		**-**	**-**	**-**	**-**	**0,78**	**0,54**	**-**

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector, durante las campañas de verano de 2014 y 2015 de la Línea Base.

Figura N° 10-17. Abundancia relativa del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava (verano 2025).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.3.2 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2025, se registraron organismos zooplanctónicos solo en la estación TB-3, con una riqueza total de 2 *taxa*. La fauna zooplanctónica estuvo compuesta por el gasterópodo *Heleobia atacamensis* (especie en categoría de conservación “En Peligro Crítico” según el DS 52 MMA del 2014) y por el copépodo Harpacticoida *Tigriopus* sp (**Tabla N° 10-43**).

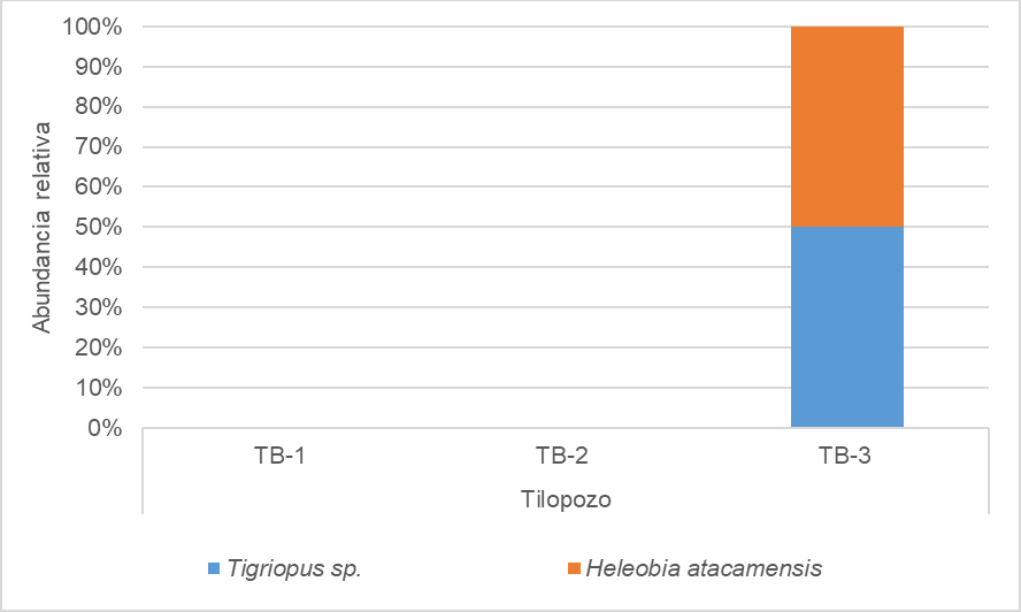
La abundancia total del zooplancton en la estación TB-3 fue de 0,10 ind/L, registrándose para *H. atacamensis* y para *Tigriopus* sp. 0,5 ind/L, respectivamente. Respecto a los índices comunitarios, la diversidad alcanzó 0,69 nits/ind, debido a la baja riqueza registrada y la equidad fue alta (1,0), debido a que las abundancias de sus *taxa* fueron iguales (**Tabla N° 10-43** y **Figura N° 10-18**).

Tabla N° 10-43. Comunidad de zooplancton, abundancia (ind/L) y riqueza en el Sector Tilopozo. Campaña Verano 2025.

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Copepoda	Harpacticoida	Harpacticidae	*Tigriopus* sp.			0,05
Gastropoda	Hygrophila	Cochliopidae	*Heleobia atacamensis*			0,05
			Abundancia total (Ind/L)	**0,00**	**0,00**	**0,10**
			Riqueza de taxa (S)	**0**	**0**	**2**
			Diversidad Shannon (nits/ind)	**-**	**-**	**0,69**
			Equidad (J')	**-**	**-**	**1,00**

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-18. Abundancia relativa del zooplancton en Sector Tilopozo (verano 2025).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.3.3 Sector Peine

Para la comunidad de zooplancton en el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), en la campaña de verano 2025 no fue posible obtener ni realizar el monitoreo, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

10.2.3.3.4 Zoobentos

10.2.3.3.4.1 Sector La Punta y La Brava

El sector La Punta y La Brava en verano 2025, el zoobentos presentó una riqueza de *taxa* entre 1 y 4, ocurriendo el máximo en la estación LB-3. La fauna estuvo compuesta por gasterópodos *Heleobia* sp., los insectos dípteros *Palpomya* sp., también de las familias Ephydridae, Muscidae y Ptychopterydae, junto con ostrácodos Cyprididae y anélidos Lumbriculidae. Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 520 ind/m^2 (LB-2) a 3.508 ind/m^2 (LB-3). Los organismos más abundantes fueron los gasterópodos *Heleobia* sp., siendo mayoritarios en LB-3 (1.169 ind/m^2) y en LP-23 (520 ind/m^2). Fueron seguidos en abundancia por los ostrácodos Cyprididae encontrados también en LB-3 (1.169 ind/m^2). Respecto a las larvas de dípteros, *Palpomya* sp. alcanzó un máximo en LB-3 de 909 ind/m^2 y Ephydridae su máximo se registró en la estación LB-2 (520 ind/m^2) (**Tabla N° 10-44**).

La **Figura N° 10-19** muestra la estructura de la comunidad de zoobentos en el sector, permitiendo identificar la dominancia de *Heleobia* sp. en LP-23 y LB-3, siendo en esta última estación también dominantes los ostrácodos Cyprididae y los insectos dípteros *Palpomya* sp. Estas larvas de insectos por su parte fueron dominantes en LP-24 y LB-1, registrándose también las familias de dípteros Ptychopterydae, Muscidae y Ephydridae, siendo esta última dominante absoluta en LB-2.

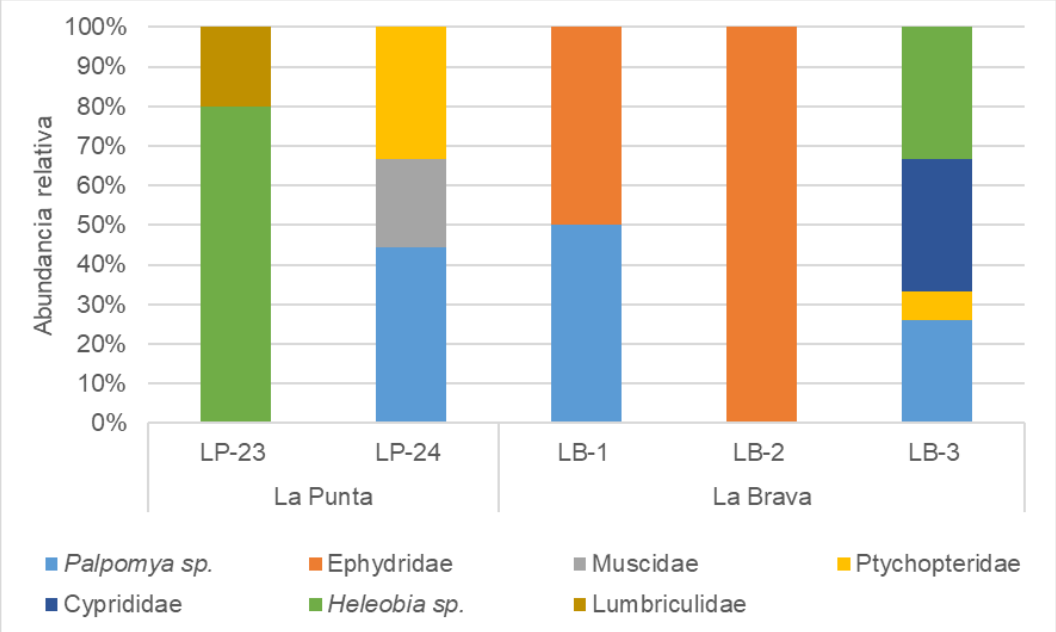
Por su parte las estimaciones de diversidad estuvieron entre 0,50 y 1,28 nits/ind, y la equidad presentó estimaciones en su mayoría altas (>0,9), debido a que las abundancias de sus *taxa* tendieron a ser similares entre sí (**Tabla N° 10-44**).

Tabla N° 10-44. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m²) y riqueza en Sector La Punta y La Brava. Campaña Verano 2025.

Clase	Orden	Familia	Taxa	La Punta		La Brava		
				LP-23	LP-24	LB-1	LB-2	LB-3
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	*Palpomya* sp.		520	130		909
		Ephydridae	Ephydridae			130	520	
		Muscidae	Muscidae		260			
		Ptycopteridae	Ptycopteridae		390			260
Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	Cyprididae					1.169
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	*Heleobia* sp.	520				1.169
Clitellata	Lumbriculida	Lumbriculidae	Lumbriculidae	130				
Límites LB		**Mínimo LB**	**Máximo LB**	**Valores por estación en Verano 2025**				
Abundancia total (Ind/m²)		**-**	**-**	**650**	**1.169**	**260**	**520**	**3.508**
Riqueza de taxa (S)		**1**	**3**	**2**	**3**	**2**	**1**	**4**
Diversidad Shannon (nits/ind)		**-**	**-**	**0,50**	**1,06**	**0,69**	**-**	**1,28**
Equidad (J')		**-**	**-**	**0,72**	**0,97**	**1,00**	**-**	**0,92**

Fuente: Elaboración propia. Mínimo LB y Máximo LB corresponden al valor mínimo y máximo de riqueza de familias registrados en este sector, durante las campañas de verano 2014 y 2015 de la Línea Base.

Figura N° 10-19. Abundancia relativa del zoobentos en Sector La Punta y la Brava (verano 2025).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.4.2 Sector Tilopozo

En las estaciones muestreadas en el sector de Tilopozo en verano de 2025, el zoobentos presentó una riqueza entre 1 y 4 *taxa*, ocurriendo el máximo en la estación TB-2 y el mínimo en las estaciones TB-1 y TB-3. La fauna estuvo compuesta por gasterópodos de la especie *Heleobia atacamensis*, anfípodos *Hyalella* sp., y los insectos dípteros *Cricotopus* sp. (Chironomidae) y *Palpomya* sp. (Ceratopogonidae). Los valores de abundancia total en las estaciones estuvieron en el rango de 130 ind/m^2 (TB-1) a 12.343 ind/m^2 (TB-2). Los organismos con las mayores abundancias en el sector fueron los gasterópodos *H. atacamensis*, que ocurrieron en las tres estaciones de manera dominante y alcanzando un máximo de 8.055 ind/m^2 en la estación TB-2. En la misma estación se registró a los anfípodos *Hyalella* sp. con una abundancia de 4.028 ind/m^2 y a los dípteros *Cricotopus* sp. y *Palpomya* sp. con una abundancia de 130 ind/m^2, respectivamente (**Tabla N° 10-45** y **Figura N° 10-20**).

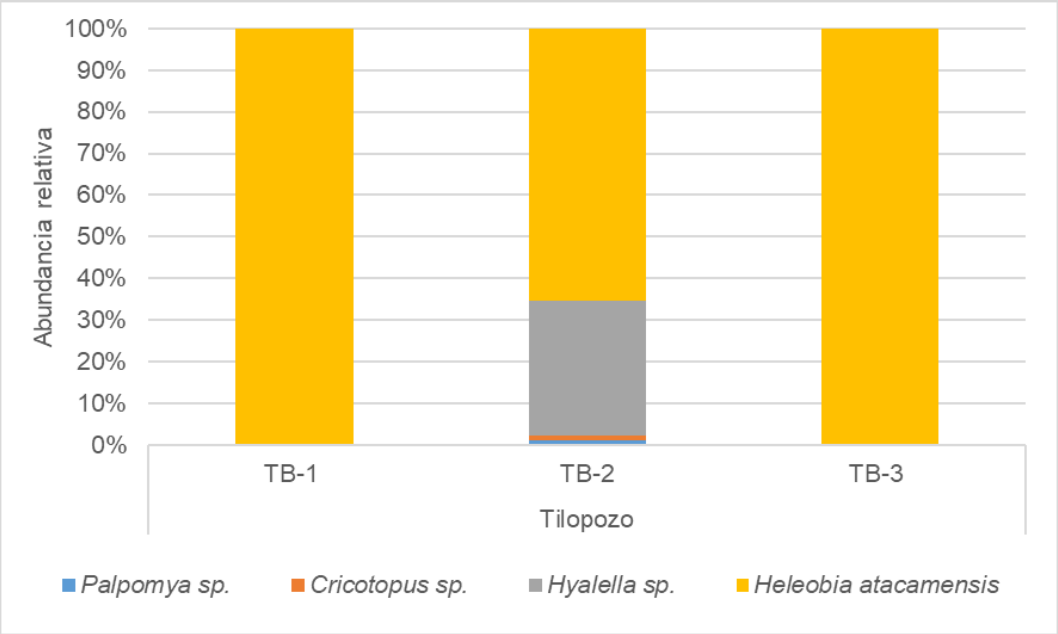
Las estimaciones de diversidad y equidad solo se pudieron estimar en TB-2, obteniendo valores bajos de 0,74 nits/ind en diversidad y de 0,53 en equidad, dados por las abundancias disímiles registradas por *taxa* (**Tabla N° 10-45**).

Tabla N° 10-45. Comunidad zoobentos, abundancia (ind/m^2) y riqueza en Sector Tilopozo. Campaña Verano 2025.

Clase	Orden	Familia	Taxa	Tilopozo		
				TB-1	TB-2	TB-3
Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	*Palpomya* sp.		130	
		Chironomidae	*Cricotopus* sp.		130	
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	*Hyalella* sp.		4.028	
Gastropoda	Littorinimorpha	Cochliopidae	*Heleobia atacamensis*	130	8.055	1.949
Abundancia total (Ind/m²)				**130**	**12.343**	**1.949**
Riqueza de taxa (S)				**1**	**4**	**1**
Diversidad Shannon (nits/ind)				**-**	**0,74**	**-**
Equidad (J')				**-**	**0,53**	**-**

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10-20. Abundancia relativa del zoobentos en Sector Tilopozo (verano 2025).



Fuente: Elaboración propia.

10.2.3.3.4.3 Sector Peine

Para la comunidad de zoobentos en el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9 y S-5), laguna Saladita (S-10 y SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), en la campaña de verano 2025 no fue posible obtener ni realizar el monitoreo, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

10.2.3.3.5 Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

En la campaña de verano 2025, como se indicó anteriormente, no se pudo acceder al sector de Peine debido a las restricciones de acceso ya señaladas, por lo que no fue muestreado en la presente campaña (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**). En tanto, para las lagunas La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, fueron detectadas 8 especies, las que correspondieron a las hidrófitas *Ruppia filifolia y Zannichellia palustris* y a las helófitas *Schoenoplectus californicus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Triglochin concinna*, *Puccinellia frigida*, *Distichlis spicata* y *Baccharis linearis*. Con relación al origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación (**Tabla N° 10-46**).

Tabla N° 10-46. Plantas vasculares acuáticas detectadas en el área de estudio (Campaña Verano 2025).

Clase	Familia	Especie	Nombre Común	Hábito	Origen
Liliopsida	Ruppiaceae	*Ruppia filifolia*	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	*Zannichellia palustris*	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	*Schoenoplectus californicus*	Totora	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	*Triglochin concinna*	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	*Puccinellia frigida*	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	*Distichlis spicata*	Grama salada	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Amaranthaceae	*Sarcocornia fruticosa*	Hierba sosa	Helófita	Nativa
	Asteraceae	*Baccharis linearis*	Romerillo	Helófita	Nativa

Fuente: Elaboración propia.

Los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo presentaron baja riqueza de plantas vasculares acuáticas (**Tabla N° 10-47**), en el que se detectaron 8 especies, para ambos sectores. Entre las estaciones con mayor riqueza de especies correspondieron a LP-23 de la laguna La Punta con 4 especies y la menor LB-1 con 0 especies.

Respecto a la cobertura (%), se observó en el sector La Punta-La Brava la presencia de parches de *Ruppia filifolia* en algunas estaciones de monitoreo. En el sector La Punta-La Brava se observaron coberturas entre 7% en la estación LP-23 y 13% en la estación LP-24 en la laguna La Punta, en tanto, en La Brava se detectó un parche con un 17% de cobertura. Cabe destacar que, esta hidrófita fue detectada siempre sumergida.

Por otra parte, en las orillas de la laguna La Punta en la estación LP-23 se reportó la presencia de las helófitas emergentes *Puccinellia frigida* (3%), *Triglochin concinna* (7%) y *Sarcocornia fruticosa* (53%). En la estación LP-24 se detectó un parche de *S. fruticosa* de 33%. En la laguna La Brava se reportó un pequeño parche aislado de *T. concinna* con 27% en LB-2.

En tanto, en el sector de vegas de Tilopozo, se detectó la presencia de la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* con porcentajes de cobertura de 33% en las estaciones TB-1 y TB-3. Además de la presencia de las helófitas emergentes, *Schoenoplectus californicus* con coberturas entre 33% y 100% en las estaciones TB-3 y TB-2 respectivamente, *Distichlis spicata* con 33% en TB-1 y *Baccharis linearis* con 33% en TB-3 (**Tabla N° 10-47**).

Tabla N° 10-47. Comunidad de plantas vasculares acuáticas y porcentaje de cobertura (Campaña Verano 2025).

Especie	Estaciones													
	Sector Peine						Sector La Punta - La Brava					Sector Tilopozo		
	S5	S9	SA25	S10	I11	I17	LP23	LP24	LB1	LB2	LB3	TB1	TB2	TB3
Ruppia filifolia	Sin acceso por periodo reproductivo de flamencos						X (7%)	X (13%)			X (17%)			
Zannichellia palustris												X (33%)		X (33%)
Schoenoplectus californicus												X (34%)	X (100%)	X (33%)
Triglochin concinna							X (7%)			X (27%)				
Puccinellia frigida							X (3%)							
Distichlis spicata												X (33%)		
Sarcocornia fruticosa							X (53%)	X (33%)						
Baccharis linearis														X (33%)
Riqueza Total (N° especies)	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**4**	**2**	**0**	**1**	**1**	**3**	**1**	**3**

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

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

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

Cabe destacar que el sector Tilopozo no cuenta con antecedentes de Línea de Base dentro del PMB, por lo que sólo se pueden realizar comparaciones entre monitoreos y lo adecuado es que sea entre los mismos periodos estacionales, esto es inviernos (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024) y veranos (2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025).

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

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

Para los parámetros de química de sedimentos solo se cuenta con los antecedentes obtenidos durante la campaña de febrero de 2015, la cual se utiliza como referencia tanto para las campañas de verano como las de invierno del PMB. Esta situación dificulta la comparación de los resultados de los monitoreos, debido a que esta única campaña no ofrece una visión de la variación que podrían presentar los parámetros entre las estaciones del año. Así, un resultado fuera del rango Mínimo-Máximo establecido, podría deberse a una variación natural y no necesariamente a un efecto de las operaciones de Albemarle.

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 últimas dos campañas de invierno 2024 y verano 2025.

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

Respecto al zooplancton, el análisis comparativo entre la línea de base y los monitoreos de invierno 2024 y verano 2025, consideró como rangos de variación (mínimo y máximo) los valores extremos de riqueza de *taxa* y abundancia total por estación, obtenidos en la línea de base del Plan de Manejo Biótico. Para ello se consideró los períodos de septiembre 2008, 2013, y julio 2014 como periodos de invierno y los periodos de abril 2014 y febrero 2015 como períodos de verano, períodos donde hubo capturas y registros de organismos zooplanctónicos.

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

11 AREA DE LAGUNAS

El Salar de Atacama, se encuentra ubicado en una cuenca endorreica tectónica, delimitada por la Cordillera de Los Andes (6.000 m s.n.m) al Este, y por la Cordillera de Domeyko (3.000 m s.n.m) al Oeste (Ortiz, C. *et al*, 2014). Además, presenta la característica que la dinámica natural de humedales está controlada fundamentalmente por el aporte de agua subterránea y condiciones climáticas regionales, esto los hace particularmente frágiles (MMA, 2011).

Este informe se desarrolla en cumplimiento a los compromisos ambientales y procedimientos asumidos en marco del Plan de Manejo Biótico, en adelante PMB, correspondientes a la RCA N°21/2016 que aprueba el Proyecto "**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta – Rockwood Lithium"** (en adelante Albemarle o ALB), para el monitoreo de "Superficies Cubiertas por Lagunas".

El propósito es realizar el seguimiento para determinar la cobertura de los cuerpos de agua, a través de imágenes satelitales, en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama que conforman el área de estudio: (1) La Punta - La Brava, (2) Peine. Para tal fin, se utilizan imágenes satelitales multiespectrales con un píxel máximo de 4 metros, es decir de alta resolución, utilizando el sensor Pleiades 1-A (2 m) y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8 (30 m), obtenidas en **agosto y diciembre de 2024**.

En este contexto, este informe presenta el monitoreo y seguimiento ambiental de las "superficies cubiertas por lagunas", mediciones de invierno y verano de 2024, durante la Fase de Operación del Proyecto, el cual 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, 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 el "Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI)[31]", especificado en el Anexo 2 (PMB) , Adenda 5 EIA, *Apéndice B. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua;* RWL, 2015 (en adelante, Adenda 5 RWL, 2015). En la **Tabla N°11-1** se presenta un resumen del componente y la variable ambiental objeto de monitoreo, asociada al análisis de imágenes satelitales.

[31] El índice modificado MNDWI es 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°11-1. Resumen de Componentes y Variables

Componente Ambiental	Monitoreo	Variable o Parámetro	Metodología
AGUA	**LAGUNAS O CUERPOS DE AGUA**	**SUPERFICIE O ÁREA (M^2)**	Análisis de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales con un píxel máx. de 4 metros, **que incluirán los Sistemas lagunares La Punta-La Brava y Peine. (Anexo 2- PMB)** Metodología Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI), Adenda 5 RWL, (2015). Además, con el objetivo de generar una correlación de estas imágenes de alta resolución con la serie histórica disponible de imágenes satelitales Landsat, de menor resolución, se realizará en forma simultánea un análisis y correlación con una imagen de baja resolución disponible del satélite Landsat o similar, de la fecha más próxima a las de las imágenes de alta definición. (fuente, desde PSAH)

Dentro del Plan de Seguimiento Biótico o Plan de Manejo Biótico (PMB), no quedaron establecidos límites a considerar para esta componente. Es importante considerar que la variable superficies lagunares también es parte del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH) de ALB, por lo que su análisis se realiza con una mirada integral teniendo a la vista ambos seguimientos.

Las superficies cubiertas por lagunas se asocian también con los niveles freáticos medidos en las mismas[32], las que junto con la vegetación azonal corresponden a las tres (3) variables de estado indicativas, establecidas para el seguimiento y análisis del estado ecológico (AEE) 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 se implementó un muestreo para revalidación estacional *in situ* (dependiendo de las restricciones de acceso) y fotointerpretativo, correspondiente a las réplicas de puntos de campañas anteriores. Posteriormente se desarrolló la etapa en gabinete relacionada con el procesamiento de las imágenes satelitales, seguido por la implementación de un modelo de clasificación supervisada de los cuerpos agua, en base al "Índice Normalizado de Diferencia de Agua" (NDWI, por sus siglas en inglés). Los responsables de las actividades

[32] Capítulo 11 "Niveles Freáticos de Lagunas" del consolidado de informes anuales; de acuerdo con el EIA se comprometen niveles para los sistemas (1) La Punta – La Brava; y (2) Peine.

de muestreo y medición en terreno, así como los análisis en gabinete se identifican en Tabla N°11-2.

Tabla N°11-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.

Empresa / Equipo de Trabajo	Actividades realizadas	Encargado
Cedrem Consultores	Medición: Revalidación estacional de puntos en terreno y levantamiento de puntos de posicionamiento en tiempo real de alta precisión; Revalidación estacional de puntos en terreno por fotointerpretación.	Especialista: Jessica Labarca (Fotointerpretación) Tomás Lizama (Especialista en Terreno; UVA/Dron - GNSS) Zvonimir Marjanovic (Apoyo en terreno) Pedro Pablo Barahona (Jefe de Terreno) Osvaldo Jiménez (Apoyo en Terreno)
	Trabajo en gabinete: Aplicación del modelo de clasificación supervisada y análisis de resultados.	Jefe de Proyecto: Jorge Ramos Especialistas en gabinete: Jessica Labarca Tomás Lizama
Apogeos	Trabajo en gabinete: Correcciones y adquisición de imágenes satelitales de alta resolución.	Lorena Bustamante (Especialista)

Fuente: Elaboración Propia

El presente informe describe los alcances metodológicos, resultados y discusión del estudio, partiendo con el modelo de clasificación supervisada de los cuerpos de agua, el cual fue implementado en base a imágenes de alta resolución, Pleiades 1-A, y de media resolución, Landsat 8, obtenidas durante agosto y diciembre de 2024. Posteriormente, se presentan de manera detallada los resultados obtenidos en cuanto a la cobertura de los cuerpos de agua, clasificada por sistema lagunar, utilizando imágenes de alta resolución. Estos resultados se comparan con los registros históricos de la Adenda 5 RWL (2015) y con la superficie determinada a partir de las imágenes de Landsat 8. El objetivo de esta comparación es realizar un análisis detallado entre los monitoreos realizados durante el invierno y verano de 2024, contrastándolos con los resultados obtenidos desde el inicio del monitoreo en el año 2016, así como con los datos históricos presentados en la Adenda 5 RWL (2015).

En relación con la campaña de invierno de 2024, esta se llevó a cabo entre el 04 y el 10 de agosto de dicho año. Durante esta campaña no fue posible llevar a cabo la validación *in situ* debido a las medidas de restricción de movilidad aplicadas por la Comunidad de Peine; estas medidas limitaron el traslado y acceso a los sectores de Peine (Salada y Saladita, solo con acceso a laguna Interna). En cuanto a la campaña de verano de 2024-2025, la validación *in situ* programada entre el 15 y el 21 de diciembre no pudo llevarse cabo el sector de Peine en todos sus subsectores (Interna, Salada y Saladita). En ambas campañas las posibilidades de revalidación de los puntos de muestreo en los sectores restringidos, fue realizada mediante fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución (ver registros en **Anexo Área de Lagunas**).

El objetivo general es monitorear la cobertura (superficie) de las lagunas (cuerpos de agua), con el fin de hacer el seguimiento a la evolución de estas y detectar cambios en su superficie de ocupación.

Como se ha señalado previamente, la medición se lleva a cabo mediante el análisis de imágenes satelitales de alta resolución y de mediana resolución. Estas mediciones se comparan con los datos históricos de la Adenda 5 RWL (2015) en dos sistemas lagunares ubicados en el Salar de Atacama., La Punta - La Brava y Peine, considerando como base los alcances y procedimientos comprometidos en el PMB.

En función de esto, se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- Presentar las coberturas de cuerpos de agua calculadas en agosto y diciembre de 2024 a partir de la aplicación de un modelo de clasificación supervisada sobre imágenes satelitales de alta y media resolución (Pleiades - 1A y Landsat 8), en base a datos de revalidación (*in situ* o fotointerpretativas[33]) y al "Índice Normalizado de Diferencia de Agua" (NDWI por su sigla en inglés), en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama, La Punta - La Brava y Peine.
- Comparar las coberturas de los sistemas lagunares calculadas desde imágenes de alta resolución con los registros históricos en AR determinados y presentados en el PMB (Adenda 5 RWL, 2015).
- Determinar y evaluar las coberturas de cuerpos de agua desde una imagen satelital de mediana resolución disponible, Landsat 8 de frecuencia quincenal, para la fase de operación y comparar éstas con los registros de las coberturas obtenidas en los registros históricos de Landsat en cada sistema lagunar.

[33] Según condiciones de acceso a los subsectores de estudio, que incluyen permisos y condiciones de seguridad.

11.1 MATERIALES Y MÉTODOS

11.1.1 Descripción del área de estudio

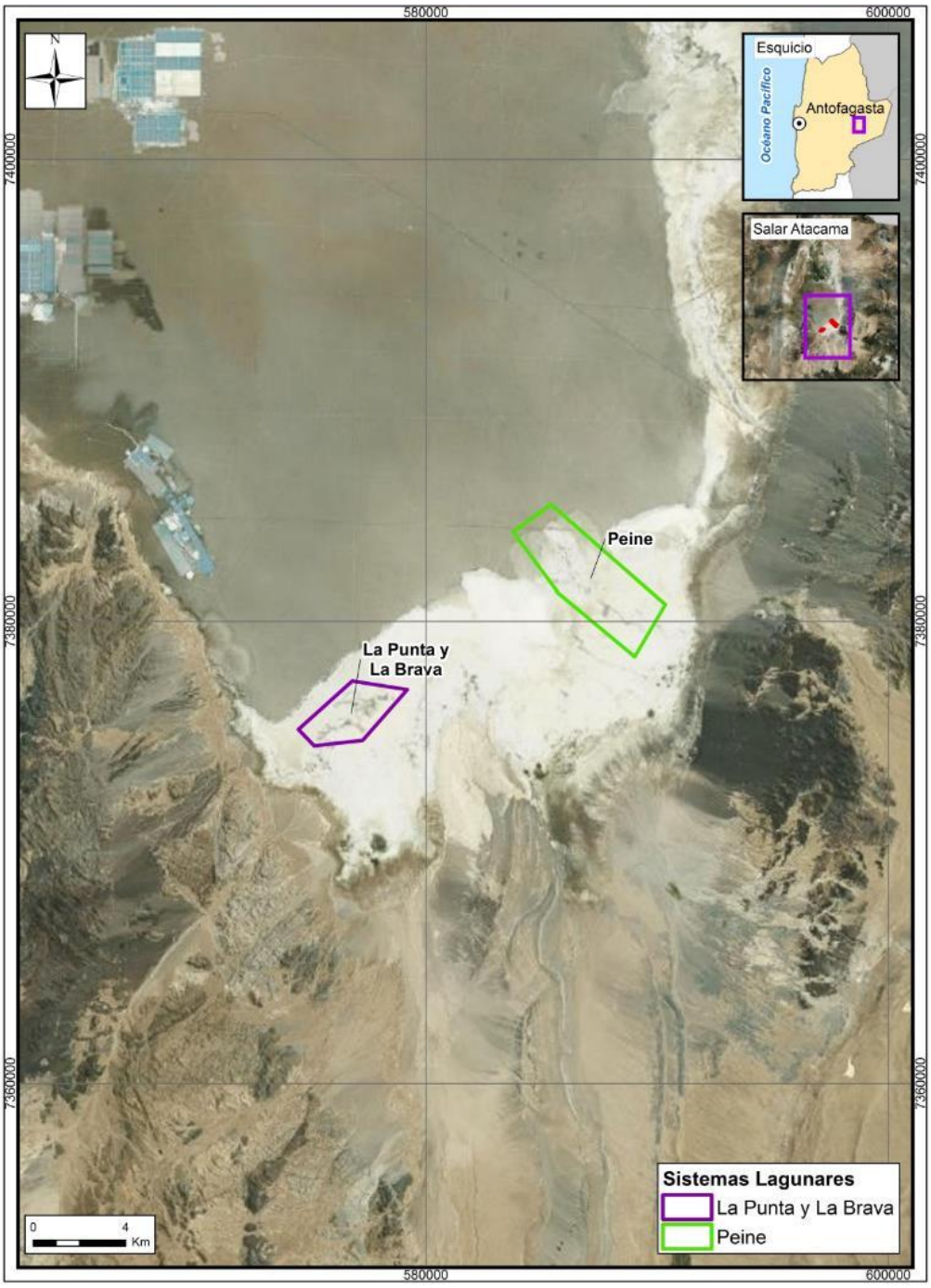
El área de estudio se sitúa en el Salar de Atacama, en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa, extremo oriente de la II Región de Antofagasta y se encuentra a una altura geográfica aproximada de 2.300 m s.n.m

Esta área corresponde a los Sistemas Lagunares establecidos en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos (PSAH), que para efecto del PMB corresponden a dos sistemas lagunares del Salar de Atacama (Figura N°11-1), conformando un área de estudio total de 2.495,1 ha (fuente de datos Anexo 3-Adenda 5), donde:

i) *La Punta - La Brava*; se ubica en el sector sur del salar y abarca una superficie de 726,0 ha (29,1%).
ii) *Lagunas de Peine,* ubicado al sur del salar, comprende las lagunas Salada, Interna y Saladita. Este sistema cubre un total 1.769,1 ha (70,9%).

Los dos sistemas lagunares se ubican en la zona de interacción de la salmuera y el acuífero, donde se desarrolla una interfase salina al sur de la cuenca endorreica del Salar de Atacama. Esta zona de interfase 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°11-1. Ubicación sistemas lagunares que conforman el área de estudio para monitoreo y seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua por parte del Proyecto en el Salar de Atacama (PMB).



Fuente: Cedrem Consultores en base al Plan de Manejo Biótico (RWL, 2015); y el estudio "*Determinación Espacio Temporal de la Vegetación Azonal y Cuerpos de Agua* (Adenda 5 RWL, 2015)".

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

El parámetro de seguimiento utilizado en el presente análisis corresponde a la “superficie o área (m^2)” calculada por sistema lagunar a través de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales, con un píxel máximo de 4 metros, en base al Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) indicada en Adenda 5 RWL (2015).

De forma complementaria, en los resultados por sector, y siendo consistente con lo analizado en el documento Adenda 5, Anexo 3 (PSA), en relación a que “...*se realizará una correlación con una imagen de baja resolución disponible del satélite LANDSAT 8 o similar, de la fecha más próxima a las de las imágenes de alta definición, de menor resolución”;* en el presente estudio se realiza una comparación entre las superficies determinadas en base a las imágenes de alta resolución Pleiades - 1A y Landsat 8.

11.1.3 Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua

Esta etapa del estudio conllevó el trabajo en terreno, el cual se realizó con la finalidad de colectar los datos que revalidan el modelo de clasificación supervisada usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales; en los casos donde no sea posible el acceso para la colecta de datos, se reemplazará por el análisis fotointerpretativo. La técnica de interpretación visual o fotointerpretación se realiza en base a las imágenes satelitales e/o imágenes de dron, proceso en el que se les asigna a estos puntos el tipo de recubrimiento de suelo que presentan. El método fotointerpretativo para el seguimiento lagunar se realiza en base a la imagen de alta resolución (Pleiades 1-A, 8bits), con variación en la composición de colores para la mejor visualización del cambio de coberturas (método de empleo de falso color). La fotointerpretación o clasificación visual es parte de los procesos de reconocimiento, identificación y delimitación de los recubrimientos detectados en una zona de estudio que, en base a diferentes criterios visuales (color, tono, brillo, textura, formas y aspectos temporales), son parte de las técnicas de muestreo para la metodología de clasificación supervisada.

El muestreo ejecutado, consistió en la validación del tipo de recubrimiento de suelo existente, como “*cuerpo de agua*” u “*otro recubrimiento*”, para cada punto de monitoreo y por sistema lagunar en estudio.

El propósito del muestreo 2024 es revalidar el recubrimiento de suelo, mediante réplicas de los puntos levantados desde el primer año de monitoreo, desde agosto y diciembre de 2016 hasta agosto y diciembre de 2023, en zonas representativas de cuerpos de agua permanentes y zonas que presentan diferencias intra e interanuales, a lo que se suma el criterio de accesibilidad.

La captura de las imágenes satelitales de alta resolución para todos los sectores (Pleiades 1-A) y la descarga de la imagen de media resolución (Landsat 8), se realizó en paralelo a las campañas de terreno en las fechas propuestas para el seguimiento lagunar.

Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron DJI modelo *Mavic Pro* con cámara de 12 mega pixeles en los sectores donde no se presentaron restricciones de movilidad, principalmente en la campaña de invierno 2024 (agosto).

El diseño de muestreo implementado para el trabajo en terreno – *in situ*, corresponde al tipo *aleatorio –estratificado* y *estratificado- dirigido* mediante transectos, en los cuatro sistemas lagunares, criterio que se aplica en base a las condiciones de seguridad por el limitado acceso y al conocimiento adquirido en campañas anteriores sobre estos sistemas.

El tamaño de muestra se calculó a partir de la superficie mínima de cuerpos de agua registrada para el componente en la Adenda 5 RWL (2015) y los valores del índice NDWI de imágenes satelitales de alta resolución disponibles.

La Tabla N°11-3 y Tabla N°11-4 presentan 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 1-A y Landsat 8, se debe a las diferencias de resolución espacial entre ellas (2 m y 30 m, respectivamente). En atención a observaciones realizadas por el Consejo de Pueblos Atacameños (documento *Observaciones a Plan de Seguimiento Ambiental de Albemarle*, Unidad de Medio Ambiente del Consejo de Pueblos Atacameños, 2025), los puntos de campo de validación se grafican en la Figura N° 11-2 a la Figura N° 11-9**.** En el desglose se puede apreciar aquellos puntos validados en terreno – *in situ* – y aquellos provenientes de la fotointerpretación de la imagen satelital.

Tabla N°11-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2024, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades - 1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.

SISTEMA LAGUNAR	RECUBRIMIENTO	PUNTOS DE VALIDACIÓN				PUNTOS DE VALIDACIÓN MODELO	
		PLEIADES 1A		LANDSAT 8		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
		TER[34]	FI	TER	FI		
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	177	-	56	-	249	76
	Cuerpos de agua	128	-	41	-	56	21
	Total sistema lagunar	**305**	**-**	**97**	**-**	**305**	**97**
Peine	Otros recubrimientos	19	45	45	18	111	79
	Cuerpos de agua	113	14	15	104	80	103
	Total sistema lagunar	**132**	**59**	**60**	**122**	**191**	**182**

[34] **Donde: TER** = puntos catastrados *in situ*, georreferenciados con dispositivo GPS durante las campañas de terreno; **FI** = puntos catastrados mediante fotointerpretación de imágenes satelitales.

SISTEMA LAGUNAR	RECUBRIMIENTO	PUNTOS DE VALIDACIÓN				PUNTOS DE VALIDACIÓN MODELO	
		PLEIADES 1A		LANDSAT 8		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
		TER[34]	FI	TER	FI		
Total General		**496**		**279**		**496**	**279**

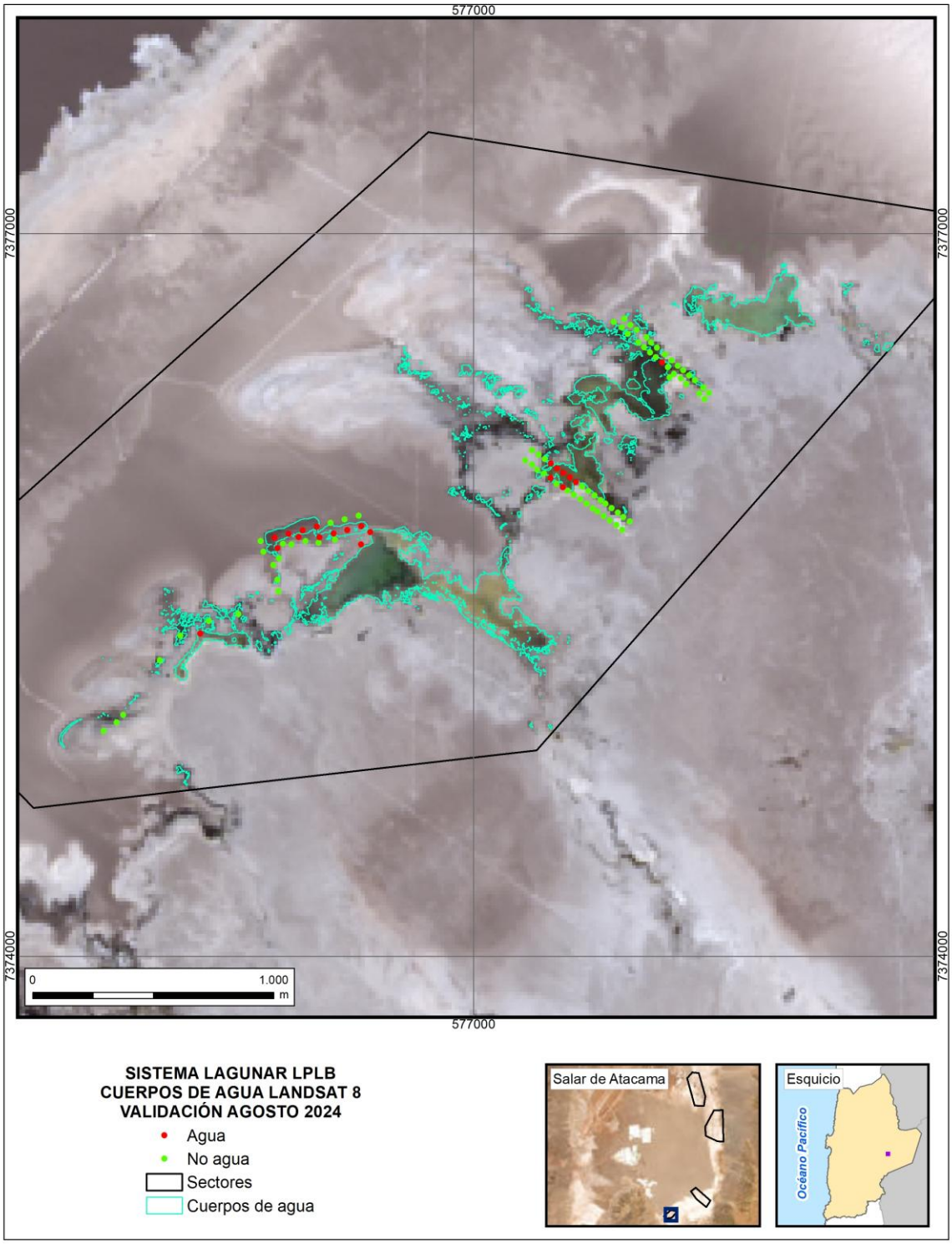
Fuente: Cedrem Consultores.

Tabla N°11-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2024/2025, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades - 1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.

SISTEMA LAGUNAR	RECUBRIMIENTO	PUNTOS DE VALIDACIÓN				PUNTOS DE VALIDACIÓN MODELO	
		PLEIADES 1A		LANDSAT 8		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
		TER	FI	TER	FI		
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	221	-	79	-	278	86
	Cuerpos de agua	84	-	18	-	27	11
	Total sistema lagunar	**305**		**97**	**-**	**305**	**97**
Peine	Otros recubrimientos	-	72	-	66	92	99
	Cuerpos de agua	-	119	-	116	99	83
	Total sistema lagunar		**191**		**182**	**191**	**182**
Total General		**496**		**279**		**496**	**279**

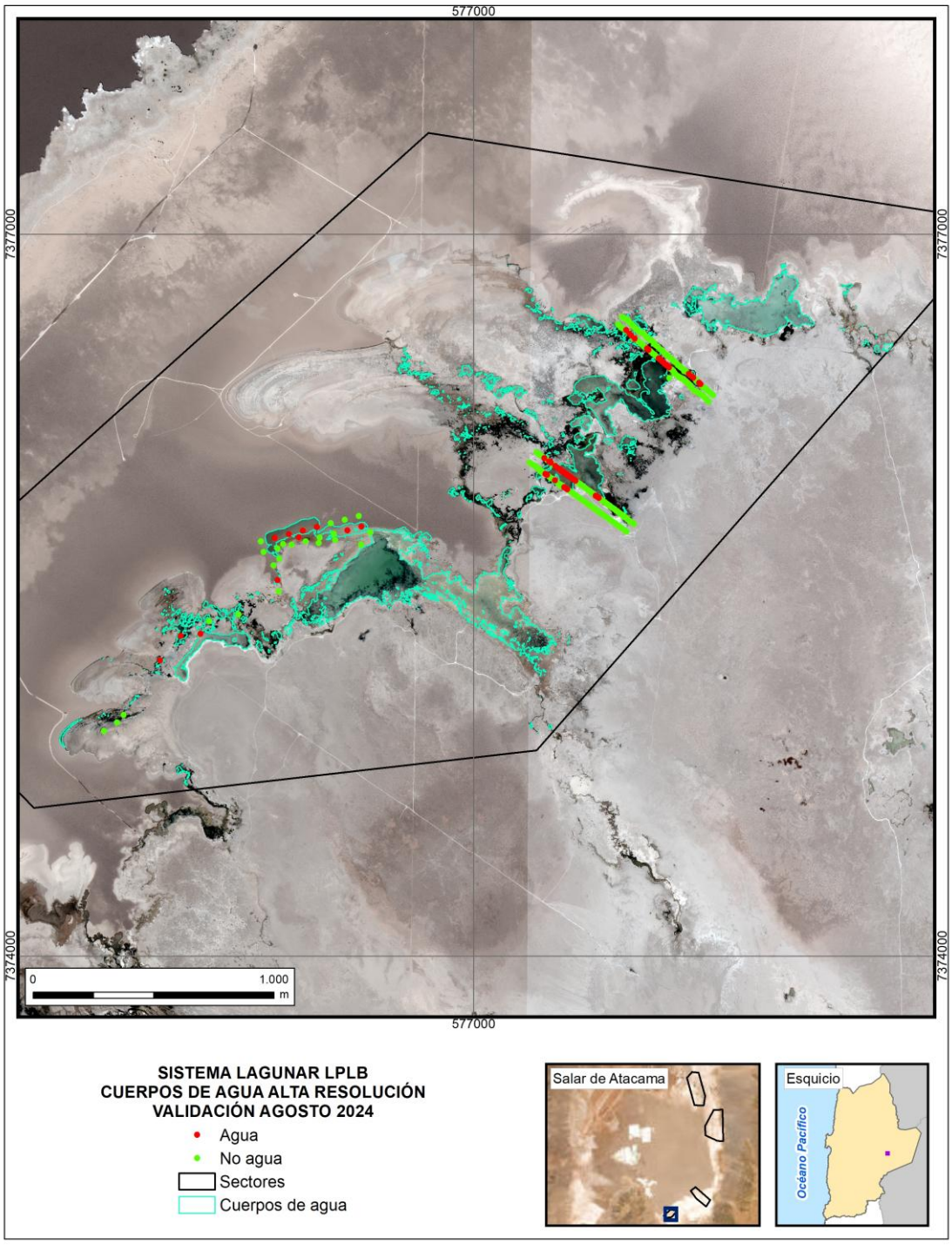
Fuente: Cedrem Consultores.

Figura N° 11-2. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar La Punta – La Brava, con indicación de presencia o ausencia de agua, Landsat 8 - agosto 2024.



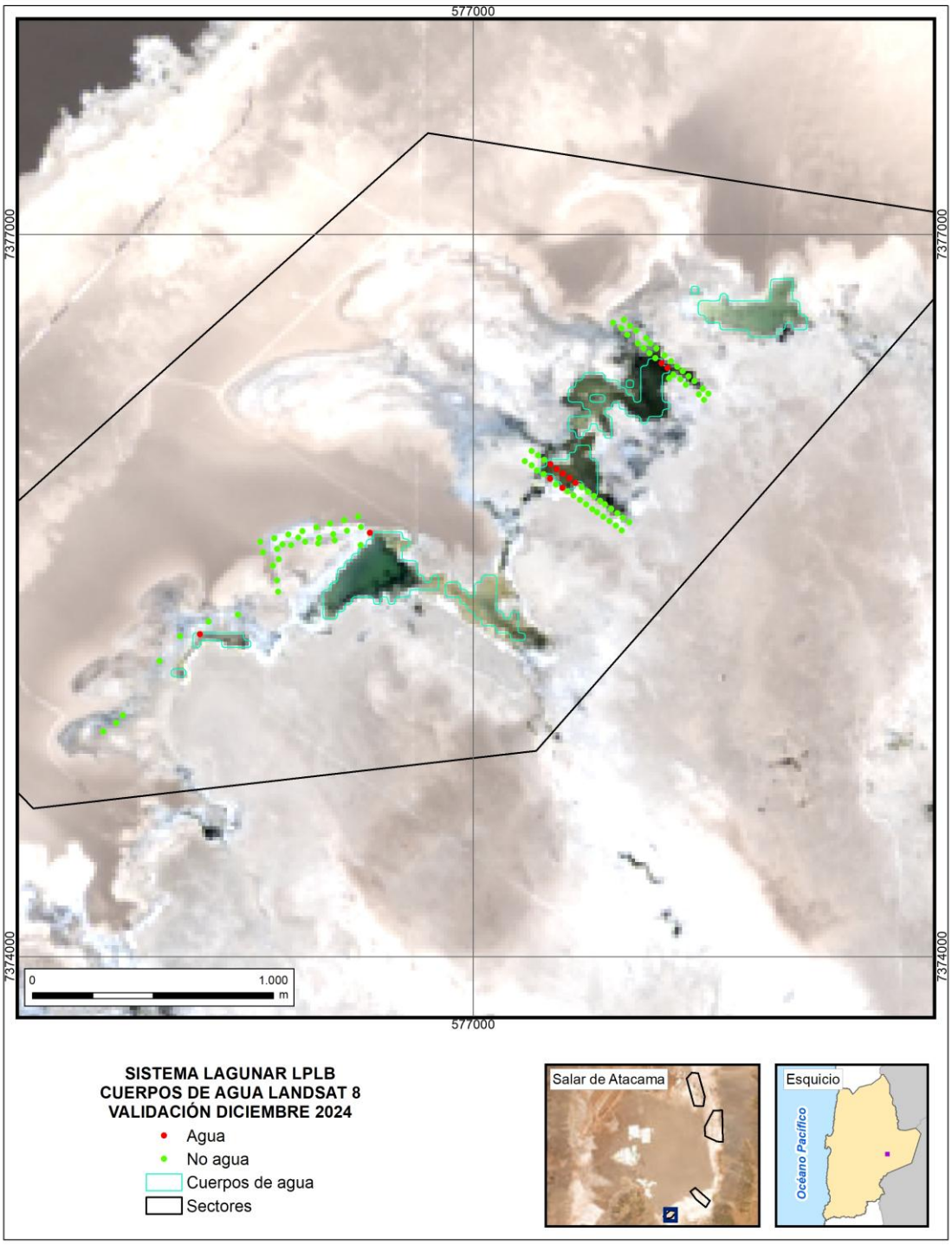
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11-3. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar La Punta – La Brava, con indicación de presencia o ausencia de agua, Pleiades 1A - agosto 2024.



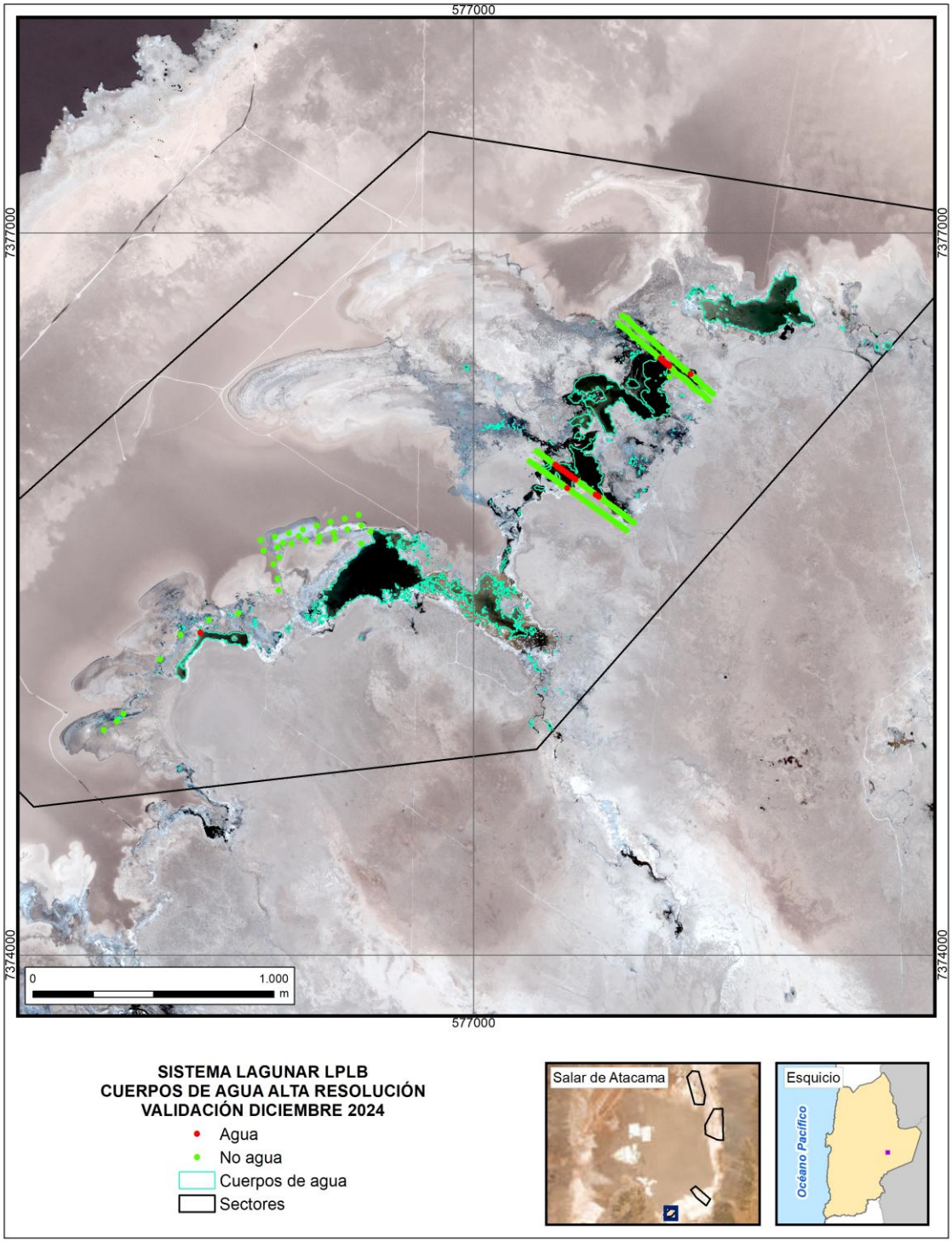
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11-4. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar La Punta – La Brava, con indicación de presencia o ausencia de agua, Landsat 8 - diciembre 2024.



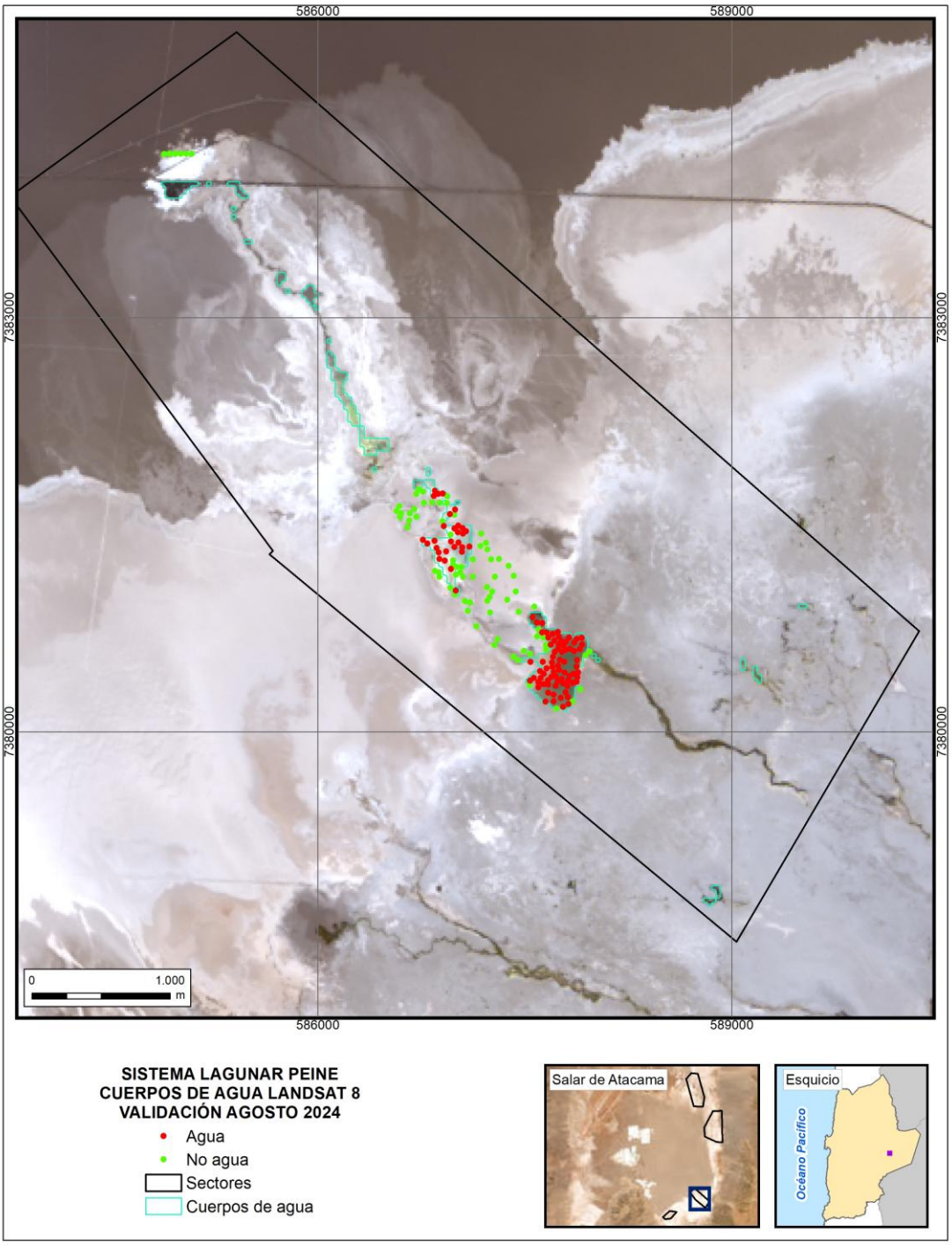
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11-5. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar La Punta – La Brava, con indicación de presencia o ausencia de agua, Pleiades 1A- diciembre 2024.



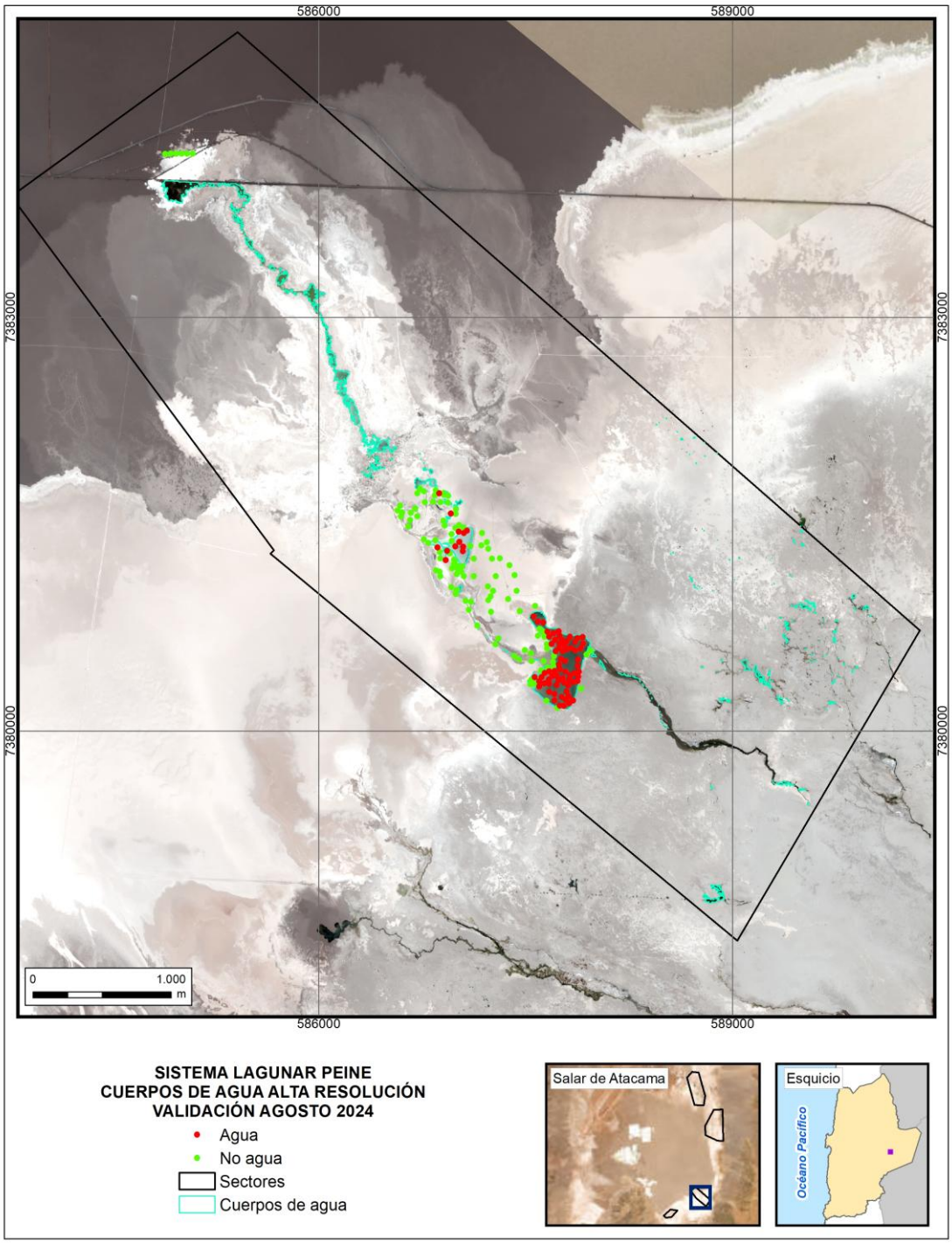
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11-6. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar Peine, con indicación de presencia o ausencia de agua, Landsat 8 - agosto 2024.



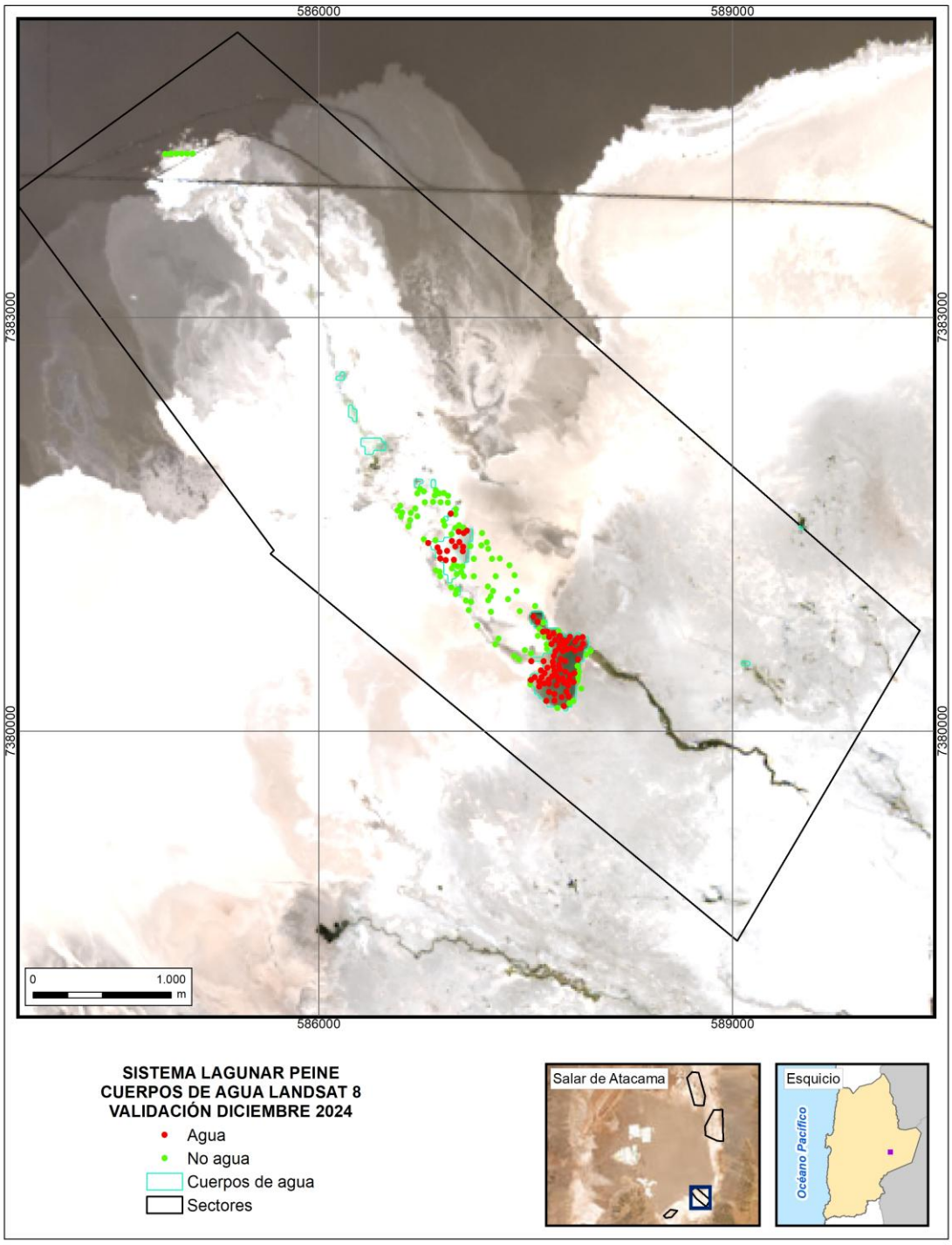
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11-7. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar Peine, con indicación de presencia o ausencia de agua, Pleiades 1A - agosto 2024.



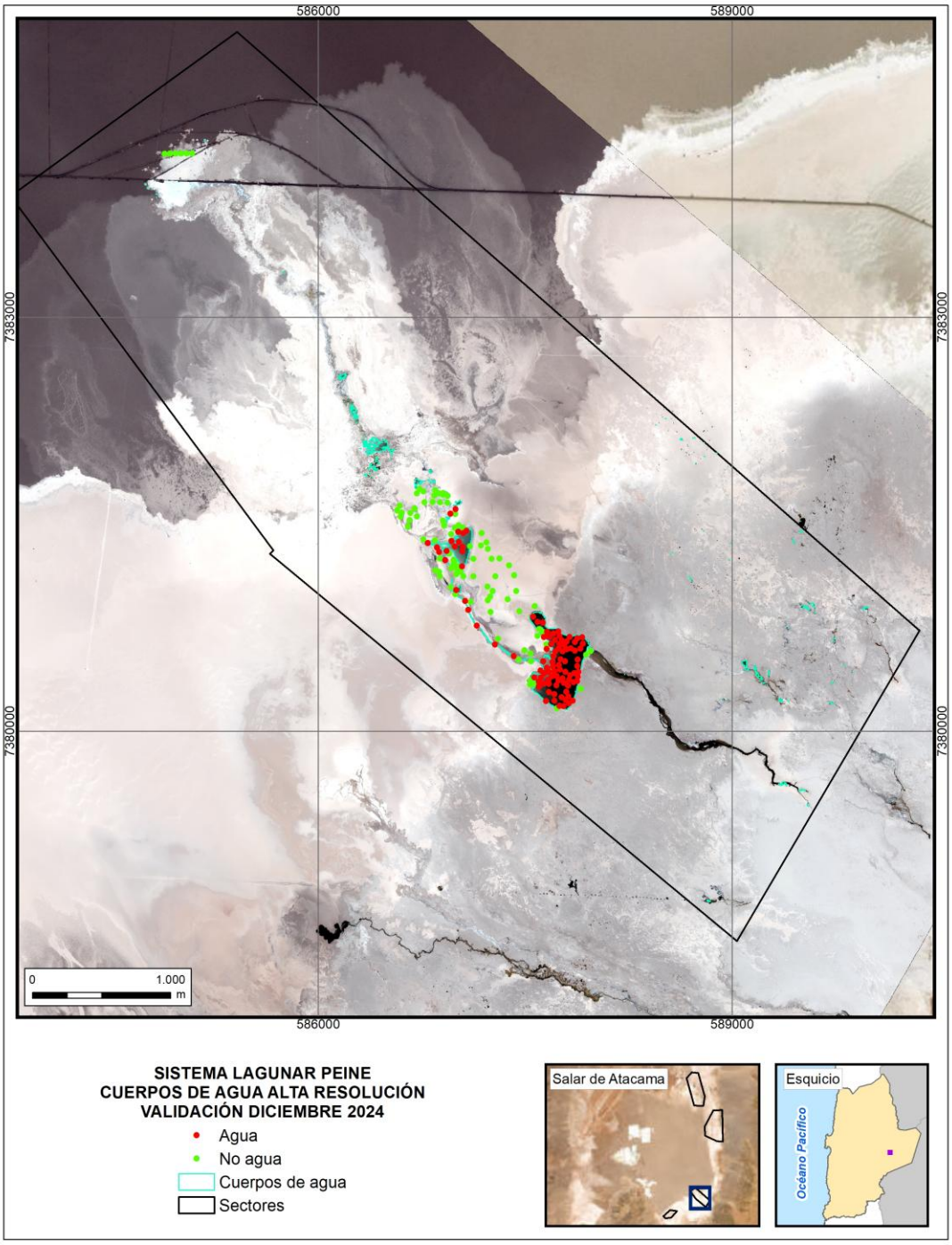
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11-8. Localización de los puntos de muestreo sistema lagunar Peine, con indicación de presencia o ausencia de agua, Landsat 8 - diciembre 2024.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11-9. Localización de los puntos de muestreo muestreo sistema lagunar Peine, con indicación de presencia o ausencia de agua, Pleiades 1A - diciembre 2024.



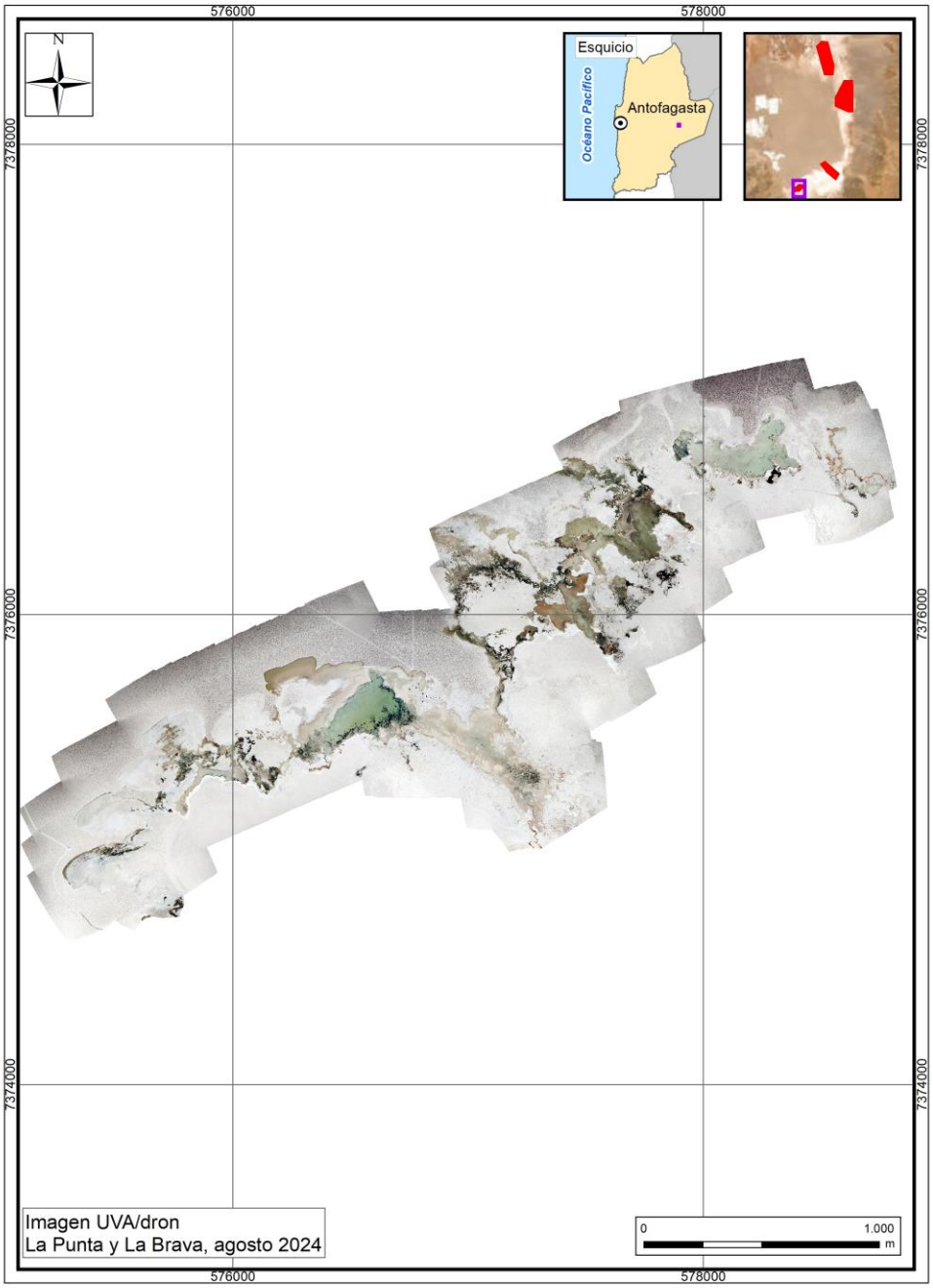
Fuente: Elaboración Propia

11.1.4 Materiales y equipos utilizados

El equipo empleado durante la campaña de invierno de 2024 para el levantamiento de puntos de información de sistemas lagunares consistió en un receptor FULL GNSS/GPS, el Navcom SF-3040, equipado con el sistema Starfire de geoposicionamiento. Este receptor proporciona datos en coordenadas UTM 19S WGS84. Además, se incorporó un dron DJI modelo Mavic Pro con una cámara de 12 megapíxeles, ejecutando vuelos programados a una altura de 200 metros. En la campaña de invierno de 2024, no se pudo llevar a cabo la validación en terreno en el área de Peine (Salada y Saladita). Esto se debió a medidas restrictivas de movilidad implementadas por la Comunidad de Peine. Estas restricciones redujeron las opciones de validación a la fotointerpretación en el gabinete utilizando imágenes de alta resolución (ver registros en **Anexo Área de Lagunas).**

En tanto, el equipo empleado durante la campaña de verano 2024-2025 (diciembre) para el levantamiento de puntos de información de sistemas lagunares consistió en un receptor móvil GPS/GNSS SATLAB SL900, rastreo múltiple constelación con software SGS (SATLAB GEOBIZ SOLUTION). Este receptor proporciona datos en coordenadas UTM 19S WGS84. En la campaña de verano de 2024-2025, no se pudo llevar a cabo la validación en terreno en el área de Peine (Salada y Saladita e Interna). Esto se debió a medidas restrictivas de movilidad implementadas por la Comunidad de Peine. Estas restricciones redujeron las opciones de validación a la fotointerpretación en el gabinete utilizando imágenes de alta resolución sin apoyo de vuelo dron (ver registros en **Anexo Área de Lagunas).** La Figura N° 11-10 y Figura N° 11-11, muestran los resultados de los vuelos autorizados en la campaña de invierno 2024.

Figura N° 11-10 .Imagen UVA/dron usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, sector La Punta y La Brava, invierno 2024.



Fuente: Elaboración Propia en base a mosaico imagen UVA/dron sector La Punta y La Brava.

Figura N° 11-11 Imagen UVA/dron usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, sector Peine, invierno 2024.



Fuente: Elaboración Propia en base a mosaico imagen UVA/dron sector La Punta y La Brava.

11.1.5 Metodología de muestreo y/o medición

El muestreo en terreno se llevó a cabo mediante el levantamiento de puntos de monitoreo con receptores Full GNSS/GPS**,** que consistió en el marcaje del tipo de recubrimiento de suelo directamente en terreno para cada punto de medición, en coordenadas UTM 19S WGS84. Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron en los sectores que no presentaban restricciones de movilidad.

Posteriormente, en el software GIS ArcMap 10.8 se validan los puntos a los que no se pudo acceder en terreno, mediante la técnica de interpretación visual o fotointerpretación en base a las imágenes satelitales e imágenes de dron, proceso en el que se les asignó a estos puntos el tipo de recubrimiento de suelo (cuerpo de agua / otro recubrimiento). El método fotointerpretativo se realiza en base a la imagen de alta resolución (Pleiades 1-A, 8bits), con variación en la composición de colores para la mejor visualización del cambio de coberturas (método de empleo de falso color). La fotointerpretación o clasificación visual es parte de los procesos de reconocimiento, identificación y delimitación de los recubrimientos detectados en una zona de estudio que, en base a diferentes criterios visuales (color, tono, brillo, textura, formas y aspectos temporales), son parte de las técnicas de muestreo para la metodología de clasificación supervisada.

En las campañas de invierno y verano 2024-2025 (diciembre), este muestreo se implementó en los puntos de réplicas estacionales de las campañas de invierno y verano de 2016 a 2023, en zonas representativas de lagunas recurrentes y donde se determinaron las principales diferencias entre la medición de terreno y el modelo de clasificación supervisada, en períodos intra e interanuales, resguardando las condiciones de accesibilidad, seguridad y permisos respectivos en zonas de acceso restringido. 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

11.1.5.1 Imágenes de alta resolución – Pleiades - 1A

Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio provienen del sensor Pleiades - 1A, que conforman un mosaico de los sistemas de Peine y La Punta - La Brava. La fecha de captura de invierno es **6 de agosto de 2024** (Figura N°11-12) y de verano es **17 de diciembre de 2024** (Figura N°11-13). La selección de este tipo de imágenes se debe a que sus características permiten contar con la resolución espacial adecuada para la cartografía detallada y de precisión (Pancromática, 50 cm; Multiespectral, 2 m), y permite mayor flexibilidad en cuanto a la periodicidad de captura, ya que su intervalo de revisita es de 24 h.

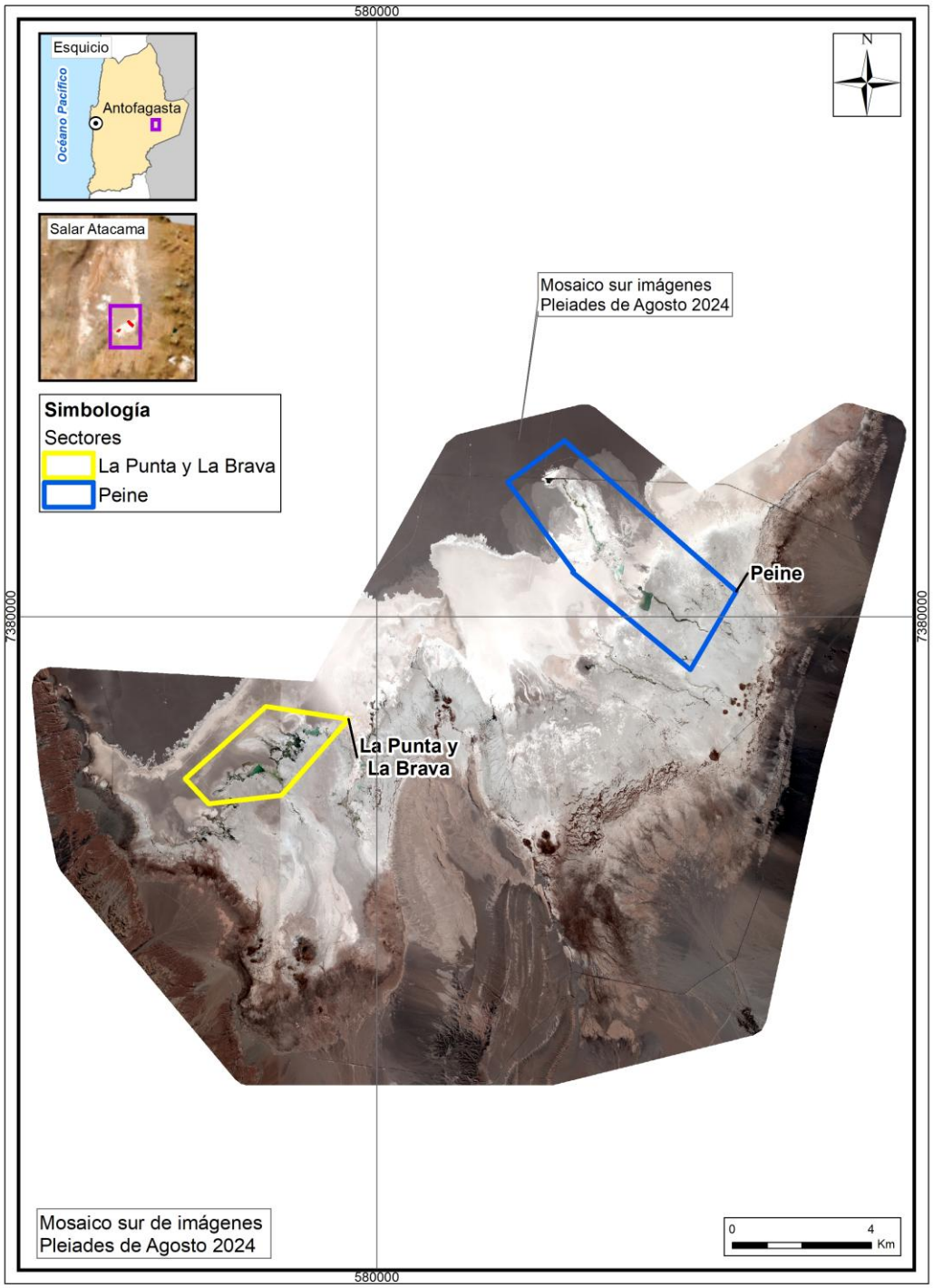
El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente. Las principales características del sensor se describen en la Tabla N°11-5, en el **Anexo Área de Lagunas** se presenta el *metadata* de las imágenes analizadas.

Tabla N°11-5. Características técnicas del sensor Pleiades - 1A.

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

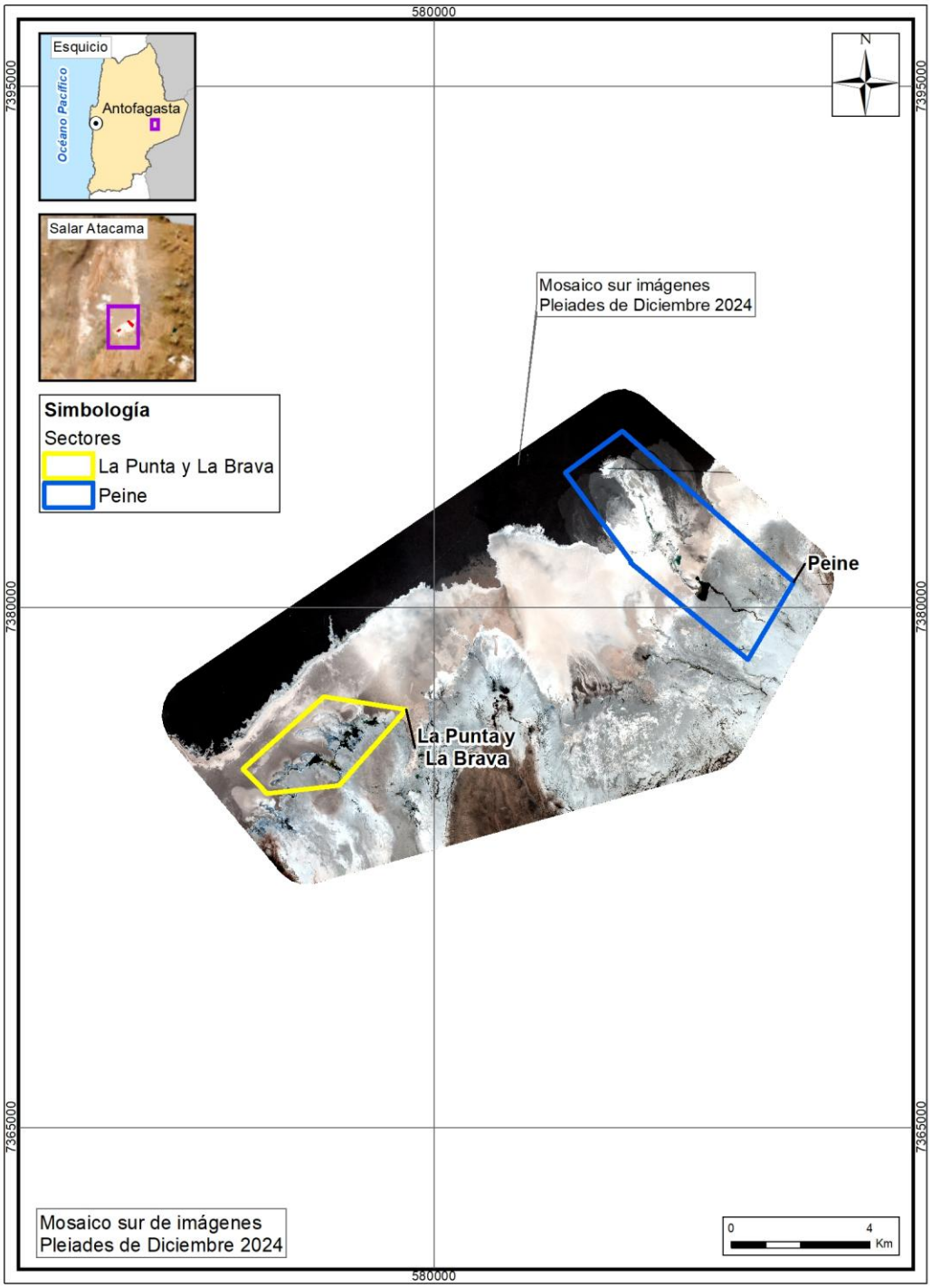
Fuente: Airbus Defense and Space. https://storage.googleapis.com/p-oaf-ibe-back-00e-strapi-uploads/pleiades_brochure_2019_8883d573da/pleiades_brochure_2019_8883d573da.pdf. Revisitada en enero de 2025.

Figura N°11-12. 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 2024.



Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades - 1A (invierno 2024).

Figura N°11-13. 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 2024-2025.

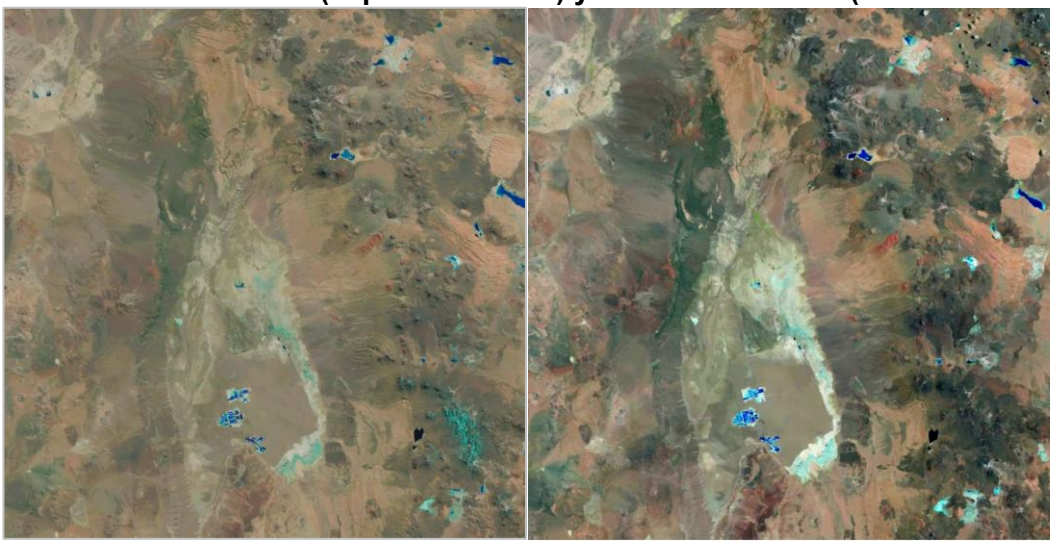


Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades - 1A (verano 2024/2025).

11.1.5.2 Imagen de resolución media – LANDSAT 8

Las imágenes usadas cubren por completo el área de estudio y las fechas de captura corresponden al **31 de julio y 22 de diciembre de 2024**. La descarga se realiza en forma gratuita desde http://earthexplorer.usgs.gov/, sitio *web* de *United States Geological Survey* (USGS; Figura N°11-14). El sensor Landsat 8 dispone de 11 bandas espectrales, con una resolución (tamaño del píxel) de 30 x 30 m. De éstas, se utilizaron cinco bandas en el proceso de delimitación de los cuerpos de agua del área de estudio. Las características de las bandas espectrales del sensor LANDSAT 8 se describen en la Tabla N°11-6 y el **Anexo Área de Lagunas** presenta la *metadata* de la imagen descargada.

Figura N°11-14. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2024 (izquierda – RGB) y verano 2024/2025 (derecha - RGB).



Fuente: United States Geological Survey USGS, http://earthexplorer.usgs.gov/. Revisitada en agosto y diciembre de 2024.

Tabla N°11-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8

Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
Band 1 Costera	0,43 – 0,45	30
Band 2 Azul	0,45 – 0,51	30
Band 3 Verde	0,53 – 0,59	30
Band 4 Rojo	0,64 – 0,67	30

Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
Band 5 Infrarrojo Cercano (NIR)	0,85 – 0,88	30
Band 6 Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)	1,57 – 1,65	30
Band 7 Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)	2,11 – 2,29	30
Band 8 Pancromática (Pan)	0,50 – 0,68	15
Band 9 Cirros (Cirrus)	1,36 – 1,38	30
Band 10 Sensor Térmico Infrarrojo 1 (TIRS 1)	10,6 – 11,19	100
Band 11 Sensor Térmico Infrarrojo 2 (TIRS 2)	11,5 – 12,51	100

Fuente: United States Geological Survey USGS, http://earthexplorer.usgs.gov/. Visitada en agosto y diciembre 2024.

11.1.5.3 Procesamiento de las imágenes satelitales

Tanto las imágenes Landsat 8, como las Pleiades 1-A 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 / (m2 *sr *µm))[35]. 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, en las imágenes de alta resolución (Pleiades). 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. En el caso de las imágenes de resolución media, las imágenes Landsat 8 Level-2 Surface Reflectance (L2SP) son productos procesados por el proveedor

[35] Dónde: W: Watts; m^2: metro cuadrado; sr: estereorradián; µm: micrómetro.

para corregir diversos efectos atmosféricos y de iluminación. Las correcciones atmosféricas incluyen la eliminación o reducción de efectos causados por la presencia de gases, aerosoles y nubes en la atmósfera.

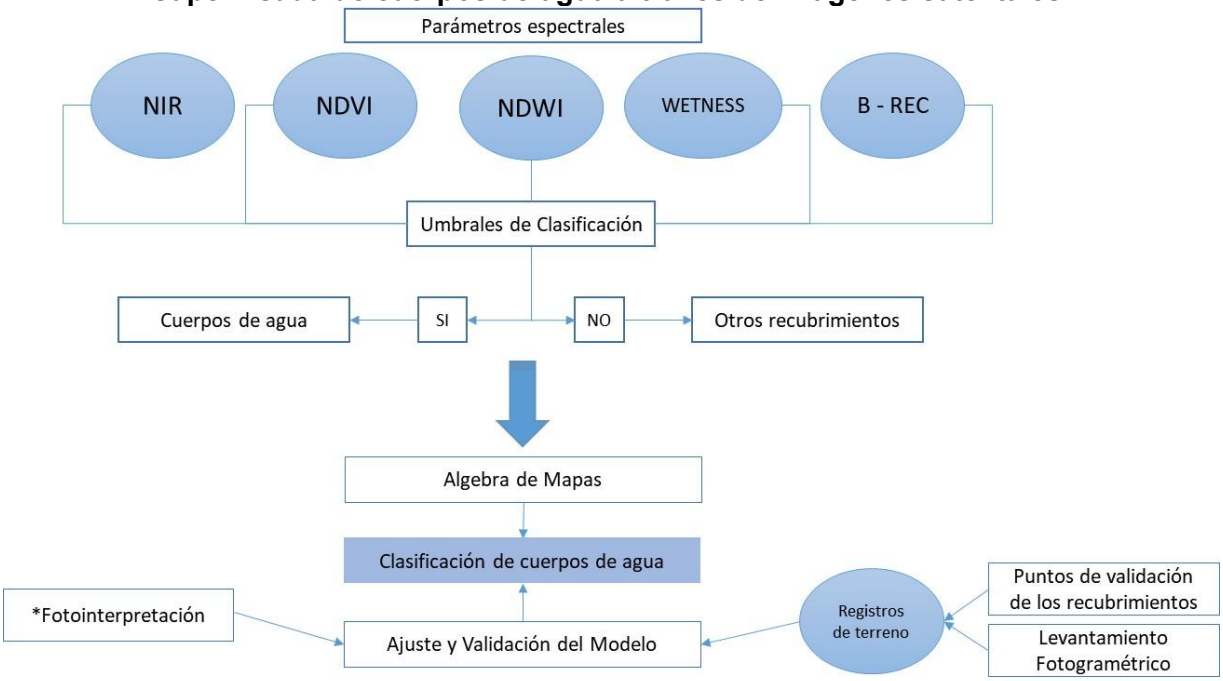
Es importante mencionar que estos métodos en comparación al método IARR (por su sigla en inglés) y que corresponde al *promedio interno de reflectancia relativa* aplicado en la Adenda 5 RWL (2015), constituye un mejoramiento en el modelo actual, producto del refinamiento en el proceso de remoción del error atmosférico proporcionado por el modelo de *Airbus* (Chuvieco, 2006) y el modelo L2SP. Esta diferencia metodológica, puede variar la respuesta espectral de los parámetros espectrales utilizados (*ej.* NDVI, NDWI; Lamolda, 2008), conduciendo a la mejor detección de cuerpos de agua con el modelo actual (detalles en el **Anexo Área de Lagunas**).

Posteriormente, las imágenes fueron ortorrectificadas para eliminar las distorsiones geométricas, producto de imperfecciones del sensor, la curvatura de la tierra y los efectos locales del relieve. Finalmente, en el caso de las imágenes de alta resolución Pleiades 1-A, fueron unidas conformando un mosaico del área de estudio (Figura N°11-12 y Figura N°11-13).

11.1.5.4 Descripción del Modelo de Clasificación Supervisada de cuerpos de agua

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

Figura N°11-15. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.



Índices Multiespectrales: NIR= Banda del infrarrojo cercano, NDVI= Índice de vegetación normalizado; **NDWI**= Índice diferencial de agua normalizado, **WETNESS**= Índice de Humedad derivado de transformación *Tasseled Cap* con bandas de imágenes Landsat 8; **B - REC**= reclasificación de bandas espectrales azul, verde, rojo e infrarrojo cercano. ***El levantamiento fotogramétrico se realiza complementario a los puntos de validación; en caso de no contar con acceso a las áreas se utiliza el método de ***Fotointerpretación**. 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 de los umbrales de clasificación para cada uno de los parámetros espectrales en evaluación y que tienen una respuesta determinada ante la presencia de un cuerpo de agua. Posteriormente, en un modelo de árbol de decisiones, se estiman los cuerpos de agua utilizando la combinación de los criterios definidos en cada parámetro, y se evalúa el ajuste y la precisión del modelo mediante la comparación con los datos validados en terreno o por fotointerpretación (Figura N°11-15).

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

i) Banda infrarroja (NIR),
ii) Índice NDWI;
iii) Índice NDVI;
iv) Reclasificación de bandas espectrales (B1<B2) y (B3 > B4), usada en el modelo de imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y

v) Transformación "*Tasseled Cap*" (*Wetness*; Kauth &Thomas, 1976), la cual se utilizó para el caso Landsat 8, dado el mayor número de bandas que ofrece este sensor.

El acápite 11.1.5.5 describe en detalle cada uno de estos parámetros.

Comparativamente entre la metodología de la Adenda 5 RWL (2015) y la actual, cabe destacar que en esta última se incorporan dos parámetros espectrales adicionales, correspondientes a NDVI y a la transformación "*Tasseled Cap*" (*Wetness*). Esta modificación, se realizó con el fin de robustecer el modelo ya desarrollado, considerando que los suelos salinos usualmente presentan distintos tipos y concentraciones de sales, afectando la reflectancia del suelo en distintos grados y puede conducir a errores significativos durante interpretaciones espectrales (Wang *et al.,* 2012). El **Anexo Área de Lagunas** detalla los ajustes metodológicos aplicados con relación a la Adenda 5 RWL (2015).

11.1.5.5 Parámetros espectrales del modelo de clasificación

a. Índice de Diferencia Normalizada de Agua - NDWI

En la Adenda 5 RWL (2015) (Anexo 3 PSAH, apartado 3.2.6 de "Superficie cubierta por lagunas"), se indica que: "*Para la determinación de la superficie cubierta por lagunas, en la imagen de alta resolución se utilizará metodología "Modificación del Índice Normalizado de diferencias de agua (MNDWI)", que determina la presencia de agua mediante la respuesta espectral del infrarrojo medio, con la siguiente expresión:*

$$MNDWI = \frac{G - MIR}{G + MIR} \quad (1)$$

Donde G es la banda espectral correspondiente al color verde y el MIR es la banda del Infrarrojo medio". La fórmula corresponde a la desarrollada por Xu, 2006.

Sin embargo, en el mismo acápite, en algunos párrafos previo a la fórmula se indica textual: *"Se utilizarán imágenes de satelitales multiespectrales con un tamaño de píxel de* ***máximo 4 metros*** *que incluirán los sistemas lagunares de La Punta-La Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor*" (énfasis es propio). Lo anterior, y según las condiciones técnicas, lleva a un ajuste en la metodología dado que la existencia de imágenes que cuenten con la banda MIR es limitada y en general cuentan con menor resolución espacial (ej. satélites Spot con una banda MIR con resolución espacial de 20m, muy superior a los 4 m máximos).

Además, como fue mencionado en la introducción, la variable Superficies Lagunares, es compromiso del seguimiento biótico (PMB) y también del seguimiento hídrico (PSAH) y por lo tanto, se debe compatibilizar ambos compromisos, es decir, también debe cumplir con la metodología especificada en el Anexo 2, Adenda 5 EIA, apéndice b), 2015 "*Determinación*

espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua. Estudio de Impacto Ambiental", que indica que:

"*Para la delimitación de las superficies cubiertas por aguas existe el cálculo del Índice de Diferencia Normalizada de Agua o NDWI (Normalized Difference Water Index). La fórmula utilizada para el cálculo de este índice es la siguiente (Gao, 1995; McFeeters, 1996):*

$$NDWI = \frac{\rho_i V - \rho_i IRC}{\rho_i V + \rho_i IRC} \quad (2)$$

dónde: V es la reflectancia en el verde (visible) (Banda 2); IRC = reflectancia en la banda del infrarrojo cercano (Banda 4)".

Finalmente, la selección de la fórmula de McFeeters (2), responde a la necesidad de ajustar imágenes de alta resolución (ya sea imágenes de archivo o programadas) manteniendo todos los objetivos propuestos en la Adenda 5 RWL (2015) y la base de la fórmula propuesta, tanto para el PSAH como para el PMB, siendo esta última la utilizada en el presente informe con el fin de estandarizar los métodos.

El índice NDWI 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 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:

$$\boldsymbol{NDVI = (NIR-R) /(NIR+R)}$$

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

e. Transformación "*Tasseled Cap*"

La transformación "*Tasseled Cap*" (**TCT**) fue desarrollada para optimizar la visualización de la vegetación en imágenes multiespectrales (Hernández, 2005). Esta transformación produce tres nuevas bandas a partir de las originales de la imagen: Brillo (*Brightness*), Verdor (*Greenness*) y Humedad (*Wetness*).

El índice de humedad es un contraste entre la reflectancia en el infrarrojo de onda corta (SWIR) y el visible/infrarrojo cercano (V/NIR), proporcionando una medida del contenido de humedad del suelo. En estas bandas, el agua absorbe la radiación (con coeficientes de ponderación negativos) respecto al resto de las bandas menos afectadas por la humedad (coeficiente bajo y positivo) (Crist & Cicone, 1984; Crist, *et al.,* 1986).

Este parámetro se utilizó sólo en el caso de Landsat 8 y para su cálculo se utilizaron coeficientes que derivan estadísticamente a partir de estas imágenes y de observaciones empíricas que son específicos para cada sensor (Crist, *et al.* 1986).

11.1.5.6 Umbrales y validación del modelo de clasificación

Durante el proceso de clasificación supervisada, se establecieron umbrales de clasificación de cada parámetro del modelo, los cuales representaron el valor límite de clasificación como cuerpo de agua u otro recubrimiento. Estos umbrales fueron definidos para cada sector, según el parámetro, para cada tipo de imagen satelital y para cada temporada (mes – año). La búsqueda de umbrales se realiza en cada monitoreo, en consideración a las diferencias en la percepción del sensor de los recubrimientos del suelo, en otros, por el ángulo de iluminación del sol y la temporada del año en que se dé la captura; esta variación se traduce en el valor de los datos a analizar y por ende de valor de corte o umbral.

La definición de cada umbral se realizó mediante inspección visual fotointerpretativa, controlada por el conocimiento de las características de los objetos a catalogar; su respuesta espectral; y los umbrales determinados en campañas anteriores. Cabe destacar que las variaciones de estos valores respecto a los registros históricos de la Adenda 5 RWL (2015) son atribuibles al cambio del tipo de imágenes satelitales usadas; a las variaciones atmosféricas; las diferencias en el procesamiento de estas; y a cambios en los valores del conjunto de datos de cada imagen, correspondientes a la metodología detallada en el **Anexo Área de Lagunas.** Los umbrales obtenidos en para los informes semestrales invierno y verano 2024 -2025 se presentan en la Tabla N°11-7.

Tabla N°11-7. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades - 1A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2024.

TIPO DE IMAGEN	ÍNDICE	SISTEMA LAGUNAR	
		LA PUNTA Y LA BRAVA	PEINE
Invierno 2024			
Parámetros AR PLEIADES	**NDWI**	NB 12/32 >= -0,030745752	NB 12/32 >= -0,032625456
	NDVI	NB 21/32<= -0,009230325	NB 19/32 <= -0,056716628
	NIR - B4	NB 12/32 <= 0,222696344	NB 10/32 <= 0,237542415
	(B1<B2) Y (B3> B4)	SI	SI
Parámetros LANDSAT 8	**NDWI**	NB 10/32 >= 0,016474143	NB 9/32 >= -0,017115659
	NDVI	NB 24/32 <= -0,036347575	NB 26/32<= -0,000522385
	NIR - B5	NB 13/32<= 0,404508645	NB 12/32 <= 0,393277968
	WETNESS	NO	NO
Verano 2024-2025			
Parámetros AR PLEIADES	**NDWI**	P95 >= 0,010147916	NB 15/32 >= -0,036517164
	NDVI	NB 20/32 <= -0,007212789	NB 19/32 <= -0,040652084
	NIR - B4	P5 <= 0,40522675	NB 14/32 <= 0,412465393
	(B1<B2) Y (B3> B4)	SI	SI
Parámetros LANDSAT 8	**NDWI**	NB 8/32>= -0,053685009	NB 10/20 >= -0,000846695
	NDVI	NB 25/32 <= 0,004100533	NB 26/32 <= 0,007306146
	NIR - B5	P5 <= 0,376367066	P10 <= 0,355874506
	WETNESS	NO	NB 24/32 >= 0,314502413

Dónde: Métodos de clasificación de datos: R: Intervalo equivalente (*Equal Interval*), NB: Quiebres naturales (*Natural breaks*), P: Percentiles (*Quantile*). Umbrales definidos cada temporada de monitoreo, de acuerdo con las variaciones temporales del sensor y la naturaleza de los sustratos; NO: el índice presenta homogeneidad en los datos y su clasificación no aporta al modelo, por lo que no se utiliza. 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 10.8. Los métodos de clasificación de datos permiten visualmente agrupar valores similares, y bajo ese análisis determinar cuál es la agrupación de datos (desde que valor o umbral) se expresa con mejor ajuste los tipos de recubrimientos (agua, otros recubrimientos).

Una vez fijado cada umbral de clasificación, se extrae el conjunto de pixeles espectralmente similares que formaron grupos o clases, a las que luego se les asigno el tipo de recubrimiento de suelo que representaban (cuerpos de agua u otros recubrimientos).

El cálculo final del modelo por sector se realiza mediante la unión de los parámetros reclasificados según el umbral definido y se determinó la cobertura de agua cuando al menos dos de los cuatro parámetros coincidían en clasificar el píxel como “cuerpo de agua”, de lo contrario quedó asignado como “otro recubrimiento”; esto para ambos tipos de imágenes. El criterio de decisión en la cantidad de parámetros usados para asignar la categoría se relaciona con la complejidad del patrón espacial de cada sistema lagunar y de su variabilidad estacional (Ortiz, C. *et al*, 2014; DGA, 2014; Cornellà, O. *et al,* 2009).

Posteriormente, se procede con la validación del modelo de clasificación la cual se realiza a través de una matriz de confusión, que permite evaluar la exactitud del modelo. Fundamentalmente consiste en estimar el número de puntos correctamente cartografiados dentro de un conjunto de datos. En este caso, la matriz se construyó con la información del tipo de recubrimiento establecido en los puntos de validación de terreno/fotointerpretación y fueron comparados con los resultados del modelo. En esta matriz, la diagonal principal indica que las muestras fueron coincidentes o correctamente interpretadas (ITC, 1999 en Flores, 2002).

El interés del uso de esta tabla de confusión proviene de su capacidad para plasmar conflictos entre categorías. De esta forma no sólo se conoce la fiabilidad global de la clasificación, sino también la exactitud conseguida para cada una de las clases, así como los principales conflictos entre ellas (Chuvieco, 2006).

A partir de la matriz de confusión se realiza el cálculo del índice *Kappa*[36]*,* el cual es una medida ajuste en términos de la exactitud del modelo de clasificación. Este mide la diferencia entre los datos de validación de terreno/fotointerpretación y la clasificación según el modelo, e intenta delimitar el grado de ajuste de los datos, prescindiendo de los factores aleatorios (Congalton, 1991). El coeficiente *Kappa* fue calculado de la siguiente manera:

[36] Los rangos de valores para *Kappa* son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

$$\kappa = \frac{[\,(\Sigma\ concordancias\ observadas) - (\Sigma\ concordancias\ atribuibles\ al\ azar)]}{[(total\ de\ observaciones) - (\Sigma\ concordancias\ atribuibles\ al\ azar)]}$$

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 *moderada* en término de exactitud, mayores a 0,6 sugieren un modelo *considerable* en la clasificación del recubrimiento de suelo obtenida.

Con los datos de la revalidación en terreno/fotointerpretación y la clasificación finalizada por sistema lagunar, se procede a evaluar su ajuste mediante la utilización de la matriz de confusión y el Índice de *Kappa*, con la finalidad de determinar el nivel de ajuste obtenido.

Complementario a lo anterior, a partir de la matriz de confusión también se obtuvo el índice de precisión global (*overall accuracy* u OA) que define la cantidad de puntos correctamente clasificados midiendo así la calidad de una clasificación expresada en porcentaje (0 a 100%), en que, si todos los puntos de la imagen son clasificados al grupo que le corresponde según la información se terreno/fotointerpretación, vale decir, un 100% de coincidencias, se puede hablar de una clasificación perfecta (Li, Y., 2014).

11.1.5.7 Depuración cartográfica de cuerpos de agua

Posterior a obtener las coberturas de clasificación de los cuerpos de agua según el tipo de imagen satelital usada (Pleiades 1-A 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* (**Figura N°11-16**, a y b). El resultado se sometió a un proceso de suavizado, por la presencia de ángulos cerrados en sus contornos, para mejorar la calidad estética de la cartografía y su aproximación al contexto real (**Figura N°11-16**, c).

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

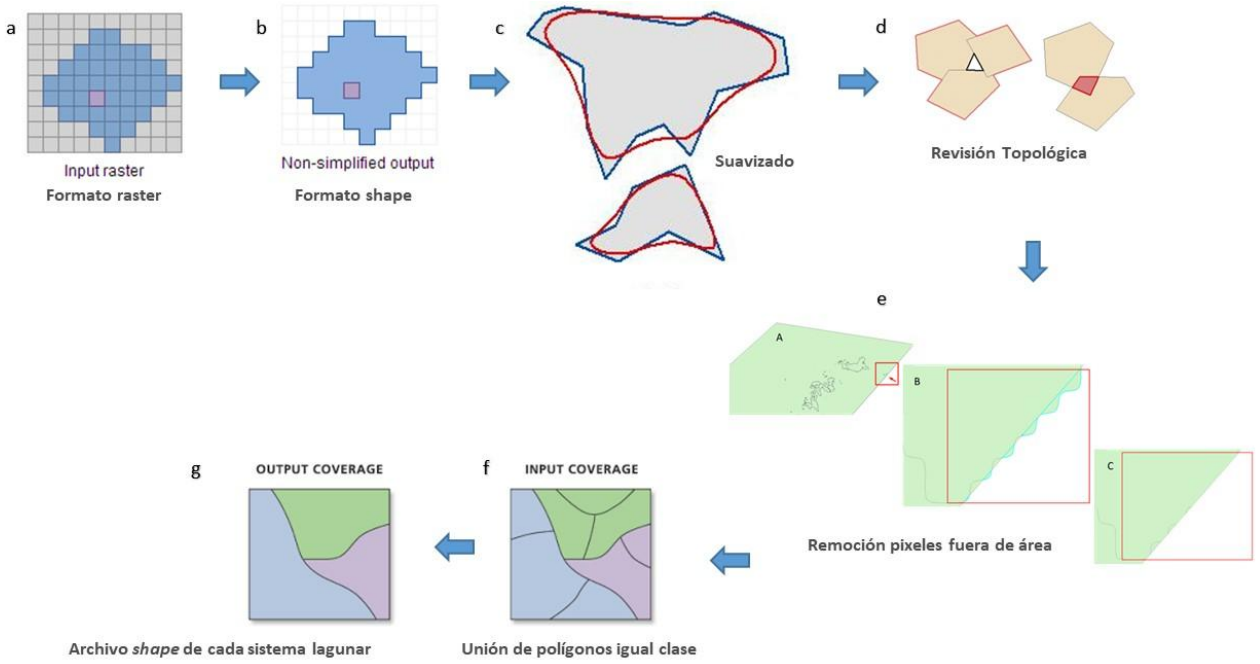
i) Revisión topológica de las coberturas, ante la presencia de espacios entre los bordes de los polígonos o bordes de polígonos superpuestos (**Figura N°11-16**, d) y,

ii) Remoción de polígonos clasificados como cuerpos de agua con tamaño inferior al equivalente de un píxel (0,0004 ha en Pleiades - 1A y 0,09 ha en Landsat 8) y que surgen de la intersección con el área de estudio (**Figura N°11-16**, e).

Producto de estas operaciones se origina una clasificación binaria (cuerpos de agua / otros recubrimientos), que son fusionados con parámetros con igual codificación y ajustados a los

polígonos que delimitan las áreas de estudio. El resultado final corresponde a un archivo en formato *shape* de cada sistema lagunar (La Punta - La Brava, Peine) (**Figura N°11-16**, f y g).

Figura N°11-16. 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: Cedrem Consultores en base a imágenes ESRI.

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

De acuerdo con lo expresado en la sección 11.1.2 *Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua*, esta etapa dio cumplimiento a lo dispuesto por el PMB, de acuerdo con Anexo 2, Adenda 5 EIA, *Apéndice B. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua*.

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

- *Comparación con registros históricos de la Adenda 5 (2015)*: se realizó entre el resultado de las superficies de lagunas registradas en los monitoreos de agosto y diciembre 2024, y las variaciones en relación con el mínimo histórico de la Adenda 5 RWL (2015).

- *Comparación entre imágenes satelitales:* se realizó una comparación entre las superficies determinadas en el monitoreo 2023 desde las imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y Landsat 8.
- *Comparación entre monitoreos anuales*: se realizó una comparación entre los resultados de las superficies lagunares en el monitoreo 2024-2025, con respecto a los resultados de los monitoreos entre 2016 y 2023.

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

11.1.7 Fechas de medición

Respecto a la campaña de invierno, ésta se realizó los días **04 y 10 de agosto de 2024.** En forma paralela a la campaña de terreno se obtuvieron las imágenes Pleiades 1A, el **6 de agosto de 2024,** y la captura de la imagen de media resolución (Landsat 8) corresponde al **31 de julio de 2024**.

La campaña de verano 2024-2025, se realizó los días **15 y 21 de diciembre de 2024**. En forma paralela a la campaña de terreno se obtuvieron las imágenes Pleiades 1A, el **17 de diciembre de 2024**, y la captura de la imagen de media resolución (Landsat 8) corresponde al **22 de diciembre de 2024**.

Durante la campaña de invierno de 2024, no fue posible completar la validación *in situ* programada debido a las medidas de restricción impuestas por la Comunidad de Peine, las cuales impidieron el acceso al sector de las lagunas de Peine (subsectores Salada y Saladita). Para la campaña de verano 2024-2025, dichas restricciones limitaron a la totalidad del sector Peine (subsectores Interna, Salada y Saladita). Asimismo, durante el verano 2024-2025 (diciembre), no se realizó el levantamiento aerofotogramétrico en ninguno de los sectores. En ambas temporadas, se optó por la fotointerpretación y validación en gabinete, empleando imágenes de alta resolución (ver registros en **Anexo Área de Lagunas)**.

11.2 RESULTADOS

11.2.1 Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

La validación del ajuste de las coberturas determinadas, con relación a los datos de terreno recabados y fotointerpretados, se realizó mediante el índice Kappa. Este índice tuvo una variación entre 0,53 y 0,46 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°11-8) y desde 0,75 y 0,41 para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°11-9) en agosto de 2024, para Peine y La Punta – La Brava respectivamente. Respecto de diciembre de 2024, este índice tuvo una variación entre 0,79 y 0,41 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°11-10) y desde 0,62 a 0,56 para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°11-11) para Peine y La Punta – La Brava respectivamente. Todos los valores antes

indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice Kappa muestra un nivel de concordancia moderado a considerable[37].

En relación con la precisión global, los valores tuvieron una variación entre 76% y 75% para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°11-8) y entre 73% y 88% para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°11-9) en agosto de 2024, para La Punta – La Brava y Peine respectivamente. Respecto de diciembre de 2024, la precisión global del modelo tuvo una variación entre 73% y 88% para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°11-10) y desde 81% a 90% para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°11-11), para La Punta – La Brava y Peine respectivamente. La precisión global expresa que proporción de puntos de validación coincidió correctamente con el modelo generado, expresado como un porcentaje, siendo la precisión del 100% una clasificación perfecta. Valores promedio sobre el 80% muestran una alta concordancia de lo observado, con el resultado del método de clasificación supervisada.

De lo anterior, se señala que los mayores ajustes corresponden a los sectores que muestran una mayor definición de los cuerpos de agua, por sus características de topografía y tipo de sustrato, ya que se encuentran total o parcialmente delimitados por una diferencia de nivel de costra salina; por lo tanto, las respuestas espectrales son más claras, facilitando la determinación de umbrales de los parámetros del modelo y la clasificación final es mayormente coincidente con los determinados en terreno o por fotointerpretación visual (generalmente asociado al sector Peine). Asimismo, los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes lagunares, conformando un ecotono de vegetación, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua (proveniente principalmente de los parámetros NDVI y NIR). También ocurre con el retroceso de zonas inundadas con la exposición del sustrato que muchas veces está asociado a otros componentes, como microorganismos; o ante la discontinuidad de las inundaciones, generando parches que no son captados como unidades independientes, aumentando el error en sitios de transición seca – húmeda. De acuerdo con lo anterior, en el sector La Punta – La Brava en el seguimiento 2024, se obtiene una baja de los cuerpos lagunares, y por ello la generación de cuerpos de agua discontinuos (de pequeña magnitud) y la exposición de recubrimientos mixtos (sal – microorganismos), que generan una discordancia entre lo “captado” por el sensor y lo corroborado por especialistas en terreno, repercutiendo en un menor índice *kappa* en dichos sectores.

[37] Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

Tabla N°11-8. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades - 1A: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Agosto, 2024.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de Puntos de validación de terreno/fotointerpretación			**Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	55	73	**128**	43,0		57,0
	Otros Recubrimientos	1	176	**177**	99,4		0,6
	Total	**56**	**249**	**305**	-		-
	Exactitud de Campo (%)	98,2	70,7	-	-		-
	***Error omisión (%)	1,8	29,3	-	-	**Índice Kappa:**	**0,46**
						Precisión global (OA):	**76%**
Peine	Cuerpos de agua	80	47	**127**	63,0		37,0
	Otros Recubrimientos	0	64	**64**	100,0		0,0
	Total	**80**	**111**	**191**	-		-
	Exactitud de Campo (%)	100,0	57,7	-	-		-
	***Error omisión (%)	0,0	42,3	-	-	**Índice Kappa:**	**0,53**
						Precisión global (OA):	**75%**

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud del muestreo: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; ***El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; ****El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006). Elaboración propia.

Tabla N°11-9. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Agosto, 2024.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de Puntos de validación de terreno/fotointerpretación			**Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	18	23	**41**	43,9		56,1
	Otros Recubrimientos	3	53	**56**	94,6		5,4
	Total	**21**	**76**	**97**	-		-
	Exactitud de Campo (%)	85,7	69,7	-	-		-
	***Error omisión (%)	14,3	30,3	-	-	**Índice Kappa:**	**0,41**
						Precisión global (OA):	**73%**
Peine	Cuerpos de agua	100	19	**119**	84,0		16,0

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de Puntos de validación de terreno/fotointerpretación			**Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
	Otros Recubrimientos	3	60	**63**	95,2		4,8
	Total	**103**	**79**	**182**	-		-
	Exactitud de Campo (%)	97,1	75,9	-	-		-
	***Error omisión (%)	2,9	24,1	-	-	**Índice Kappa:**	**0,75**
						Precisión global (OA):	**88%**

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud del muestreo: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; ***El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; ****El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006). Elaboración propia.

Tabla N°11-10. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades - 1A: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Diciembre, 2024.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de Puntos de validación de terreno/fotointerpretación			**Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	27	57	**84**	32,1		67,9
	Otros Recubrimientos	0	221	**221**	100,0		0,0
	Total	**27**	**278**	**305**	-		-
	Exactitud de Campo (%)	100,0	79,5	-	-		-
	***Error omisión (%)	0,0	20,5	-	-	**Índice Kappa:**	**0,41**
						Precisión global (OA):	**81%**
Peine	Cuerpos de agua	99	20	**119**	83,2		16,8
	Otros Recubrimientos	0	72	**72**	100,0		0,0
	Total	**99**	**92**	**191**	-		-
	Exactitud de Campo (%)	100,0	78,3	-	-		-
	***Error omisión (%)	0,0	21,7	-	-	**Índice Kappa:**	**0,79**
						Precisión global (OA):	**90%**

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud del muestreo: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; ***El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; ****El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006). Elaboración propia.

Tabla N°11-11. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Diciembre, 2024.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de Puntos de validación de terreno/fotointerpretación			**Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	9	9	**18**	50,0		50,0
	Otros Recubrimientos	2	77	**79**	97,5		2,5
	Total	**11**	**86**	**97**	-		-
	Exactitud de Campo (%)	81,8	89,5	-	-		-
	***Error omisión (%)	18,2	10,5	-	-	**Índice Kappa:**	**0,56**
						Precisión global (OA):	**89%**
Peine	Cuerpos de agua	82	34	**116**	70,7		29,3
	Otros Recubrimientos	1	65	**66**	98,5		1,5
	Total	**83**	**99**	**182**	-		-
	Exactitud de Campo (%)	98,8	65,7	-	-		-
	***Error omisión (%)	1,2	34,3	-	-	**Índice Kappa:**	**0,62**
						Precisión global (OA):	**81%**

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud del muestreo: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; ***El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; ****El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006). Elaboración propia.

11.2.2 Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar

En la Tabla N°11-12 y Tabla N°11-13 se presentan los resultados de las superficies de los cuerpos de agua que fueron determinadas a partir del modelo de clasificación supervisada desde imágenes de alta resolución (Pleiades - 1A) y desde media resolución (Landsat 8).

Tabla N°11-12. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades - 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2024 - 2025 (invierno y verano).

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2024			
		Invierno 2024		Verano 2024/2025	
		Ha	m²	ha	m²
Superficies Pleiades - 1A de alta resolución	La Punta – La Brava	40,7	407.332,2	24,4	243.682,9
	Peine	31,4	313.749,3	27,5	275.083,5

Fuente: Elaboración Propia

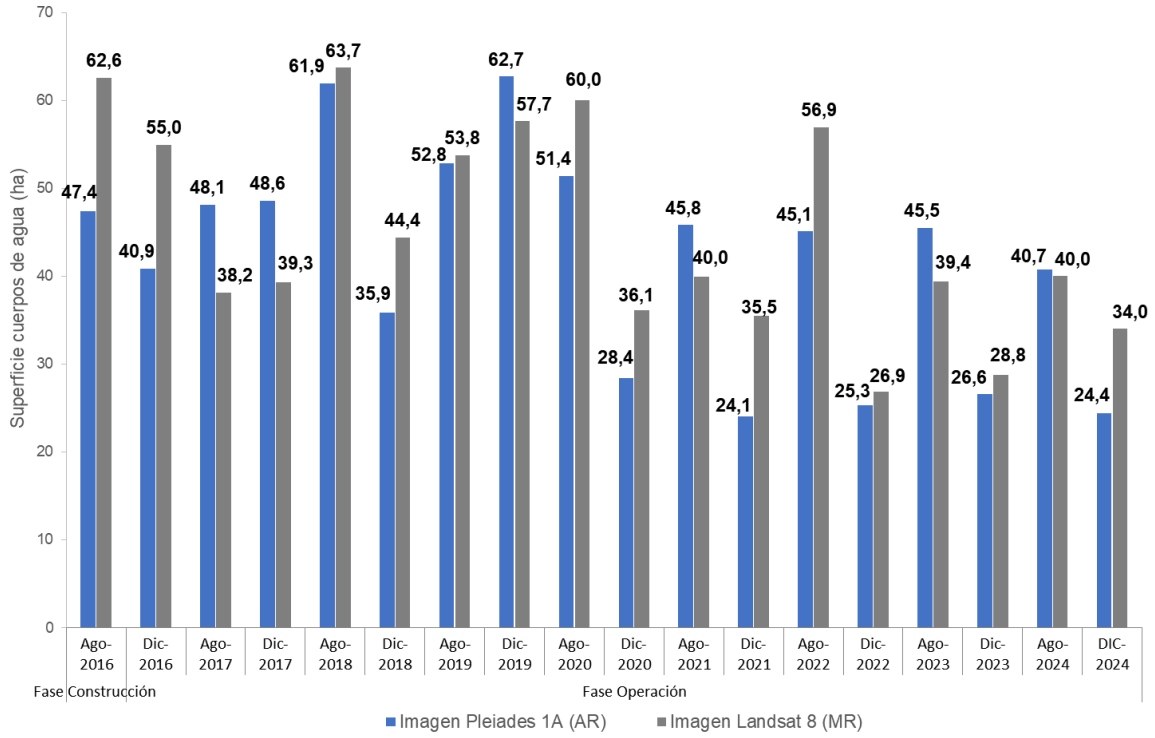
Tabla N°11-13. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2024 - 2025 (invierno y verano).

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2024			
		Invierno 2024		Verano 2024/2025	
		Ha	m²	ha	m²
Superficies Landsat 8 de media resolución	La Punta – La Brava	40,0	400.103,0	34,0	340.036,7
	Peine	42,4	424.333,4	22,8	227.885,9

Fuente: Elaboración Propia

En el **sistema lagunar La Punta - La Brava**, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades 1-A en agosto de 2024 es de 40,7 ha y en diciembre 2024 abarca una superficie de 24,4 ha (Tabla N°11-12). La Figura N°11-17 y Figura N°11-18 muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2024, desde que se aprobó la RCA 021/2016.

Figura N°11-17. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta - La Brava.



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

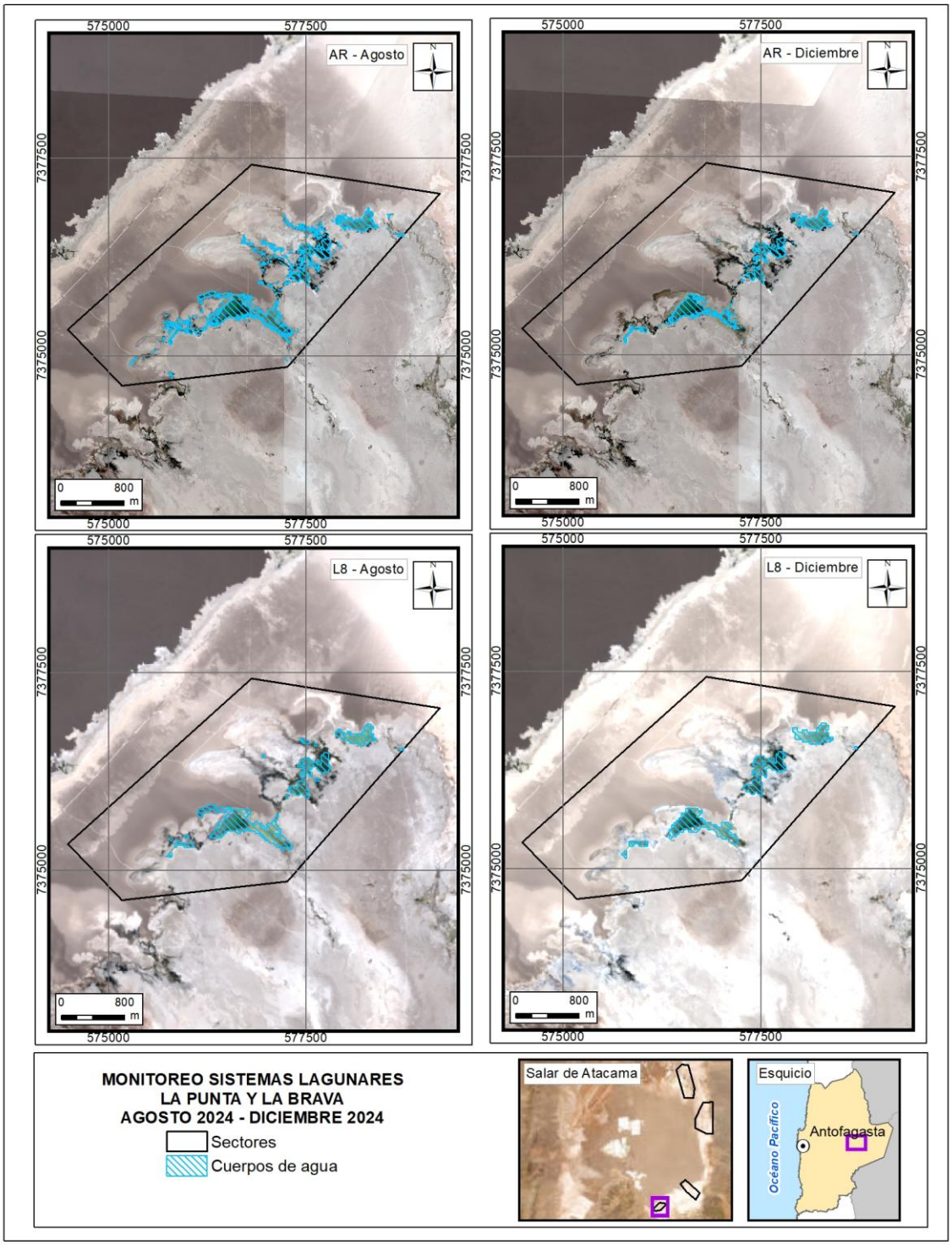
En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 40,0 ha en agosto de 2024, y en diciembre 2024 se calculó que la superficie de estos cuerpos es de 34,0 ha. Los valores de agosto 2024, en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Pleiades sobre Landsat de un +1,8% (+0,7 ha) para este periodo. En diciembre de 2024, la comparativa entre imágenes, muestra una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +39,5% (+9,6 ha) para este periodo. Las variaciones de resultados entre los sensores (Landsat - Pleiades) se deben principalmente a las diferencias en la resolución espacial, es decir, al tamaño de píxel, aunque también existen otros elementos que pueden ser relevantes en estas diferencias, como la resolución espectral de las imágenes y el ángulo de incidencia de estas, entre otros. Esto se traduce en un mayor

grosor de los resultados generados por el modelo de resolución media en comparación con un modelo de alta resolución, que proporciona un mayor nivel de detalle. Este incremento en la definición de los bordes o contornos del recubrimiento se logra gracias a la mejora en el contraste y la respuesta espectral ofrecida por las imágenes de alta resolución.

La correlación entre las superficies desde 2016 a 2024 en el sector La Punta - La Brava, calculadas desde de alta resolución (Pleiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,776[38] lo que indica una relación positiva moderada entre variables (r^2 = 60,2%); mientras que el valor *p* es de 0,0001 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat.

[38] El valor del coeficiente de correlación puede variar de −1 a +1. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

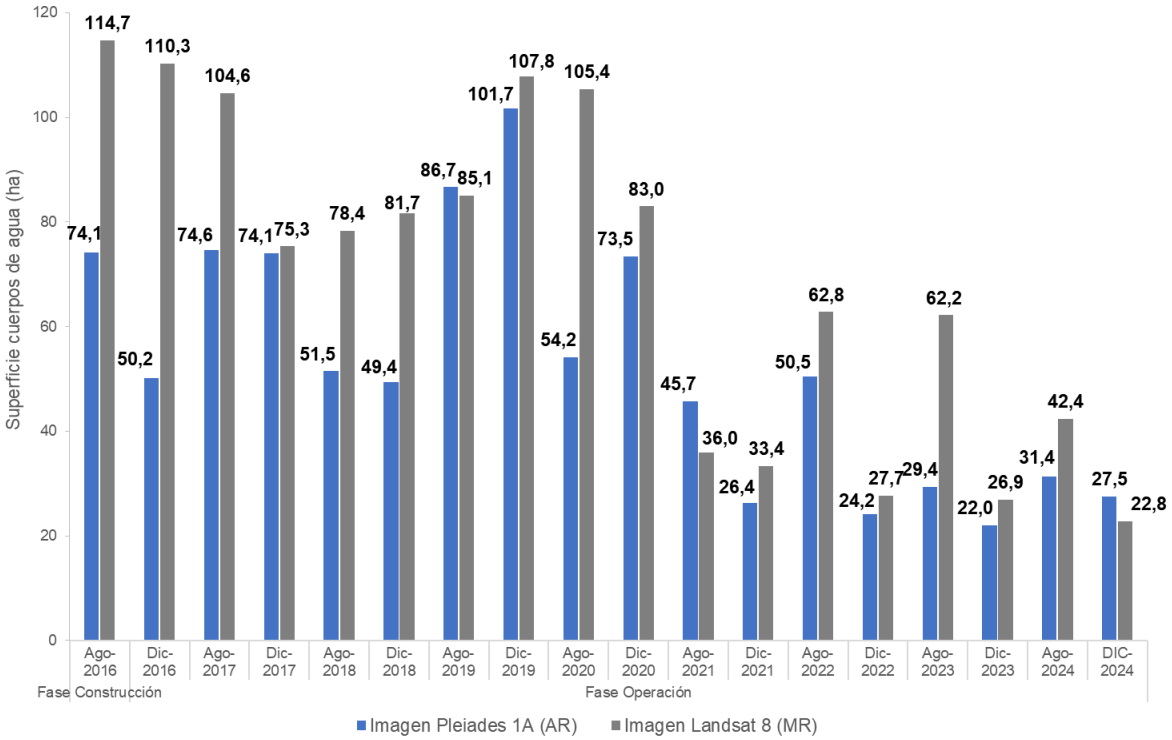
Figura N°11-18. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta - La Brava, agosto 2024 – diciembre 2024.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2024 y diciembre de 2024

En el **sistema lagunar Peine**, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades 1-A en agosto de 2024 es de 31,4 ha y en diciembre 2024 abarca una superficie de 27,5 ha (Tabla N°11-12). La Figura N°11-19 y Figura N°11-20, muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2024, desde que se aprobó la RCA 021/2016.

Figura N°11-19. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).

Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

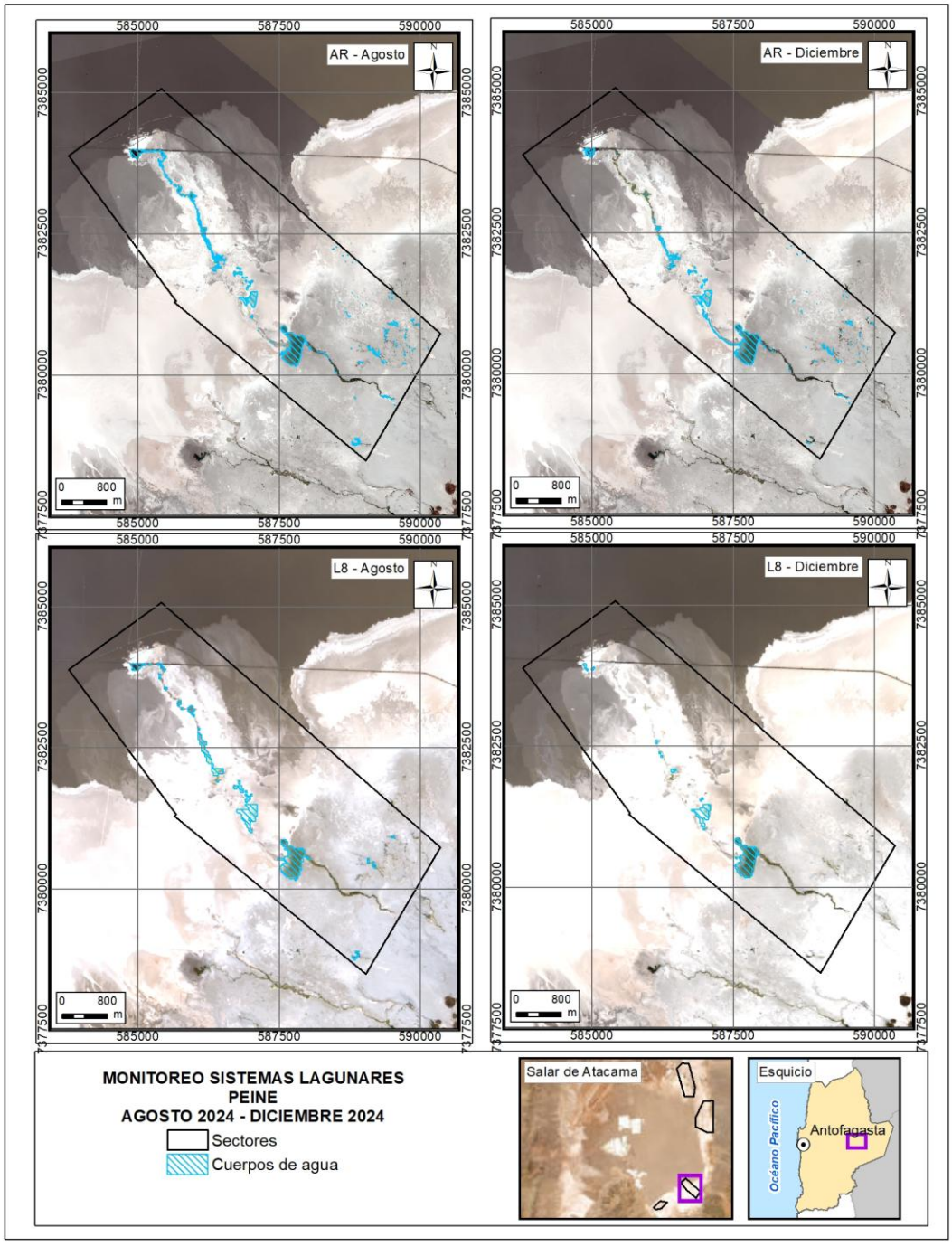
En el sistema lagunar Peine, desde las imágenes Landsat 8 se calculó una cobertura de cuerpos de agua que abarca una superficie 42,4 ha en agosto de 2024; estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +35,2% (+11,1 ha) para este periodo. Para las imágenes de diciembre 2024 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua en mediana resolución abarca una superficie de 22,8 ha, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Pleiades sobre Landsat de un +20,7% (+4,7 ha) para este periodo. Las variaciones de resultados entre los sensores (Landsat y Pleiades) se deben principalmente a las diferencias en la resolución espacial, es decir, al tamaño de píxel. No obstante, también

influyen otros factores, como la resolución espectral de las imágenes, el ángulo de incidencia y otros elementos asociados a las condiciones de adquisición.

La correlación entre las superficies del sector Peine desde 2016 a 2024, calculadas desde de alta resolución (Pleiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,783[39] lo que indica una relación positiva moderada entre variables (r^2 = 61,2%); mientras que el valor *p* es de 0,0001 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat.

[39] El valor del coeficiente de correlación puede variar de −1 a +1. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

Figura N°11-20. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2024.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2024.

11.2.3 Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua

Dentro del Plan de Seguimiento Biótico o Plan de Manejo Biótico (PMB), si bien no quedaron establecidos límites a considerar, la variable área de superficies lagunares es también parte del análisis de estado ecológico del sistema y también es parte del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH), por lo que su análisis se realiza con una mirada integral.

Considerando lo indicado en la RCA N°21/2016, se señala que "*durante la fase de operación y cierre del proyecto la superficie cubierta por lagunas debe mantener sus límites sobre el mínimo histórico.*

12 NIVEL FREATICO EN LAGUNAS

El presente capítulo tiene como objetivo presentar el reporte del monitoreo del nivel freático, comprometido en el Plan de Manejo Biótico (PMB), correspondiente a 5 puntos de medición en pozos distribuidos en los Sistemas Lagunares La Punta - La Brava (3) y Peine (2). Dicho monitoreo se desarrolla con una frecuencia mensual, correspondiendo al presente informe un análisis detallado del **período de abril 2024 a marzo de 2025.**

La medición del nivel freático quedó comprometida dentro de la evaluación ambiental del Proyecto, en su Anexo 2 de la Adenda 5 (Cap. 4.2.7), como una de las 3 variables de estado definida a partir del Modelo Ecológico Funcional del Sistema, permitiendo de este modo observar en el tiempo el estado ecológico de los sistemas hídricos.

Como fue indicado, la medición de niveles piezométricos se realiza en 5 puntos ubicados en el entorno de los sistemas lagunares del Borde Sur del Salar de Atacama: 3 puntos en La Punta - La Brava (BA-05, BA-07 y BA-16), y 2 en Peine (BA-21 y BA-22). Estos puntos de medición presentan códigos del tipo “BA-XX”, y corresponden a piezómetros someros, denominados “barrenos”, origen de su tipo de codificación. De este modo, los registros corresponden al nivel freático de las aguas subterráneas (o subsuperficiales) del entorno lagunar y no a la altura limnimétrica de las lagunas.

Durante al período asociado a este reporte (abril 2024 – marzo 2025), se produjo la activación del Plan de Alerta Temprana (PAT) en el Sector Alerta Núcleo del seguimiento de variables hídricas PSAH, el día 15 de julio de 2024, en el punto PN-08A, ubicado en el sector Núcleo. Esto ocurrió posterior al registro de tres medidas consecutivas (en tres meses consecutivos) del nivel freático por debajo del umbral asociado al pozo en cuestión, siendo informado a la SMA a través de la carta Ref. **ALB-GMA-2024-SMA-048**, y que se encuentra en el **Anexo Cartas y Prohibiciones** del presente Informe. Por lo anterior, es que en los meses de agosto, septiembre y octubre de 2024 existen medidas con frecuencia quincenal.

Además, con fecha 06 diciembre 2024, se envió a la SMA la carta **ALB-GMA-2024-SMA-070** (ver Anexo Niveles Cartas y Prohibiciones), señalando que existían tres mediciones puntuales y consecutivas (quincenales) con niveles bajo el umbral en el punto BA-07 y que “*se comenzará a tomar de manera preventiva las acciones de aumento de frecuencia de monitoreo y las otras acciones estipuladas en el Anexo 3 de la Adenda 5*”, lo que implicó tener medidas quincenales de medición de nivel desde diciembre 2024 a febrero 2025. No obstante, durante el mes de enero de 2025 se informó a la SMA a través de Carta **ALB-GMA-2025-SMA-001** (ver **Anexo Niveles Cartas y Prohibiciones)** de fecha 7 enero 2025 la activación del PAT considerando 3 medidas mensuales consecutivas bajo el umbral. Sin embargo, Albemarle comenzó a tomar las acciones preventivas en el mismo mes de diciembre 2024.

En los meses de abril y mayo de 2024 y entre los meses de octubre 2024 a marzo de 2025 no se pudo ingresar a realizar mediciones en los puntos del PAT del Sector Peine, a excepción de un registro en octubre 2024 en el pozo BA-21, ya que la Comunidad Atacameña de Peine

impidió desarrollar las actividades de monitoreo incluidas en los planes de seguimiento comprometidos en la RCA N°21/2021 del “Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación en el Salar de Atacama”. Lo anterior se encuentra respaldado en la hoja de campo con fecha del 03 de mayo de 2024, la carta N°18/2023 con fecha del 2 de noviembre de 2023, el Acta de terreno del 14 de octubre de 2024 y la carta N°94/2024 con fecha de 28 de octubre de 2024 (ver **Anexo Niveles Cartas y Prohibiciones**).

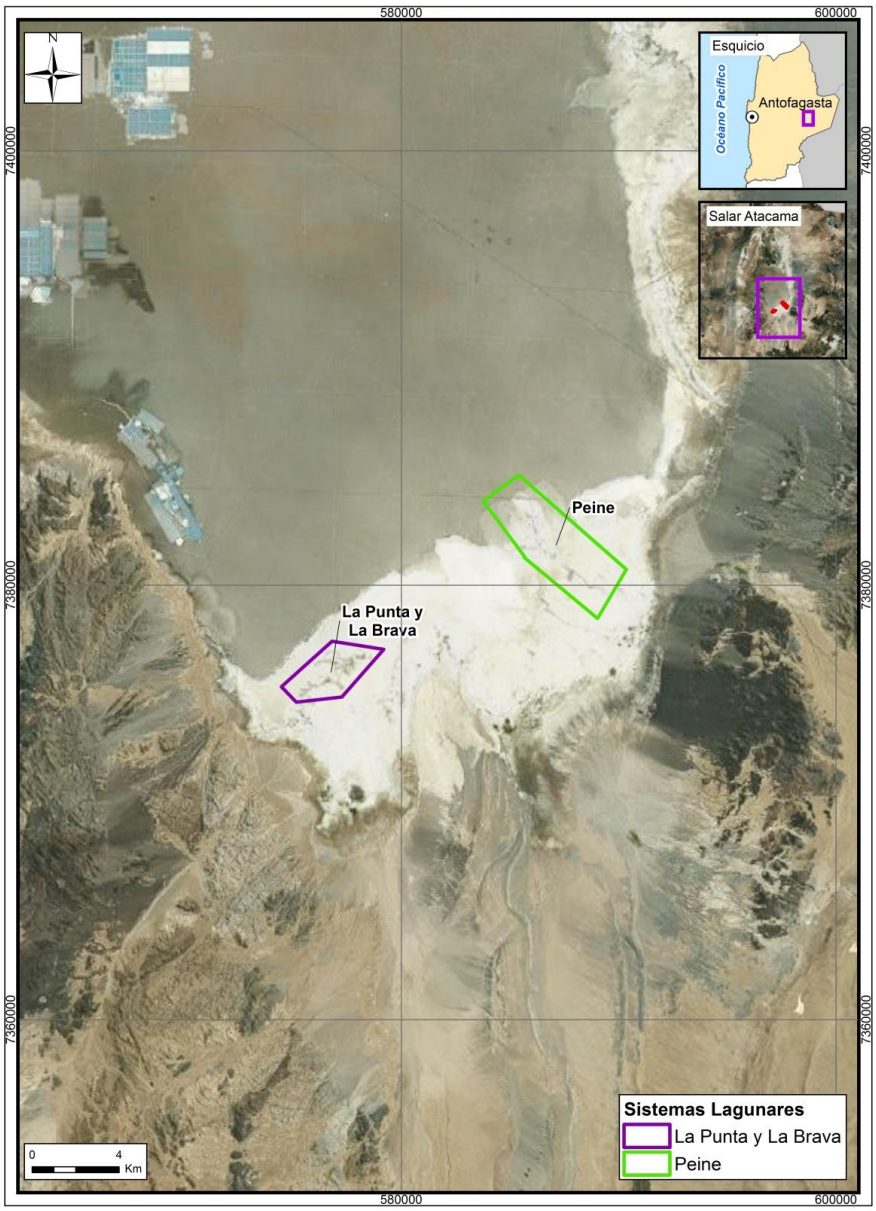
Es importante mencionar que el no contar con acceso a los sectores y puntos de monitoreo, limita el análisis, en particular de la variabilidad de los registros del período de verano. En el caso particular del Sector Peine, no se cuenta con información de este período desde al año 2021, lo cual implica un sesgo en el análisis debido a la falta de información, el que debe ser realizado con los registros obtenidos entre junio y octubre de 2024.

12.1 MATERIALES Y MÉTODOS

12.1.1 Área de Estudio

En la Figura N° 12-1, se presenta la zona de operación de Albemarle y los sectores identificados para el monitoreo del nivel freático en los Sistemas Lagunares La Punta - La Brava y Peine, en el contexto del seguimiento del PMB.

Figura N° 12-1. Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia

12.1.2 Ubicación de Puntos de Monitoreo.

En la Tabla N° 12-1 se presentan los puntos de medición para el seguimiento del nivel freático en el entorno de las lagunas de los dos sistemas monitoreados. La información que se especifica en esta tabla dice relación con la identificación de los puntos de monitoreo, sus coordenadas UTM en sistema WGS 84 y el Sistema Lagunar al que pertenecen.

En el **Anexo Nivel Freático en Lagunas,** se presentan los registros históricos medidos en estos pozos, hasta marzo de 2025, incluyendo información de la profundidad del nivel freático, la cota piezométrica y la cota del collar.

Tabla N° 12-1. Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas

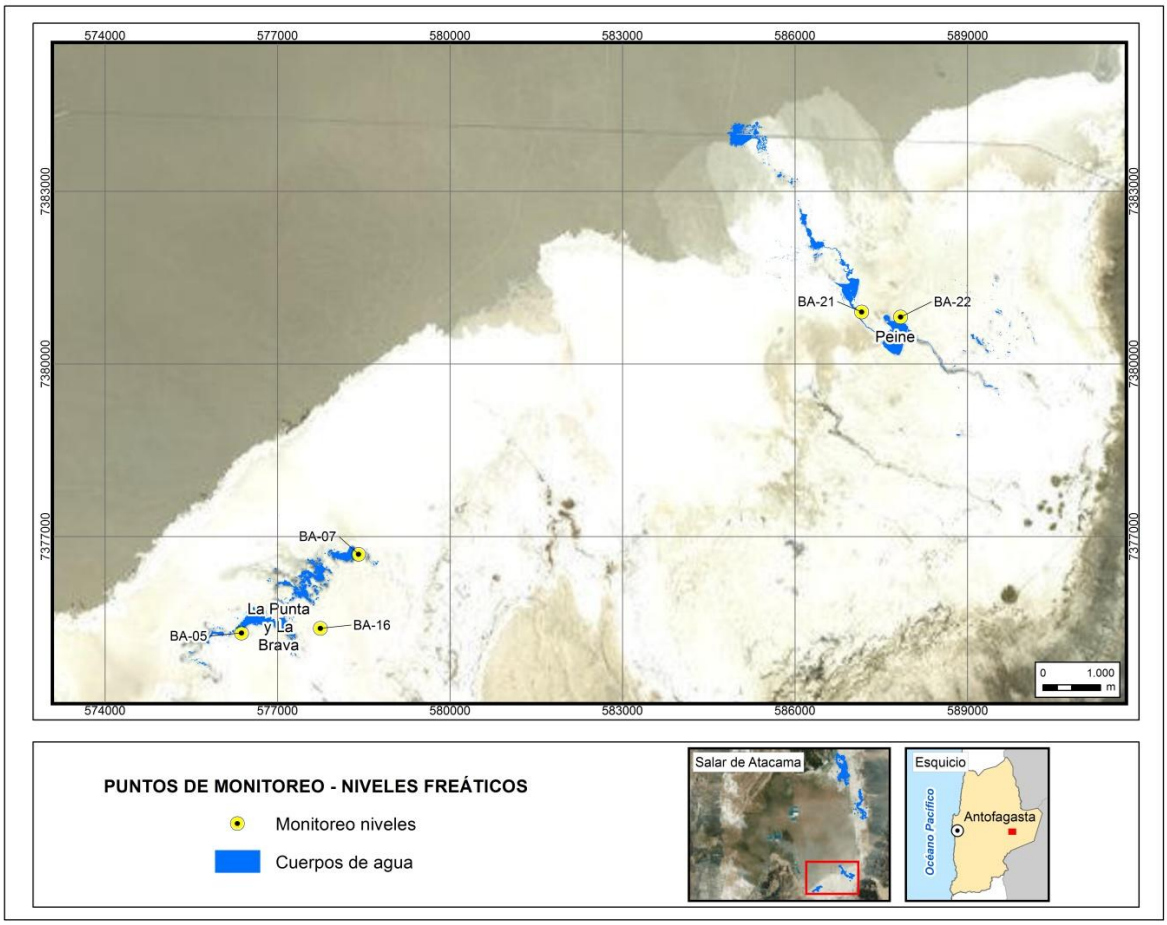
Punto	Coordenadas WGS 84 (HUSO 19S)		Sistema Lagunar	Cota collar (*) (m s.n.m.)
	UTM Este (m)	UTM Norte (m)		
BA-05	576.373	7.375.324	La Punta - La Brava	2.301,085
BA-07	578.406	7.376.692	La Punta - La Brava	2.300,881
BA-16	577.746	7.375.405	La Punta - La Brava	2.301,777
BA-21	587.159	7.380.905	Peine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

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

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

En la Figura N° 12-2, se presenta la ubicación de los puntos antes mencionados, ubicados en el entorno de los Sistemas Lagunares.

Figura N° 12-2. Puntos de Monitoreo en Sistema La Punta - La Brava y Peine



Fuente: Elaboración propia.

12.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables

De acuerdo con las variables que deben ser medidas y que han sido identificadas en función de los compromisos del seguimiento ambiental biótico, en el caso de registrar y caracterizar los "***niveles freáticos***", se mide la variable "profundidad" del agua subterránea en la zona de las lagunas.

12.1.4 Metodología de Muestreo, Medición y Análisis

En cada punto de monitoreo, se mide la profundidad del agua manualmente, utilizando un pozómetro. La medición se realiza desde un punto de referencia prefijado para cada piezómetro somero/barreno, que corresponde al collar del brocal del mismo (cota de referencia o cota collar). La profundidad del nivel del agua se mide tres veces, registrando solamente la tercera de ellas en la libreta de terreno, luego de verificar que entre cada medida no exista una diferencia mayor a 1 cm.

La obtención de la cota del nivel de agua en cada piezómetro, se obtiene restando la profundidad medida a la cota de referencia del punto.

Cota Nivel de agua (m s.n.m.) = Cota Collar (m s.n.m.) – profundidad (m)

12.1.5 Materiales y Equipos utilizados

Para llevar a cabo las mediciones se utilizan los materiales y/o equipos indicados en la **Tabla N° 12-2**. Durante el período evaluado en el presente informe (abril 2024 – marzo 2025), la medición en los puntos de nivel fue realizada por la ETFA ANAM. En el caso de los 2 puntos PMB del Sector de Peine no se requiere[40] ETFA, ya que no tienen umbrales en el PSAH. Durante el período evaluado en el presente informe (abril 2024 – marzo 2025), las mediciones fueron llevadas a cabo por la ETFA ANAM.

Los equipos indicados para la medición corresponden a los utilizados por los laboratorios respectivos. De todos modos, Albemarle acompaña en la realización del monitoreo a la ETFA.

Tabla N° 12-2. Materiales y Equipos

	Etapa				
Variable	**Medición**	**Muestreo**	**Análisis**	**Empresa**	**Periodo**
Nivel freático en zona de Lagunas	Pozómetro marca Solinst.	No aplica	No aplica	ANAM	Abril 2024-marzo 2025

Fuente: Elaboración propia.

[40] De acuerdo a Resolución SMA N°573/2022, Numeral "*5. Excepción al sistema ETFA. No se requerirá que las actividades de muestreo y/o medición sean realizadas por una entidad técnica de fiscalización ambiental, en el componente agua, cuando tales actividades cumplan alguna de las siguientes tres condiciones: i) Para los parámetros Nivel freático y Nivel de agua, cuando el punto de medición no cuente con un valor límite o umbral de cumplimiento establecido en un instrumento de carácter ambiental de competencia de esta Superintendencia*."

12.1.6 Fechas de medición, muestreo y/o análisis.

El período informado en este documento corresponde a abril 2024 – marzo 2025 (ver Tabla N° 12-3). En este período se han desarrollado campañas de medición del nivel freático con frecuencia mensual. Al respecto, cabe señalar que debido a la activación del PAT Alerta Acuífero y de la Fase II del PAT del Sector Núcleo durante el período de análisis, hubo un aumento de la frecuencia de monitoreo de las variables hídricas, la que fue quincenal en diferentes meses de dicho período.

En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, sin perjuicio que se cumple con las medidas quincenales de nivel freático en los meses que corresponde, la Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones en los meses de abril y mayo de 2025 y en el periodo entre octubre de 2024 y marzo 2025, a excepción de un monitoreo realizado en el punto BA-21 durante octubre. La no autorización del ingreso antes referida, es debido a la época de reproducción de flamencos en el sistema lagunar, lo cual se encuentra respaldado mediante la carta N°18/2023 con fecha 2 de noviembre de 2023 y la carta N°94/2024 con fecha 28 de octubre de 2024 de la Comunidad de Peine, además de una hoja de campo y el Acta de terreno con fecha 5 de mayo de 2024 y 14 de octubre de 2024, respectivamente, documentos que se adjuntan en el **Anexo Cartas y Prohibiciones** de este Informe.

Tabla N° 12-3. Fechas de Medición del Año

Variable/parámetro	Frecuencia	Meses
Nivel de Agua/Profundidad	Mensual	Abril 2024[1] Mayo 2024[1] Junio 2024 Julio 2024 Agosto 2024 (2 mediciones) Septiembre 2024 (2 mediciones) Octubre 2024[1] (2 mediciones) Noviembre 2024[1] Diciembre 2024[1] (2 mediciones) Enero 2025[1] (2 mediciones) Febrero 2025[1] (2 mediciones) Marzo 2025[1] (2 mediciones)

1: Sin datos en puntos de Sector de Peine, Comunidad de Peine no dio su autorización para ingresar a realizar mediciones en los meses de abril y mayo de 2024 y en el periodo octubre 2024 a marzo 2025, a excepción de un monitoreo en el mes de octubre 2024 para el pozo BA-21

Fuente: Elaboración Propia.

12.2 RESULTADOS

12.2.1 Resultados período abril 2024 a marzo 2025

En la presente sección se da cuenta de los resultados de la medición del nivel freático en los pozos pertenecientes al monitoreo del PMB, para el período abril 2024 – marzo 2025 (Tabla N° 12-4 y Tabla N° 12-5). En el Anexo Nivel Freático en Lagunas, se presentan las series históricas y actuales, de las profundidades y las cotas piezométricas medidas en los diferentes pozos.

Los valores de nivel de agua que a continuación se reportan, corresponden a los mismos registrados e informados en el Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH Informe Anual Nº9), ya que son parte del Plan de Seguimiento Ambiental de Albemarle, PSAH y PMB.

Tabla N° 12-4. Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava

Punto de Monitoreo	Fecha	Profundidad (m)	Cota de Nivel (msnm)
BA-05	15-04-2024	0,949	2.300,14
BA-05	03-05-2024	0,928	2.300,16
BA-05	14-06-2024	0,902	2.300,18
BA-05	15-07-2024	0,883	2.300,20
BA-05	15-08-2024	0,882	2.300,20
BA-05	30-08-2024	0,893	2.300,19
BA-05	13-09-2024	0,901	2.300,18
BA-05	30-09-2024	0,913	2.300,17
BA-05	14-10-2024	0,917	2.300,17
BA-05	30-10-2024	0,932	2.300,15
BA-05	29-11-2024	0,955	2.300,13
BA-05	13-12-2024	0,966	2.300,12
BA-05	30-12-2024	0,976	2.300,11
BA-05	16-01-2025	0,98	2.300,11
BA-05	31-01-2025	0,985	2.300,10
BA-05	14-02-2025	0,888	2.300,20
BA-05	28-02-2025	0,943	2.300,14
BA-05	14-03-2025	0,955	2.300,13
BA-05	31-03-2025	0,95	2.300,14
BA-07	15-04-2024	0,942	2.299,94
BA-07	03-05-2024	0,925	2.299,96
BA-07	14-06-2024	0,896	2.299,99
BA-07	15-07-2024	0,883	2.300,00
BA-07	15-08-2024	0,878	2.300,00

Punto de Monitoreo	Fecha	Profundidad (m)	Cota de Nivel (msnm)
BA-07	30-08-2024	0,89	2.299,99
BA-07	13-09-2024	0,899	2.299,98
BA-07	30-09-2024	0,909	2.299,97
BA-07	14-10-2024	0,916	2.299,97
BA-07	30-10-2024	0,931	2.299,95
BA-07	29-11-2024	0,95	2.299,93
BA-07	13-12-2024	0,96	2.299,92
BA-07	30-12-2024	0,97	2.299,91
BA-07	16-01-2025	0,978	2.299,90
BA-07	31-01-2025	0,977	2.299,90
BA-07	14-02-2025	0,823	2.300,06
BA-07	28-02-2025	0,953	2.299,93
BA-07	14-03-2025	0,96	2.299,92
BA-07	31-03-2025	0,962	2.299,92
BA-16	15-04-2024	0,93	2.300,85
BA-16	03-05-2024	0,917	2.300,86
BA-16	14-06-2024	0,893	2.300,88
BA-16	15-07-2024	0,884	2.300,89
BA-16	15-08-2024	0,881	2.300,90
BA-16	30-08-2024	0,89	2.300,89
BA-16	13-09-2024	0,898	2.300,88
BA-16	30-09-2024	0,904	2.300,87
BA-16	14-10-2024	0,904	2.300,87
BA-16	30-10-2024	0,92	2.300,86
BA-16	29-11-2024	0,932	2.300,85
BA-16	13-12-2024	0,937	2.300,84
BA-16	30-12-2024	0,941	2.300,84
BA-16	16-01-2025	0,942	2.300,84
BA-16	31-01-2025	0,945	2.300,83
BA-16	14-02-2025	0,872	2.300,91
BA-16	28-02-2025	0,927	2.300,85
BA-16	14-03-2025	0,932	2.300,85
BA-16	31-03-2025	0,93	2.300,85

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 12-5. Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine

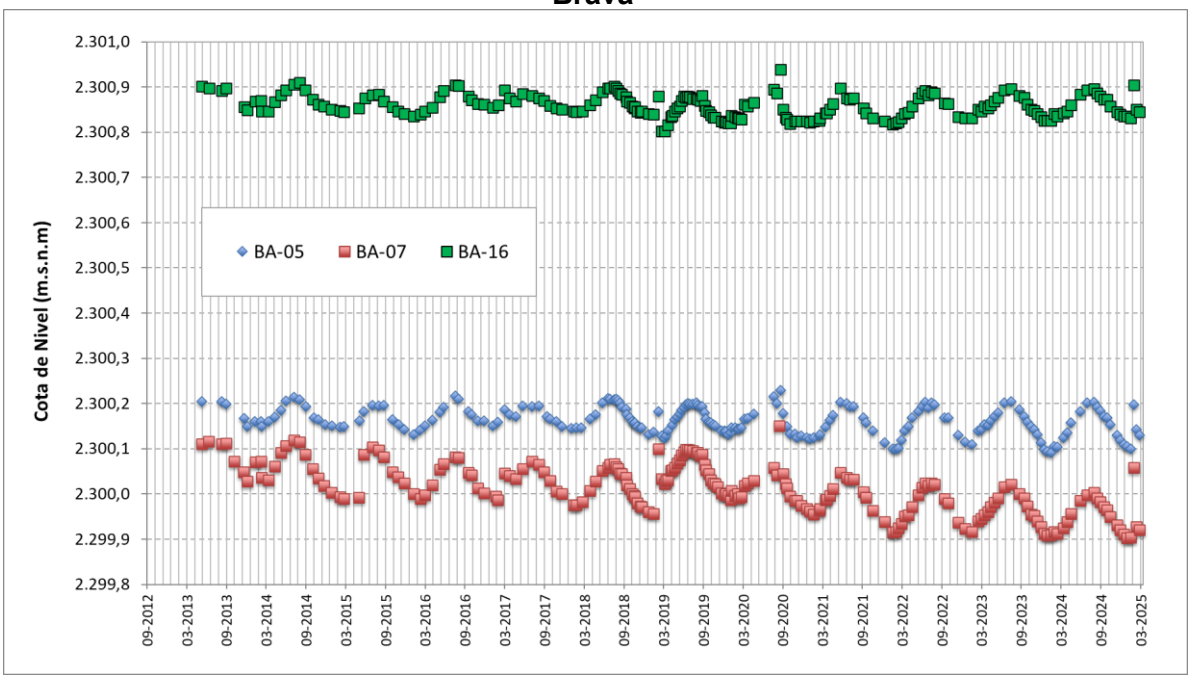
Punto de Monitoreo	Fecha	Profundidad (m)	Cota de Nivel (msnm)
BA-21	15-04-2024	Comunidad de Peine no autoriza ingreso debido a época de reproducción de flamencos. [1]	
BA-21	03-05-2024	* Sin dato registrado.[2]	
BA-21	14-06-2024	1,330	2.300,06
BA-21	15-07-2024	1,329	2.300,06
BA-21	15-08-2024	1,328	2.300,07
BA-21	30-08-2024	1,326	2.300,07
BA-21	13-09-2024	1,327	2.300,07
BA-21	30-09-2024	1,330	2.300,06
BA-21	14-10-2024	1,325	2.300,07
BA-21	30-10-2024	Sin acceso	
BA-21	29-11-2024	Comunidad de Peine no autoriza ingreso debido a época de reproducción de flamencos. [3]	
BA-21	13-12-2024		
BA-21	30-12-2024		
BA-21	16-01-2025		
BA-21	31-01-2025		
BA-21	14-02-2025		
BA-21	28-02-2025		
BA-21	14-03-2025		
BA-21	31-03-2025		
BA-22	15-04-2024	Comunidad de Peine no autoriza ingreso debido a época de reproducción de flamencos.[1]	
BA-22	03-05-2024	* Sin dato registrado.[2]	
BA-22	14-06-2024	0,834	2.300,29
BA-22	15-07-2024	0,832	2.300,29
BA-22	15-08-2024	0,826	2.300,30
BA-22	30-08-2024	0,828	2.300,30
BA-22	13-09-2024	0,830	2.300,29
BA-22	30-09-2024	0,832	2.300,29
BA-22	14-10-2024	Sin acceso[4].	
BA-22	30-10-2024		
BA-22	29-11-2024	Comunidad de Peine no autoriza ingreso debido a época de reproducción de flamencos.[3]	
BA-22	13-12-2024		

Punto de Monitoreo	Fecha	Profundidad (m)	Cota de Nivel (msnm)
BA-22	30-12-2024		
BA-22	16-01-2025		
BA-22	31-01-2025		
BA-22	14-02-2025		
BA-22	28-02-2025		
BA-22	14-03-2025		
BA-22	31-03-2025		

*1: Cierre de acceso a Sistema Lagunar Peine Informado por Comunidad de Peine por medio de correo electrónico el día 02 de noviembre de 2023 (ver **Anexo Cartas y Prohibiciones**).*
*2: Sin datos registrados en campaña de mayo 2024, por no existir autorización de ingreso a zona de medición por parte de Comunidad Atacameña de Peine respaldado en hoja de campo (ver **Anexo Cartas y Prohibiciones**).*
*3: Cierre de acceso a Sistema Lagunar Peine Informado por Comunidad de Peine por medio de correo electrónico el día 28 de octubre de 2024 (ver **Anexo Cartas y Prohibiciones**).*
4: Sin acceso por no contar con autorización de Comunidad de Peine. Se indica en Acta de terreno de 14 de octubre de 2024.
Fuente: Elaboración propia.

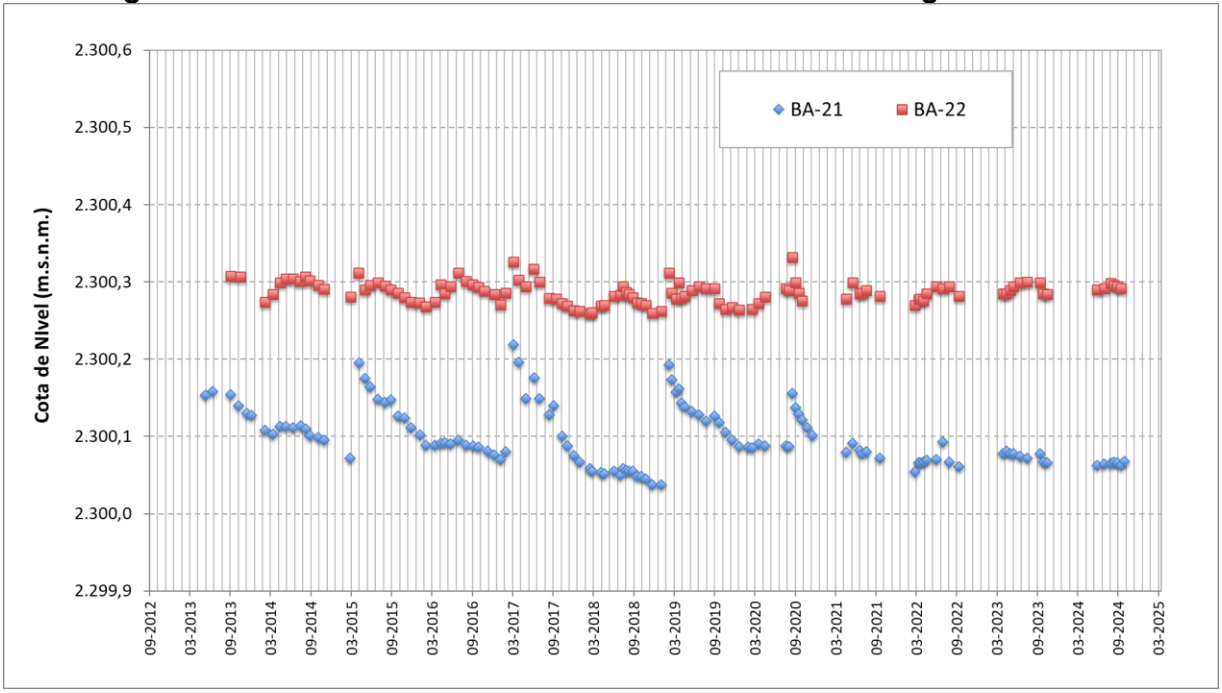
En la Figura N° 12-3. y Figura N° 12-4, se presenta gráficamente la variación temporal del nivel de los diferentes pozos evaluados, desde el año 2013 a la fecha. El análisis de la evolución temporal de cada uno de ellos se realiza en el capítulo de Discusión.

Figura N° 12-3. Variación del nivel freático en el Sistema Lagunar La Punta – La Brava



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-4. Variación del nivel freático en el Sistema Lagunar Peine



Fuente: Elaboración propia.

12.2.2 Límites considerados en la evaluación

En el caso de la variable "*niveles freáticos*", medidos a través de la variable "profundidad" del agua subterránea en la zona de las lagunas, de acuerdo a lo indicado en Numeral 4.2.7 del Anexo 2 "Plan de Manejo Biótico" de la Adenda 5 del Proyecto, los límites considerados para los niveles freáticos se enmarcan dentro de los "criterios para el análisis de estado ecológico", lo cual se analiza en capítulo de AEE de este informe. Además, esta variable también forma parte del seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH), por lo que su análisis se realiza con una mirada integral.

Para el análisis, cabe señalar lo indicado en la RCA N°21/2016, en el Considerando N°7, en cuanto a los niveles o límites comprometidos, en la que se señala para esta variable "*mantener niveles dentro de los rangos de oscilación natural*".

13 DISCUSIÓN

13.1 En relación con Flora y Vegetación

13.1.1 Análisis Vegetación (COT)

13.1.1.1 Evolución respecto a valores históricos

En términos generales, al realizar una comparación entre los monitoreos del seguimiento (PMB) y éstos con la línea de base (2015), es necesario indicar que el uso de una escala menor en el PMB desde el primer monitoreo (M1) hasta el actual (M18), 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. Recordar que el cambio de escala fue incluido en el ajuste metodológico para la actualización de la cartografía COT, como se indica en ***sección 6.1.1.5.3 y 6.2.1.1.1.***

Parte del ajuste metodológico de la COT, implicó una descripción con mayor especificidad las especies acompañantes en las formaciones vegetales, lo que incorpora la variable de composición vegetal y su cobertura a los criterios de seguimiento, transformándose en las variables jerárquicas de comparación intra e interanual de la COT. Así, la cantidad de las formaciones descritas por la COT inicial se ha mantenido, y los principales cambios se observan en el tipo de formación, en que la mayor variación aparece con la descripción de Matorrales mixtos azonales y Vegas. Ver detalle de las formaciones y resultados de la evolución en la **Tabla N° 13-1**.

Tabla N° 13-1. Variaciones en la cantidad y tipología de formaciones descritas por monitoreo

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT			N° FORMACIONES VEGETALES POR TIPO DE FORMACIÓN				
			Matorral (zonal)	Humedal	Herbazal / Vega	Matorral / Matorral mixtos azonales	TOTAL
Línea Base (2015)			14	1	18	-	33
Monitoreo	Anual 1	Invierno 2016 (M1)	3	-	6	3	12
		Verano 2017 (M2)	8	-	10	13	31
	Anual 2	Invierno 2017 (M3)	9	-	10	14	33
		Verano 2018 (M4)	8	-	10	15	33
		Invierno 2018 (M5)	8	-	10	16	34

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT			N° FORMACIONES VEGETALES POR TIPO DE FORMACIÓN				
			Matorral (zonal)	Humedal	Herbazal / Vega	Matorral / Matorral mixtos azonales	TOTAL
	Anual 3	Verano 2019 (M6)	8	-	10	16	34
	Anual 4	Invierno 2019 (M7)	8	-	10	16	34
	Anual 5	Invierno 2020 (M9)	8	-	10	15	33
		Verano 2021 (M10))	8	-	10	14	32
	Anual 6	Verano 2022 (M12)	8	-	14	15	37
	Anual 7	Invierno 2022 (M13)	8	-	14	15	37
		Verano 2023 (M14)	8	-	15	16	39
	Anual 8	Invierno 2023 (M15)	8	-	14	14	36
		Verano 2024 (M16)	8	-	14	13	35
	Anual 9	Invierno 2024 (M17)	8	-	15	12	35
		Verano 2025 (M18)	8	-	13	14	35

*__Monitoreo verano 2020 (M8)__ no se realizó producto de las condiciones excepcionales establecidas durante ese año en el marco de la Pandemia Covid-19; __Monitoreo invierno 2021 (M11)__ no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones en la zona.
Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla N° 13-2** describe la superficie relativa del tipo de vegetación desde la línea de base en relación con los monitoreos de invierno y verano realizados hasta la fecha, ya que la fisionomía observada en el presente monitoreo se ajusta comparativamente a los muestreos indicados. El promedio de variación general es de un 6,2%, valor que señala una descripción congruente con las observaciones de terreno, con la escala de detalle en la aplicación de la metodología en cada campaña y con el producto esperado que es una carta o mapa de ocupación de tierras.

Tabla N° 13-2. Rangos de variación de superficie relativa por tipo de vegetación desde la línea de base hasta el monitoreo de verano de 2024

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT			SUPERFICIE RELATIVA POR TIPO DE VEGETACIÓN (%)		
			Otros recubrimientos	Vegetación Zonal	Vegetación Azonal
Línea Base (2015)			78,3%	17,8%	3,9%
Monitoreo	Anual 1	Invierno 2016 (M1)	78,0%	14,9%	7,1%
		Verano 2017 (M2)	78,0%	10,0%	12,0%
	Anual 2	Invierno 2017 (M3)	78,0%	9,5%	12,5%
		Verano 2018 (M4)	78,1%	8,7%	13,2%
	Anual 3	Invierno 2018 (M5)	78,1%	8,7%	13,2%
		Verano 2019 (M6)	78,1%	8,7%	13,2%
	Anual 4	Invierno 2019 (M7)	78,1%	8,7%	13,2%

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT			SUPERFICIE RELATIVA POR TIPO DE VEGETACIÓN (%)		
			Otros recubrimientos	Vegetación Zonal	Vegetación Azonal
	Anual 5	Invierno 2020 (M9)	78,1%	8,7%	13,2%
		Verano 2021 (M10))	78,1%	8,4%	13,4%
	Anual 6	Verano 2022 (M12)	78,1%	8,7%	13,2%
	Anual 7	Invierno 2022 (M13)	78,1%	8,7%	13,2%
		Verano 2023 (M14)	78,1%	8,7%	13,2%
	Anual 8	Invierno 2023 (M15)	78,1%	9,1%	12,8%
		Verano 2024 (M16)	78,1%	8,7%	13,2%
	Anual 9	Invierno 2024 (M17)	78,1%	8,7%	13,2%
		Verano 2025 (M18)	78,1%	8,7%	13,2%
Rango variación			***0,20%***	***9,10%***	***9,30%***

***Monitoreo verano 2020 (M8)** no se realizó producto de las condiciones excepcionales establecidas durante ese año en el marco de la Pandemia Covid-19; **Monitoreo invierno 2021 (M11)** no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones en la zona.

Fuente: Elaboración propia.

La mayor variación corresponde al tipo “vegetación azonal”, 9,1% más en seguimiento respecto a la línea de base del EIA del Proyecto, sin embargo, entre los monitoreos de invierno 2017 a verano 2025 donde se han monitoreado una cantidad de puntos equivalentes luego de la calibración de escala realizada el primer año de monitoreo (invierno 2016), no se observan variaciones importantes para los distintos tipos de recubrimiento y tampoco se observan cambios que indiquen una variación estacional, entre los inviernos y veranos.

Al comparar el último año de monitoreo (Anual 9), se observa una leve variación en el número de formaciones vegetales, variando en el número de formaciones de vegas y de matorral mixto azonal respecto al año anterior, pero manteniendo el número de formaciones en invierno y verano (35 en total) al igual que lo registrado en el verano 2024 del monitoreo anual 8, ver **Tabla N° 13-1**. Al comparar las superficies por tipo de formación no se observa variación entre invierno 2024 y verano 2025 en la vegetación zonal y azonal, manteniendo en el último año las mismas superficies del monitoreo anterior, en el verano 2024 del año 8 (**Tabla N° 13-2**). Por su parte, al comparar la superficie por formación vegetal entre ambas estaciones se presentan algunos cambios menores, principalmente en el sector de Tilopozo (ver detalle en **Anexo Vol. 1 de Vegetación y Flora, Tabla N°1-1**), lo que valida una mantención en la representatividad (superficies) en el tipo de vegetación presente en los sectores de estudio.

En síntesis, estos valores muestran una consistencia de la herramienta descriptiva de seguimiento de la vegetación, observada principalmente en los tipos de recubrimiento de suelo registrados en el área de estudio, ya que los principales cambios han sido producto de ajustes cartográficos y de mejoras sobre la descripción de los tipos de formaciones vegetales en relación con la composición de las especies dominantes.

Haciendo referencia a este tipo de cambios, a continuación, se presentan las principales variaciones que ha tenido la COT en los sectores de estudio[41]:

- En el sector de Tilopozo, se presentan algunas diferencias de superficie por formación vegetal (Ver pie de página), a raíz de la mejora continua sobre las unidades cartográficas. Entre las variaciones observadas durante el año, se presenta un cambio en 45,5 ha de vega de *D. spicata* denominadas en invierno 2024 que cambian a matorral matorral hídrico-vega de *L. humile* con *D. spicata* en verano 2025, debido al aumento de cobertura de la especie subarbustiva *L. humile* que hacen describir la formación a mixta según su dominancia (ver detalle en **Anexo I de Vegetación y Flora, Tabla N°1-1**). Algo similar ocurre con las formaciones con dominancia de *S. californicus* o de *D. spicata* o en la combinación con *Baccharis juncea*, donde al cambiar la dominancia entre ellas, cambian algunas superficies de invierno 2024 a verano 2025, como es el caso 0,2 ha de vega de *D. spicata* en invierno que cambian a vega de *S. californicus* con *D. spicata* en verano, o un caso contrario de 8,1 ha de una vega mixta entre *D. spicata*, *B. juncea* y *S. californicus* en invierno cambia en verano a 8,0 ha de vega de *S. califonicus* con *B. juncea* y 0,1 ha de vega de *D. spicata*, en estos casos los cambios son principalmente por las coberturas de las especies dominantes que definen a la formación.

- En cuanto al sector La Punta y La Brava, no se observan variaciones entre invierno 2024 y verano 2025, y menos variaciones al considerar todo el seguimiento.
- El sector Peine presenta algunas variaciones mínimas, como es el caso de 31,2 ha de matorral de *T. absinthioides* con *Atriplex atacamensis* descritas en invierno 2024 que cambian a solo matorral de *T. absinthioides* en verano 2025. También un cambio en la denominación de la formación de vega de *S. californicus* con *D. spicata* (3,4 ha) que cambia a solo vega de *S. californicus* en verano, así como un cambio de vega de *S. californicus* con *B. juncea y D. spicata* (6,1 ha) que también que cambia a solo vega de *S. californicus* en verano 2025.

- El sector Aguas de Quelana solo presenta una variación en la denominación de una formación mixta, registrándose 9,8 ha en invierno 2024 como Matorral hídrico-vega

[41] Los *ajustes cartográficos* corresponden a ajustes espaciales de la COT que fueron realizadas por diversas razones, pudiendo reconocer tres grandes hitos para la identificación de los principales cambios;

a) Principalmente, los primeros ajustes fueron realizados en el monitoreo de verano 2017 (M2) dada la necesidad de una actualización en las denominaciones de las formaciones vegetales en términos de la dominancia de las especies y también por el ajuste y afinación de la COT.
b) Cabe señalar que siempre se dan cambios en algunas unidades cartográficas (polígonos) debido a la denominación de las formaciones por los cambios estacionales de algunas especies dominantes o bien al ajustar algunos límites de cada polígono, ya sea por afinación con la imagen satelital (*ej. lo que ocurre para delimitar lagunas si se observan cambios estacionales*) o bien, por ajuste cartográfico observado en terreno o con la imagen satelital o en el caso de formaciones afectadas por incendios donde se han detectado cambios temporales a menor escala de tiempo.
c) En el verano 2022 (M12) debido a la incorporación voluntaria de las Transectas Complementarias (MTC), hay puntos nuevos de validación COT en zonas no visitadas anteriormente.

de T. absinthioides con L. humile que cambia en verano 2025 a solo matorral de T. absinthioides.

- En cuanto al sector Soncor, no se observan variaciones entre invierno 2024 y verano 2025, y respecto a cambios históricos de la COT pocas variaciones al considerar todo el seguimiento donde se ajustan algunos límites de cuerpos de agua cambiando de esta forma la superficie de áreas desprovistas de vegetación (salar) y cuerpos de agua (presentado en mayor detalle en el Informe Anual N°7).

13.1.2 Análisis Flora y Vegetación (Transectas)

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

En el presente acápite se realiza el análisis comparativo del monitoreo de invierno 2024 (M17) y monitoreo de verano 2025 (M18) con todos monitoreos previos del seguimiento 2016-2024: M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M9, M10, M12, M13, M14, M15 y M16.

Los datos de las coberturas se presentan para todos los monitoreos en **Figura N°1-1** a **Figura N°1-11** en **Anexo Vegetación y Flora_Vol 1** y **Anexo Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta**).

Cabe recordar que la campaña de monitoreo de verano 2020 (M8) no fue posible realizarlo dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19 y el monitoreo de invierno 2021 (M11) tampoco se realizó por restricciones de acceso al área de estudio a causa de movilizaciones en la zona. Por otro lado, también recordar que los monitoreos correspondientes al Informe Anual N°8 se realizaron con algunos inconvenientes a causa de los permisos que otorga la comunidad de Peine al área de estudio, por lo que el muestreo para ambos periodos fue particionado en dos campañas cada uno y realizados en fechas estacionalmente tardías; invierno 2023 en agosto y noviembre 2023, recogiendo la mayor parte de la información en un invierno tardío y, el monitoreo de verano 2024 en abril y mayo 2024, donde la mayor información se levantó en un verano post-lluvia tardío.

Las seis formaciones vegetales estudiadas en este monitoreo corresponden a:

1. herbazales de *Schoenoplectus californicus,*
2. herbazales de *Juncus balticus,*
3. herbazales de *Distichlis spicata,*
4. herbazales de *Triglochin concinna,*
5. matorrales de *Sarcocornia fruticosa* y
6. matorrales de *Tessaria absinthioides.*

13.1.2.1 Evolución respecto de valores históricos

En la presente sección se analizan los resultados obtenidos en transectas a lo largo del seguimiento ambiental, con respecto a valores de referencia. Acorde a lo comprometido con la autoridad durante el marco de la evaluación ambiental, la ubicación definitiva de las transectas de seguimiento se haría en conjunto con el SAG, quedando definidas así las 31 transectas que hoy son monitoreadas. En la **sección 1.5 del Anexo Vegetación y Flora Vol. 1** se presentan tablas por formación vegetal, con los valores históricos de abril y julio de 2014 (línea de base), junto a los puntos de transectas más cercanos que pudieran ser comparados en relación a la ubicación de éstos, dando cuenta con ello que ambos grupos de datos no son directamente comparables.

Por las razones expuestas, en el siguiente análisis, se comparan las coberturas de los monitoreos realizados en el primer año de seguimiento (M1 y M2), el segundo año de seguimiento (M3 y M4), y así sucesivamente hasta llegar al actual noveno año con los monitoreos de invierno (M17) y verano (M18), teniendo como referencia al Monitoreo “0” realizado en Julio de 2016 (MB0**).** Este monitoreo es considerado como condición referencial de la etapa preoperacional del proyecto. Esta comparación, considera un análisis interanual, entre monitoreos de verano (M2-M4-M6-M10-M12-M14-M16-M18) e invierno (M1-M3-M5-M7-M9-M13-M15-M17). Además, al analizar la variación o evolución histórica de estos monitoreos con la condición referencial (MB0, de invierno), para el caso de los veranos se considera también como referencia al monitoreo M2 como valor de verano, considerando que MB0 fue levantado en invierno.

Un primer análisis se puede observar a través de la evolución de las coberturas promedio por sector y la composición de especies, **Figura N° 13-1**, ver detalle de **Figura N°1-1** a **Figura N°1-11** y valores en **Anexo Flora y Vegetación Vol. 1, Tabla N°1-2 y Base de Datos de Consulta**. En términos generales, para la **cobertura vegetal promedio** entre sectores se observa lo siguiente (**Figura N° 13-1**):

- **El sector Peine** corresponde al área con mayor cobertura vegetal promedio con algunas variaciones entre campañas. Se observan disminuciones y alzas con rangos similares hasta M14 (un mínimo de 62,5% en M1 y en verano 2018-M4 y un máximo de 77,9% en verano 2017-M2), disminuyendo en invierno 2023 (46,4% en M15), aumentando en verano 2024 (58,4% en M16) y con un mayor descenso en el invierno del último año (16,1% en M17), pero recuperando la cobertura vegetal en el verano 2025 (61,8% en M18). En general, la cobertura vegetal promedio del sector se observa estable en su evolución en los primeros 7 años, evidenciando una alteración en las coberturas en los últimos 2 años en la época de invierno (M15 y M17), asociada principalmente al deterioro de la cobertura observada en el herbazal de *Schoenoplectus californicus,* en transectas T02 y T04 en M15 y en las cuatro transectas de la formación en M17 (T01, T02, T03 y T04). En los veranos tiende a

recuperarse la cobertura, alcanzando en M18 coberturas similares a años anteriores, por lo que el mayor descenso observado en M17. También se observa una menor actividad biológica o una fase más marcada de recesión en esta formación, pudiendo ser afectadas por actividad antrópica de huellas de vehículos en los herbazales y directamente en algunas de las transectas lo que pudo aumentar la alteración para esta campaña de invierno.

- El sector **Tilopozo** también presenta variaciones entre monitoreos, aunque marcados hacia el último periodo de seguimiento. Desde MB0 (invierno 2016) a M7 (invierno 2019) se presenta un rango estable de cobertura vegetal promedio, entre un mínimo de 33,8% en verano 2017 (M2) a un máximo de 39,9% en MB0. Luego, en verano 2019 (M6) se registra una baja moderada a 30,6%, recuperándose en el invierno siguiente (M7; 35,7%). No obstante, desde el invierno 2019 (M9; 31,4%) se registra un descenso paulatino hasta el presente año de análisis, con mínimos registrados en invierno 2022 e invierno 2024 (13,2% en M13 y 12,9% en M17) recuperándose parcialmente en el último verano (M18; 21,1%). Esta disminución estaría asociada principalmente al deterioro de la cobertura observada en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* (T19 y T29), ambas ubicadas en la zona de vegas de Tilopozo, que en el último año muestra una recuperación para ambas transectas en el verano 2025, pero aún con valores bajos respecto a los primeros años.

- En el sector **La Punta y La Brava** se observan variaciones leves de cobertura en los primeros monitoreos (39,1% en MB0-M1) y con tendencia a la baja desde el verano 2017 (27,8% en M2), aunque con algunas fluctuaciones entre monitoreos. De un 24% aproximadamente en los monitoreos del año 5 (M9 y M10), se registra un mayor descenso en el verano 2022 (M12; 17,9%), aumentando levemente en el año 7 con un 21% en ambas estaciones (M13 y M14). Cabe destacar que para el año anterior se observaba un mayor descenso en M15, pero la cobertura de invierno 2023 fue solo referencial ya que no se pudo levantar información en dos transectas del sector (T11 y T12).. En este último año, se observa un leve aumento de la cobertura promedio, alcanzando para el verano 2025 una cobertura de 22,7%, mayor a lo registrado en los últimos 4 años en el sector.

- Para el sector **Aguas de Quelana**, se observa una leve variación de la cobertura vegetal en los primeros monitoreos, con 40,5% en MB0, bajando hasta 30,6% en el verano 2018 (M4), aunque con un aumento leve en invierno 2018 (M5; 33,5%), y en invierno 2019 (M7; 35,0%) y verano 2021 (M10; 32,3%) con registros similares. En los últimos veranos se registra igualmente un descenso, pero manteniéndose estable entre ellos con un 29,9% en M12 (2022), 26,5% en M14 (2023), 26,3% en M16 (2024) y 26,7% en M18 (2025). No obstante, cabe señalar que faltan los registros de los veranos M6 y M8 y de los inviernos M9, M11 y M13, lo que dificulta el análisis de una posible tendencia al descenso, sobre todo porque los datos indicarían que la mayor cobertura en este sector se registraría en las estaciones de

invierno, y en el caso del invierno 2023 (M15) se observa la menor cobertura promedio registrada durante el seguimiento (23,9%), aumentando en el último invierno (26,6% en M17). El registro de verano M18, es muy similar a los registros de los últimos veranos.

- El sector **Soncor** no tiene registros; además en este sector no se presenta vegetación o elementos de flora aislados que se pudieran monitorear en el tiempo, ya que se trata de un área completamente cubierta por costra salina.

En relación con la **vegetación muerta o rastrojos**, se detectan en general, aumentos de la cobertura promedio desde MB0 hasta año 2025 en todos los sectores, destacando una disminución generalizada en el verano 2021 (M10), que vuelve a aumentar en el verano siguiente (M12) en todos los sectores, manteniéndose en aumento hasta el año 8 para los sectores Peine y Tilopozo, ya que en el caso de Peine se registra un *peak* de cobertura muerta en invierno 2024 (M17) pero con un mayor descenso en el último verano y en el caso de Tilopozo el rastrojo disminuye tanto en invierno y verano del último año desde el alza registrada en M16 (verano 2024). En el caso de La Punta y La Brava y Aguas de Quelana se mantienen estables en el último periodo, mostrando igualmente un descenso leve del rastrojo en el último verano para La Punta y La Brava (**Figura N° 13-1**).

Por su parte, las variaciones del rastrojo en Tilopozo y Peine en el último periodo está asociado al deterioro observado en herbazales de *S. californicus,* en las transectas T19 y T29 en el caso de Tilopozo (**Figura N° 6-16** y ver en **Anexo Vegetación y Flora Vol. 1-Figura N°1-5**) y en todas las transectas T01, T02, T03 y T04 en sector Peine, según los últimos registros de invierno 2024 (M17; **Figura N° 6-15**). Cabe recordar, que esta formación ha presentado una dinámica de mayor variación en el tiempo, donde se hacen presente diversos factores como la actividad biológica natural que genera menor vigor en la cobertura en los inviernos, los registros de quemas controladas durante el periodo de seguimiento (2018 en Tilopozo y Peine), además de una alteración puntual en el último periodo por el pisoteo y pastoreo con la introducción del ganado en la zona donde están ubicadas las transectas T19 y T29 en Tilopozo y, en el sector Peine también se registró en el último invierno (M17) alteración antrópica provocadas por huellas de vehículo en las formaciones y sobre las transectas de monitoreo. No obstante, en el último verano la cobertura vegetal se recupera para todos los casos, aunque no alcancen los registros de años anteriores.

La **riqueza registrada por sector en general se mantiene estable en el tiempo**, indica algunas diferencias leves entre monitoreos (**Figura N° 13-1**). En el sector **Peine** destaca el aumento de cinco (M5) a ocho especies en el verano de 2019 (M6), en un matorral de *T. absinthioides*. En el caso de **Tilopozo** se observa menor variación en la riqueza, entre seis y siete especies generalmente, destacando un aumento a ocho especies en el verano 2021 (M10) y una disminución a cinco especies en el verano 2024 (M16), la cual se recupera en el noveno año, con siete y seis especies respectivamente (M17 y M18). Los sectores **La Punta y La Brava** y **Aguas de Quelana** presentan diferencias menores, destacando el

aumento de una especie en M4, el registro de cinco especies entre M9 y M14, aumentando a seis especies en el verano (M16) y registrando cinco especies para el noveno año en ambas estaciones en La Punta y La Brava, mientras que Aguas de Quelana presenta la misma riqueza desde M1 a M12 (cuatro especies), disminuyendo a tres especies en los últimos veranos (M14, M16 y M18), recordando que las diferencias detectadas se han visto por aumento o disminución de especies acompañantes, con muy baja cobertura vegetal y no en la composición de las especies dominantes. En el caso del menor registro en invierno 2023 (cuatro especies en M15) en La Punta y La Brava, debe considerarse que es un valor referencial ya que como se ha señalado, solo se muestrearon dos de las cuatro transectas del sector.

Cabe destacar que el aumento de riqueza más importante ocurrido en el sector Peine (tres especies), se trata de un registro puntual en una transecta de matorral de *T. absinthioides* en M6 (T07), y que probablemente la regeneración y aparición espontánea de estos elementos florísticos nuevos en la formación fue asociado al evento de mayor precipitación ocurrido en el verano de 2019, de los cuales solo la especie *Atriplex atacamensis* se mantuvo hasta M7, desapareciendo en monitoreos posteriores (**Anexo I Vegetación y Flora: Base de Datos de Consulta y Tabla N°1-3**). El matorral donde se registraron estas especies es de características más zonales, con una superficie de suelos mayoritariamente terrosos en la zona más sur del área de estudio del Salar, zona donde a nivel general se observó mayor aparición de una cobertura de especies herbáceas producto de las lluvias estivales.

En cuanto a la **cobertura de otros recubrimientos**, existen distintas variaciones multitemporales entre los sectores de estudio. El sector **Peine** encabeza las diferencias, presentando un aumento inicial en la cobertura hasta M2 con 71,6% y luego una leve baja hasta M4 con 59,6%, desde donde se observa un aumento hasta llegar a 63,2% en M6, volviendo a disminuir en M7 y M9 con 55% y 57% respectivamente, aunque en M10 aumenta a 68,4% manteniendo una cobertura similar entre M12 (71,4%) y M14 (70,6%) y un descenso en M16 (46,0%) que se mantiene cerca de un 40% en M17 y M18. 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, con leves variaciones para el caso de Tilopozo con una disminución desde M15 que se ha mantenido similar hasta M18 y un aumento puntual en M15 en La Punta y La Brava (aunque cabe recordar que las coberturas para este sector son referenciales en este monitoreo por la falta de datos), ver **Figura N° 13-1**.

En términos específicos, cabe señalar algunas variaciones sobre la cobertura vegetal absoluta registradas por transecta:

- Las transectas **T20, T21 y T27** en Tilopozo, en herbazales de *D. spicata,* registran mayor estabilidad de la cobertura en el tiempo inclusive un aumento en **T21 y T27** en M17, monitoreo que en general presentó un mayor descenso de la cobertura en todos los sectores. Y en el verano 2025-M18, las transectas **T20 y T27** se mantienen

estables, con un aumento de la cobertura vegetal en M18 (ver **Figura N°1-4 en Anexo Vegetación y Flora Vol.1 y Base de Datos de Consulta**).

- El deterioro de la cobertura vegetal en los herbazales de *S. californicus* en Tilopozo en las dos transectas de la formación, **T19 y T29**, presentaban una de las mayores coberturas vegetales del sector (sobre un 100% hasta el verano 2021). Y ambas transectas se observan con menor cobertura vegetal y mayor cobertura de rastrojo en los últimos tres inviernos (M13 a M17), pero en M18 (verano 2025) la cobertura vegetal se recupera en ambas transectas disminuyendo igualmente la cobertura del rastrojo (ver **Figura N°1-5 en Anexo Vegetación y Flora Vol.1 y Base de Datos de Consulta**). Cabe destacar, que en esta formación se observó presencia de animales en los últimos 3 años, llamas principalmente, evidenciando mayor alteración por el pastoreo y pisoteo del ganado, sin olvidar que estas formaciones también presentaron alteración por quemas realizadas el 2018.

- Disminución de la cobertura vegetal en herbazales de *Juncus balticus*, principalmente en la transecta **T18** en Tilopozo: esta transecta registraba un 27,6% de cobertura vegetal absoluta en el 2016 (MB0-M1) y presenta una disminución importante al verano siguiente (M2; 10,4%) y al año 2023 (M14; 6,8%) la disminución desde MB0 refleja una pérdida en más del 75% de su cobertura, aunque en el verano 2024 aumenta la cobertura, en el último verano igualmente disminuye, aunque en menos de un 5% su cobertura vegetal. Por otro lado, la transecta **T30** tiene un mayor aumento en el último verano (M16; 33,2%), después de los descensos registrados entre M10 a M12 (17-22%), siendo mayor el descenso en M18, que disminuye en más de un 15% su cobertura (ver **Figura N°1-6 en Anexo Vegetación y Flora Vol.1 y Base de Datos de Consulta**).

- Disminución de la cobertura vegetal en dos herbazales de *D. spicata* en Tilopozo (**T26 y T28**): en estas transectas se observa una pérdida de cobertura vegetal importante en el tiempo, destacando que ambas transectas se localizan alejadas del núcleo del salar (ver localización en **Figura N° 6-2**). Ambas transectas presentan variaciones entre monitoreos, pero llama la atención la baja cobertura que se mantiene desde el invierno 2020 para **T26** (M9; 0,8%), registrando un mínimo de cobertura en el verano 2022 (M12; 0,2%), manteniéndose bajo el 1% de cobertura de M13 a M17, aumentando a 1,4% en M18, similar a **T28**, con una baja sostenida desde el invierno 2020 y registrando en el invierno 2024 la menor cobertura (M17; 3,4%) con un leve aumento en M18 (4,8%), ver detalle y evolución en **Figura N°1-4 en Anexo Vegetación y Flora Vol.1 y Base de Datos de Consulta**.

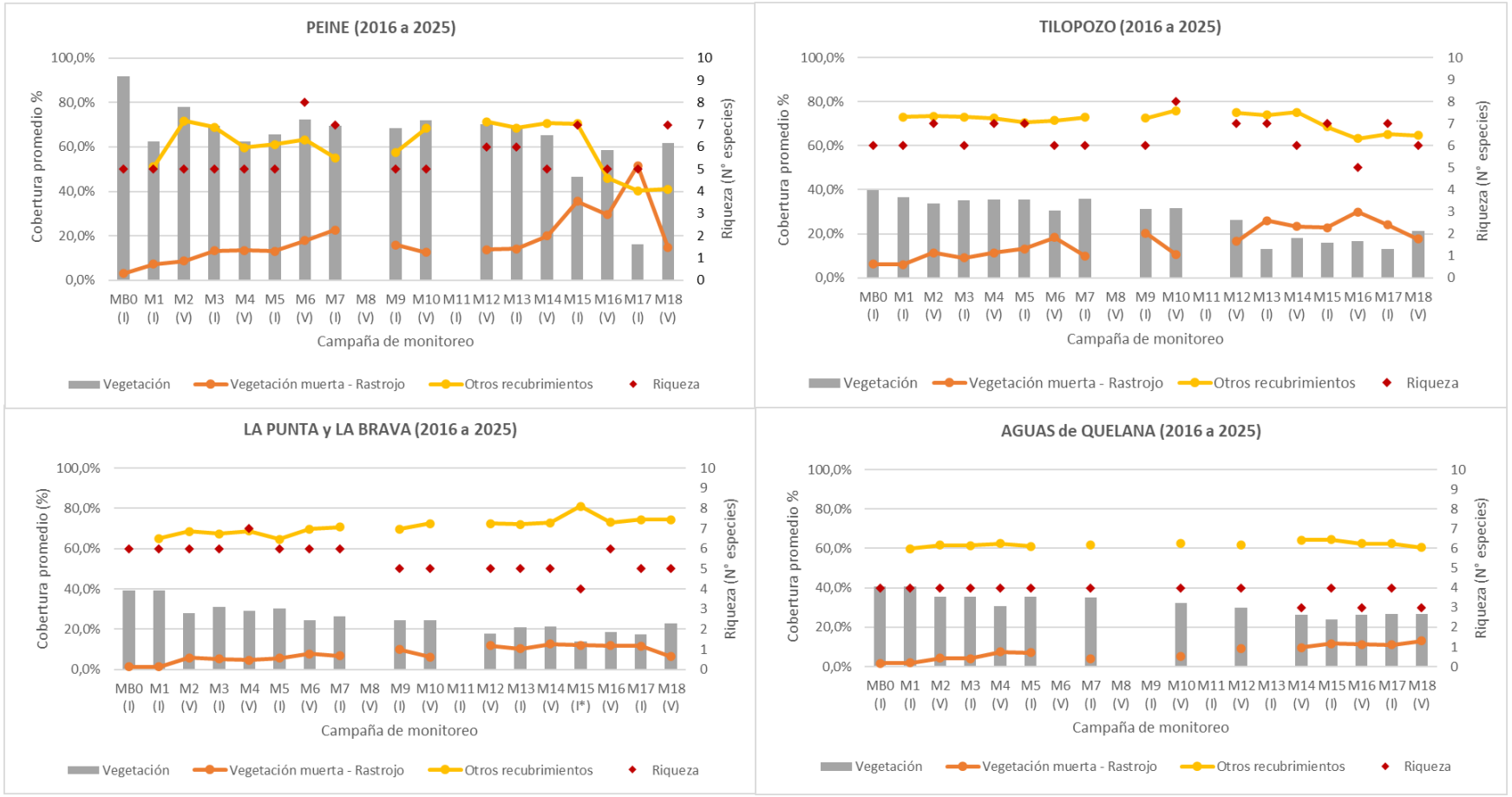
- Disminución de la cobertura vegetal en la transecta **T10**, en el subsector La Brava: esta transecta siempre tuvo baja cobertura vegetal (14,6% en MB0-M1), presentando una cobertura parchosa con elementos florísticos aislados asociados a la humedad del borde de un pequeño cuerpo de agua, ya que es una zona mayormente desprovista de vegetación (salar). Sin embargo, el descenso registrado

desde el verano 2021 (M10; 0,8%), en M15 y M17 se registran las menores coberturas entre todos los monitoreos (0,6% y 0,4% respectivamente) manteniéndose en un 0,4% en verano 2025 (M18), ver detalle y evolución en **Figura N°1-9 en Anexo Vegetación y Flora Vol.1 y Base de Datos de Consulta**.

- Disminución de la cobertura vegetal en matorrales de *Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa)*: si bien estas formaciones no han tenido el continuo de información como el resto de las transectas, se presenta un descenso principalmente en las transectas **T12** del subsector La Punta con el menor registro en M17 (16,2%) de un 38,6% en MB0-M1 y 27,2% en M2, aumentando levemente en M18 (20,0%), similar disminución en la transecta **T17** en Aguas de Quelana con un descenso paulatino y el menor registro en M16 (31,2%) de valores sobre el 40% hasta M14, pero que aumentan en el último año con un 42,0% en M17 y 44,8% en M18. No obstante, el mayor descenso ocurre en la transecta **T16** de Quelana, con una variación de la cobertura de un 16,8% en MB0-M1 a un 1,4% en M16, aumentando levemente en el último año con un 2,4% en M17 y 2,2% en M18 (ver evolución y detalle en **Figura N°1-10 y Figura N°1-11 en Anexo Vegetación y Flora Vol.1 y Base de Datos de Consulta**).

- Disminución de la cobertura vegetal en matorrales de *Tessaria absinthioides*. Si bien en todas las transectas de esta formación se observan menores coberturas en el tiempo, destaca el aumento de la cobertura en M16 para las transectas T06 y T07 en Peine, donde la principal variación destaca en **T05**, que registraba una cobertura absoluta de 8,0% en el primer invierno (MB0-M1) disminuyendo en M16 a un 1,0%, y en el último año se registra un aumento en las tres transectas, donde T05 aumenta a un 5,4% en M18. Y las transectas T23 y T24 en Tilopozo, después de los bajos registros desde 2019, en el último año aumentan las coberturas en invierno y verano en las tres transectas del matorral, destacando el aumento de T24 en M18 a un 41,4% (ver evolución y detalle en **Figura N°1-3 y Figura N°1-7 en Anexo Vegetación y Flora Vol.1 y Base de Datos de Consulta**).

Figura N° 13-1. Cobertura promedio de vegetación, rastrojo, otros recubrimientos y riqueza en los sectores



Donde: Monitoreos: MB0 monitoreo base 2016, M1 invierno 2016, M2 verano 2017, M3 invierno 2017, M4 verano 2018, M5 invierno 2018, M6 verano 2019, M7 invierno 2019, M9 invierno 2020, M10 verano 2021, M12 verano 2022, M13 invierno 2022, M14 verano 2023**,** M1**5** invierno 202**3**, M1**6** verano 202**4,** M1**7** invierno 202**4**, M1**8** verano 202**5**; En M6, M9 y M13 no hay registros en Aguas de Quelana, ya que no se muestrearon las transectas por restricciones de acceso al área; Monitoreo verano 2020 (M8) no se realizó por restricciones en el marco de la pandemia Covid-19; Monitoreo invierno 2021 (M11) no se realizó por restricciones de acceso y razones de seguridad a causa de movilizaciones en la zona**;** M15 (I*) corresponde a promedios y riqueza referenciales por la falta de muestreo en transectas T11 y T12 del subsector La Punta por restricciones de acceso al sistema lagunar por resguardo de fauna nativa (aves); MCT: Muestreo Complementario de Transectas. Fuente: Elaboración propia.

En otro nivel de análisis, **la evolución entre monitoreos de invierno en referencia al monitoreo base (MB0) y los monitoreos de verano en referencia al primer monitoreo de verano (M2)** es relevante para el análisis estacional y estudiar la variabilidad del sistema en las distintas formaciones vegetales y sectores, en relación a los diversos factores que pueden influir en estas fluctuaciones y observar es que estas variaciones estacionales son significativas.

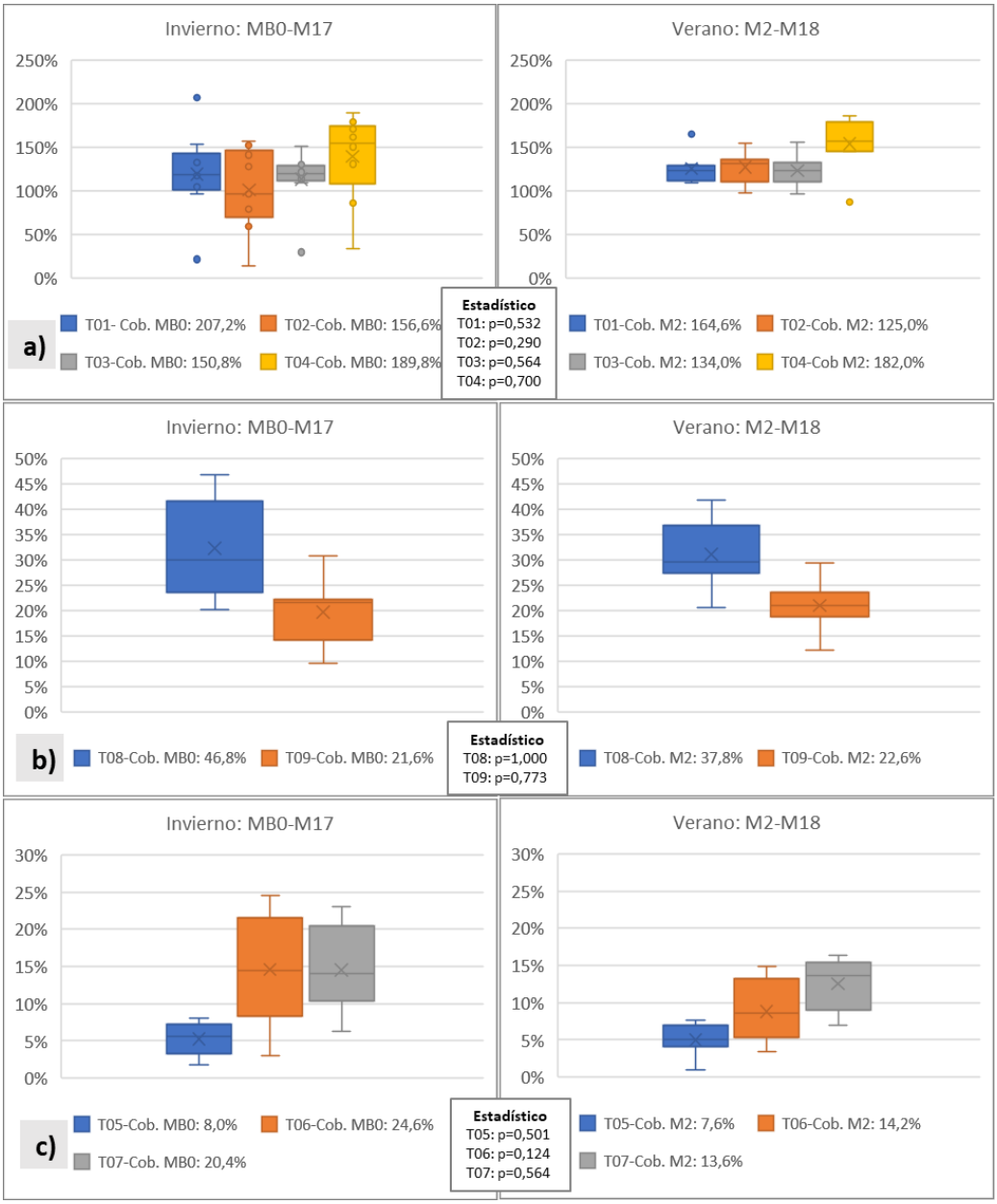
Es por esto, que a continuación se presenta por sector, gráficas de *boxplot* analizando la variación de la cobertura vegetal en invierno *versus* los veranos, para cada transecta, ordenadas por formación vegetal para cada sector de estudio (**Figura N° 13-2**, **Figura N° 13-3**, **Figura N° 13-4** y **Figura N° 13-5**). La variabilidad debiera indicar si se observa una marcada estacionalidad en los datos, además de poder identificar si las variaciones son significativas, a través de una prueba estadística de Kruskal-Wallis donde el valor del parámetro F de este test, se acompaña del valor *p* para cuantificar estadísticamente la importancia de la variación[42].

En el sector **Peine** (**Figura N° 13-2**), se observan comportamientos distintos en las tres formaciones vegetales, en ambas estaciones. Respecto a la estacionalidad de los valores, solo la transecta T06 y T07 del matorral de *Tessaria absinthioides* presenta mayor diferencia indicando una mayor cobertura en invierno que en los veranos, y la transecta T02 del herbazal de *Schoenoplectus californicus* también muestra mayor diferencia con mayor variación de cobertura en invierno, aunque **estadísticamente las variaciones no son significativas**. Los valores referenciales de MB0 para invierno muestran, en general, que la cobertura inicial se encuentra hacia el rango máximo, exceptuando a T09 y T07. En cambio, los valores referenciales de M2 para verano muestran que solo las transectas T01 y T04 en los herbazales de *S. californicus* y T05 y T06 en matorral de *T. absinthioides* se encuentran hacia el rango máximo de cobertura.

En el sector **Tilopozo** (**Figura N° 13-3**), se observa mayor variabilidad espacial y temporal en las coberturas del sector, principalmente en el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, en ambas estaciones. Respecto a la estacionalidad, se registra una mayor diferencia en las transectas T18 y T31 en el herbazal de *Juncus balticus* y en las transectas del matorral de *Tessaria absinthioides*, indicando una mayor cobertura en invierno que en los veranos, **siendo significativa solo la variación en T31, T23 y T25**. Los valores referenciales de MB0 para invierno muestran, que la cobertura inicial se encuentra hacia el rango máximo en varias transectas (T19, T22, T26, T18, T30, T31, T23, T24 y T25). En cambio, los valores referenciales de M2 para verano se encuentran hacia el rango máximo de cobertura en las transectas T19, T27, T23 y T25, y en otras formaciones vegetales, destaca que las coberturas de verano se observan en un rango inferior respecto al invierno (T26 en herbazales de *D. spicata*, T18 y T31 en herbazales de *J. balticus* y los matorrales de *T. absinthioides*).

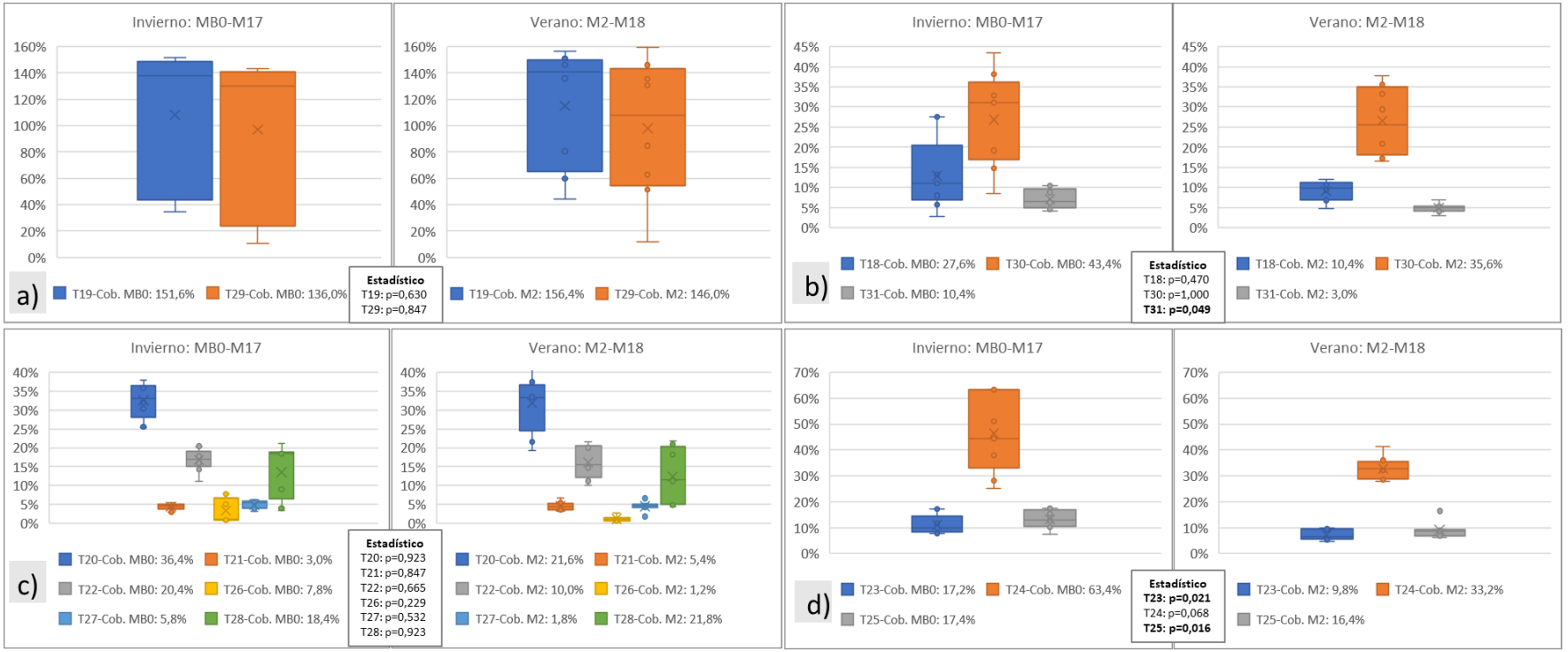
[42] Los niveles de significancia (denotado como α o *alfa*) usados fueron de 0,05. Un α menor o igual a 0,05 indica, con un riesgo del 5%, que existe una variación significativa entre las variables analizadas.

Figura N° 13-2. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Peine



Donde: Formaciones vegetales: a) Herbazal de *Schoenoplectus californicus*, b) Herbazal de *Distichlis spicata* y c) Matorral de *Tessaria absinthioides*.
Fuente: Elaboración propia.

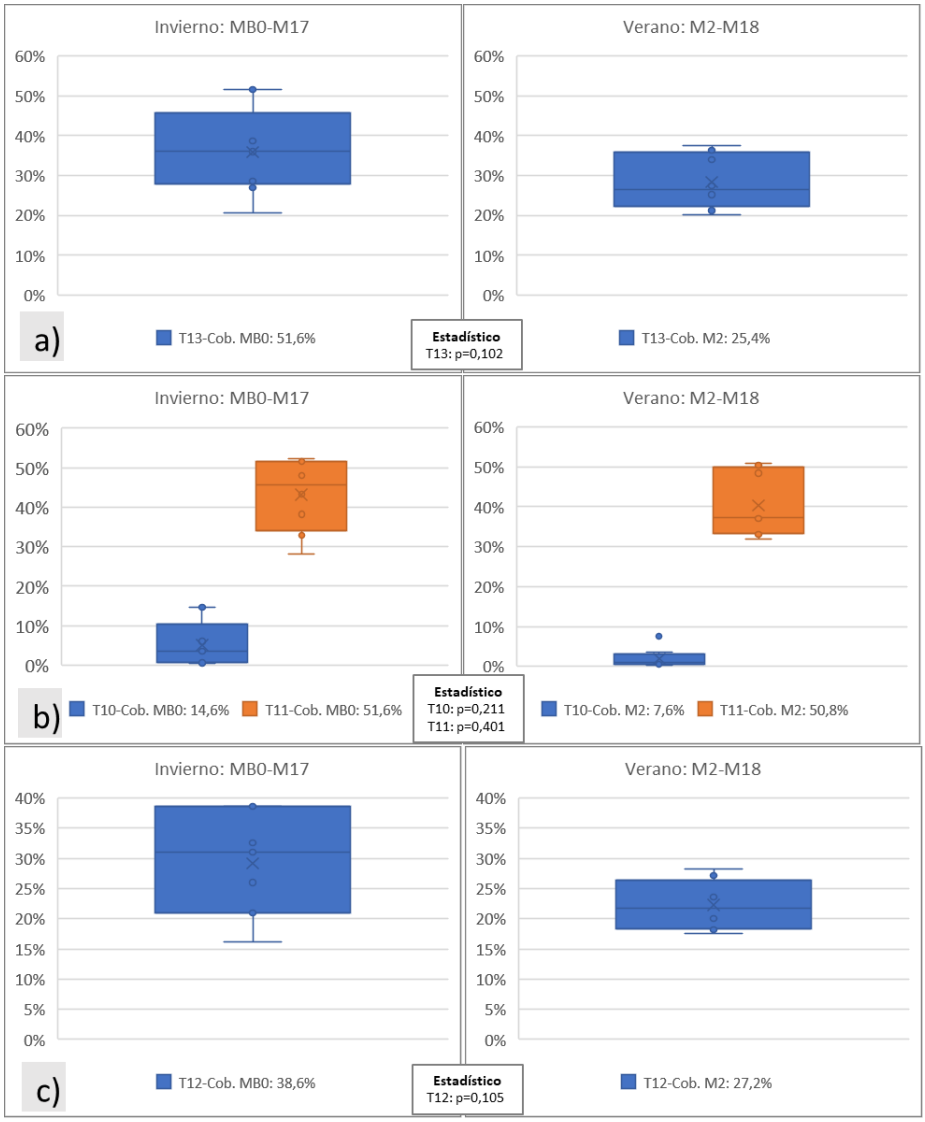
Figura N° 13-3. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Tilopozo



Donde: Formaciones vegetales: a) Herbazal de *Schoenoplectus californicus*, b) Herbazal de *Juncus balticus,* c) Herbazal de *Distichlis spicata* y d) Matorral de *Tessaria absinthioides*.
Variaciones significativas entre estaciones (p-value <0,05): T31: p=0,049, T23: p=0,021 y T25: p=0,016.
Fuente: Elaboración propia.

En el sector **La Punta y La Brava** (**Figura N° 13-4**), se observa que los valores se presentan, en general, cercano a la mediana para las tres formaciones vegetales, en ambas estaciones, y las coberturas de invierno presentan una mayor variabilidad que los veranos. Respecto a la estacionalidad, la transecta T13 en el herbazal de *Juncus balticus,* la transecta T10 en el herbazal de *Triglochin concinna* y T12 en el matorral de *Salicornia neei (ex. S. fruticosa)* presentan mayor diferencia entre estaciones, indicando una mayor cobertura en invierno que en los veranos, aunque **estadísticamente las variaciones no son significativas**.

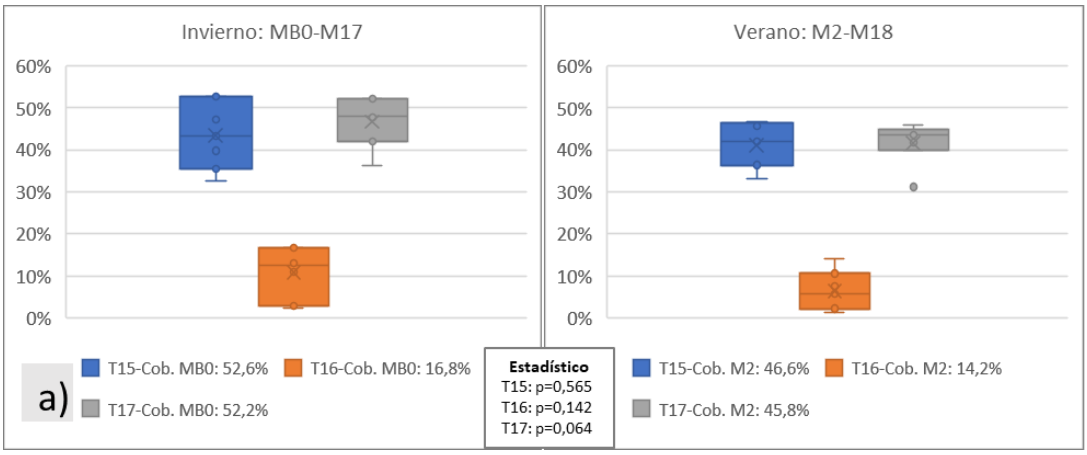
Figura N° 13-4. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector La Punta y La Brava



Donde: Formaciones vegetales: a) Herbazal de *Juncus balticus*, b) Herbazal de *Triglochin concinna* y c) Matorral de *Salicornia neei (ex. S. fruticosa)*.
Fuente: Elaboración propia.

En el sector **Aguas de Quelana** (**Figura N° 13-5**), se observa que los valores presentan menor variabilidad de coberturas. Respecto a la estacionalidad, las tres transectas en la formación de *Salicornia neei (ex. S. fruticosa)* presentan diferencias de cobertura entre estaciones, indicando una mayor cobertura en invierno que en los veranos, aunque **estadísticamente las variaciones no son significativas**.

Figura N° 13-5. Boxplot con la variación de cobertura absoluta de vegetación en invierno y verano, en transectas del sector Aguas de Quelana



Donde: Formaciones vegetales: a) Matorral de *Salicornia neei (ex. S. fruticosa)*.
Fuente: Elaboración propia.

13.1.3 Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI

13.1.3.1 Comparación con valores históricos

De acuerdo con los registros mínimos y máximos establecidos para el monitoreo de vegetación en los sectores de Tilopozo, La Punta - La Brava, y Peine (Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015 - Apéndice B), en general, las superficies de vegetación activa observadas en los seguimientos se encuentran dentro de los rangos históricos reportados y por sobre los valores mínimos de referencia establecidos en el PMB. En **Anexo de Vegetación y Flora Vol. 1,** se encuentra el detalle de la evolución del índice de NDVI para inviernos y veranos (2016-2025)

En la **Tabla N° 13-3**, se presentan un resumen de las superficies NDVI del seguimiento para la temporada de verano, por sector. Para el sector de Soncor, la superficie de vegetación activa registrada en invierno de 2024 y verano de 2025 se mantiene en rangos similares a los observados en monitoreos anteriores. Sin embargo, al igual que en años previos, estos valores continúan siendo inferiores al umbral mínimo histórico definido (21,2 ha). Esta diferencia se explica principalmente por el mayor nivel de detalle alcanzado en la delimitación de unidades en la Carta de Ocupación del Territorio (COT), elaborada durante las campañas del PMB entre 2017 y 2025, así como por las mejoras incorporadas en los algoritmos de corrección de imágenes satelitales, que han permitido una detección más precisa de la reflectancia asociada al vigor vegetativo. Estas condiciones técnicas aplican de forma consistente a todo el período 2017–2025.

Cabe señalar que, en el caso específico del sector Soncor, una proporción importante de los valores de NDVI clasificados como vegetación activa corresponde a coberturas cercanas o ubicadas dentro de cuerpos de agua, tales como vegetación acuática, sedimentos pigmentados o tapetes microbianos. Esta situación ha sido confirmada mediante observaciones directas en terreno y reportes de guardaparques.

Asimismo, se precisa que el valor de vegetación activa reportado para el sector Peine en verano de 2017 no representa una disminución efectiva en el vigor de la cobertura vegetal, sino que corresponde a una limitación en la disponibilidad de imágenes satelitales para ese año, lo que condicionó el cálculo e interpretación del índice NDVI.

En términos generales, los resultados del monitoreo verano 2025, se observa un leve aumento en la superficie de vegetación activa en los sectores Peine y Aguas de Quelana, y una disminución en Tilopozo y Soncor, lo que puede estar vinculado a la variabilidad natural del sistema o a un efecto puntual asociado a las precipitaciones registradas en la zona. A la fecha, las superficies de vegetación activa se mantienen dentro de los rangos establecidos por el PMB para el período 2016–2025, conforme a lo indicado en la **Tabla N° 13-3**.

Tabla N° 13-3. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación con los registros históricos de Landsat y alta resolución por sector, temporada de verano.

Sector	VERANO 2017		VERANO 2018		VERANO 2019		VERANO 2020		VERANO 2021		VERANO 2022		VERANO 2023		VERANO 2024		VERANO 2025		VALORES HISTÓRICOS DESDE LANDSAT		VALORES HISTÓRICOS DESDE ALTA RESOLUCIÓN	
	COT (ha)	VA (ha)	COT (ha)	VA (ha)	COT (ha)	VA (ha)	COT (ha)	VA (ha)	COT (ha)	VA (ha)	COT (ha)	VA (ha)	COT (ha)	VA (ha)	COT (ha)	VA (ha)	COT (ha)	VA (ha)	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)
Tilopozo - La Punta y La Brava	2.727,9	613,2	2.706,4	422,8	2.706,4	603,5	2.727,9	533,4	2.706,4	453,7	2.705,5	736,8	2.705,5	547,3	2.703,3	767,0	2.703,3	648,8	202,0	1.580,0	113,6	343,3
Peine	2.990,9	677,1	2.989,0	496,1	2.989,0	660,5	2.989,0	506,6	2.989,0	532,5	2.989,0	601,1	2.989,0	529,8	2.989,0	668,1	2.989,0	700,9	310,0	1.919,0	157,7	242,8
Soncor*	24,8	7,6	24,8	6,0	24,8	6,1	24,8	5,8	24,8	6,6	24,8	7,7	24,8	8,0	24,8	9,7	24,8	9,6	-	-	21,2	37,7
Aguas de Quelana**	1.518,8	393,8	1.518,8	291,5	1.518,8	248,5	1.518,8	274,3	1.518,8	249,8	1.518,8	258,6	1.518,8	320,7	1.515,9	353,9	1.515,9	374,7	-	-	20,8	32,4
TOTAL	*7.262,4*	*1.691,8*	*7.238,9*	*1.216,4*	*7.238,9*	*1.518,6*	*7.260,4*	*1.320,1*	*7.238,9*	*1.242,6*	*7.238,1*	*1.604,2*	*7.238,0*	*1.405,9*	*7.233,0*	*1.798,7*	*7.233,0*	*1.734,0*				

Donde: COT: Superficie de la Carta de ocupación de tierras (COT) con vegetación y VA: Superficie vegetación activa que corresponde a valores sobre el percentil 75.* 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 con el resumen de registros mínimos y máximos propuestos para el monitoreo de vegetación mediante herramientas de teledetección (según lo comprometido en la Tabla 5.3 del Apéndice B, Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015), en la **Tabla N° 13-4** se presentan las superficies de vegetación activa (NDVI) correspondientes a formaciones de vegas herbáceas dominadas por *Schoenoplectus californicus*, en comparación con los valores históricos y de línea de base.

En cuanto al monitoreo de verano 2025, la superficie de vegetación activa en los herbazales de *Schoenoplectus californicus* en Tilopozo y La Punta - La Brava se observa por debajo del rango histórico, registrando el menor valor del periodo evaluado. En contraste, el sector Peine, aunque también permanece por debajo del mínimo histórico, presenta un leve aumento respecto al valor registrado durante el verano de 2024, lo que representa una recuperación parcial en relación con el monitoreo anterior y con valor similar al presentado en el verano de 2020.

Tabla N° 13-4. Superficies de VA (verano) y comparación con registros históricos en formaciones con dominancia de *Schoenoplectus californicus*

SECTOR	VERANO 2017		VERANO 2018		VERANO 2019		VERANO 2020		VERANO 2021		VERANO 2022		VERANO 2023		VERANO 2024		VERANO 2025		REGISTROS HISTÓRICOS*	
	FVEG	VA (ha)	FVEG	VA (ha)	FVEG	VA (ha)	FVEG	VA (ha)	FVEG	VA (ha)	FVEG	VA (ha)	FVEG	VA (ha)	FVEG	VA (ha)	FVEG	VA (ha)	Superficie mínima (ha)	Superficie máxima (ha)
Peine	Vega de sca	20,3	Vega de sca y bj	7,4	Vega de sca y bj	3,2	Vega de sca y bj	3,1	Vega de sca y bj	11,4	Vega de sca y bj	11,1	Vega de sca y bj	9,6	Vega de sca y bj	1,0	Vega de sca y bj	2,9	22,6	23,0
			Vega de sca, bj y dp	4,5	Vega de sca, bj y dp	3,4	Vega de sca, bj y dp	4,8	Vega de sca y dp	5,5	Vega de sca, bj y dp	5,5	Vega de sca, bj y dp	4,9	Vega de sca, bj y dp	0,03	Vega de sca	5,07		
Total Peine		**20,3**		**11,9**		**6,6**		**7,9**		**16,9**		**16,6**		**14,5**		**1,0**		**8,0**		
Tilopozo - La Punta y La Brava	Vega de sca	28	Vega de sca	7,9	Vega de sca	8	Vega de sca	9,1	Vega de sca	5,9	Vega de sca	8,8	Vega de sca	22,9	Vega de sca	12,4	Vega de sca	2,9	26,0	59,2
	Vega de sca y bj	5,1	Vega de sca, bj y dp	30,2	Vega de sca, bj	9,4	Vega de sca y bj	12,3	Vega de sca, bj y dp	40,4	Vega de sca y dp	1,9	Vega de sca y dp	1,8	Vega de sca y dp	0,7	Vega de sca y dp	6,7		
															Vega de sca y bj	2,7	Vega de sca y bj	1,9		
					Vega de sca, bj y dp	9,8	Vega de sca, bj y dp	9,6			Vega de sca, bj y dp	36,1	Vega de sca, bj y dp	13,8	Vega de sca, bj y dp	3,2	Vega de sca, bj y dp	0,6		
Total Tilopozo - La Punta y La Brava		**33,1**		**38,1**		**27,2**		**31,0**		**46,3**		**46,8**		**38,6**		**19,0**		**12,2**		

Donde: VA: Superficie vegetación activa; FVEG: Formación vegetal. Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*.
*Valores históricos obtenidos a partir de alta resolución correspondientes a la Tabla 5.3 del Apéndice B, Anexo 2 (2015). Fuente: Elaboración propia.

13.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

13.2.1 Representatividad del muestreo

Los muestreos correspondientes a las 18 campañas semestrales (invierno 2016, verano e invierno 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024 y verano 2025) en el área de estudio se consideran representativos, por las siguientes razones:

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

Cabe recordar que en verano 2020 no se realizó el muestreo por la pandemia Covid-19, que en verano 2021, 2023 y 2024 el muestreo contempló 20 de los 25 puntos de muestreo (no se accedió a los 5 puntos de las lagunas de Peine), y en verano del 2022, invierno 2023 e invierno 2024 no se consideran 3 puntos (lagunas Salada y Saladita), ya que no se tuvo acceso por restricciones de acceso debido al ciclo reproductivo de flamencos. En verano 2025 además de no poder acceder a los 5 puntos de las lagunas de Peine, tampoco se pudo realizar muestreo en el punto de ADV costra salar, por lo que se efectuaron 19 puntos. Dada esta restricción, se **limitó para esta componente en invierno 2023 y 2024 y verano 2025 por quinta vez en el marco del PMB**, el acceso completo al sector de lagunas de Peine, debido a que es un área con poblaciones de flamencos en fase reproductiva. Lo anterior afecta significativamente los resultados, sobre todo en lo que respecta a la abundancia de aves acuáticas (y en particular, de los flamencos) en los sistemas lagunares **(ver Anexo Cartas y Prohibiciones).**

En total, la riqueza acumulada de 68 especies, en las 18 campañas realizadas, sobrepasa la fauna histórica acumulada del área de estudio, cuyo registro de línea de base es de 62

especies (un anfibio, dos reptiles, 49 aves y 10 mamíferos; PMB 2015). Es esperable que la fauna registrada al principio del monitoreo fuera un subconjunto del valor acumulado de varios años de estudio, y ahora, transcurridos nueve años del monitoreo, ya se ha registrado una riqueza mayor. Parte de la diferencia registrada entre el total acumulado y el registrado por el muestreo, podría explicarse por la baja probabilidad de detectar varias de las especies del total acumulado, debido a algunas características especiales, como: muestreos en otras épocas (no sólo invierno y verano), distribución restringida, abundancia y frecuencia bajas, actividad nocturna y crepuscular, especies migratorias, especies accidentales y con escasos registros, especies evasivas. Cabe considerar también que la composición de fauna incluye el registro de varias especies nuevas para el área (detalles en ***acápite 13.2.8.1 Riqueza y composición***).

13.2.2 Riqueza, composición y caracterización de la fauna de vertebrados terrestres

En el área de estudio, considerando las 18 campañas semestrales de monitoreo realizadas por el PMB a la fecha, la riqueza acumulada asciende a un total de 68 especies, identificándose una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 49 especies de aves y 16 especies de mamíferos (**Tabla N° 13-5**). En M17 de invierno 2024 no se registraron nuevas especies, mientras que en M18 de verano 2025 se observó una nueva especie, no observada en verano, aunque si había sido registrada en invierno: la chinchilla cordillerana, no documentada en el PMB (2015).

De las 68 especies de fauna detectadas, 28 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 25 especies se encuentran clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (D.S. N° 75/2005, que fue remplazado por el D.S. N° 29/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, y decretos posteriores); en tanto que las tres especies restantes se encuentran clasificadas en alguna de las categorías de conservación no oficiales definidas por Rottmann & López-Callejas (1992) o Cofré & Marquet (1999). En detalle, estas especies en alguna categoría corresponden a la única especie de anfibio registrada, a las dos especies de reptiles detectadas, 14 de las especies de aves y 11 especies de mamíferos (**Tabla N° 13-5**).

Del total de 28 especies en categoría de conservación, 12 se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro Crítico (una especie, un mamífero), En Peligro (una especie, un reptil), Vulnerable (cinco especies; tres aves y dos mamíferos) y Casi amenazada (cinco especies, tres aves y dos mamíferos). Por su parte, 16 especies se catalogan sin amenaza (precautorias; detalle en **Tabla N° 13-5**).

Bajo los criterios de protección establecidos por el reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98 MINAGRI), 59 de las 68 especies detectadas en el área de estudio, se encuentran en condición de beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria, en condición de densidades poblacionales reducidas y/o beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas

(categorías no excluyentes, ya que una especie puede incluirse en uno, dos o los tres criterios; detalles en **Tabla N° 13-5**). Además, considerando el D.S. N° 02/2006 MINAGRI, ninguna de las especies detectadas se encuentra catalogada como Monumento Natural (**Tabla N° 13-5**).

De acuerdo con su origen geográfico, dos de las especies registradas son endémicas de Chile (las dos especies de reptiles), en tanto que otras 62 especies son nativas (una especie de anfibio, 49 especies de aves y 12 especies de mamíferos), y finalmente, cuatro especies son introducidas y/o domesticadas (todos mamíferos; **Tabla N° 13-5**).

En relación con las especies especialistas de hábitat, 22 especies se consideran especialistas, como por ejemplo el sapo espinoso (*Rhinella spinulosa*; en ambientes de humedal), la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani,* en borde de salar), 19 aves (asociadas a ambientes de humedal) y un mamífero (la chinchilla cordillerana, habitante de roqueríos; **Tabla N° 13-5**).

Por otro lado, la movilidad de las especies detectadas se desglosa de la siguiente forma: cuatro especies son de baja movilidad, otras cinco especies se clasifican con movilidad media, y por último 59 especies son clasificadas como de alta movilidad (**Tabla N° 13-5**).

Finalmente, en cuanto al Índice de Riesgo, destaca la presencia de una especie clasificada con un índice de riesgo máximo (*Liolaemus fabiani*, Lagartija de Fabián), en tanto que otras cinco se encuentran clasificadas con un riesgo alto, 11 se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 47 se encuentran clasificadas con un riesgo bajo. A las especies introducidas/domesticadas, no les aplica un índice de riesgo (**Tabla N° 13-5**).

Del análisis por sector, la mayor riqueza se presenta en el sector de Tilopozo, con 52 especies registradas (el único anfibio detectado, un reptil, 37 aves y 13 mamíferos). Le sigue el sector de Peine, con 35 especies registradas (dos reptiles, 26 aves y siete mamíferos) y finalmente el sector con la menor riqueza es La Punta y La Brava con 26 especies (un reptil, 22 aves y tres mamíferos; **Tabla N° 13-5**).

Por otro lado, considerando las especies y su presencia en cada sector, diez especies se encuentras en los tres sectores: el colegial del norte (*Lessonia oreas*), la golondrina de dorso negro (*Pygochelidon cyanoleuca*), el pitotoy chico (*Tringa flavipes*), el playero de Baird (*Calidris bairdii*), la dormilona chica (*Muscisaxicola maculirostris*), la gaviota andina (*Chroicocephallus serranus*), el pato juarjual (*Lophonetta specularioides*), el aguilucho (*Geranoaetus polyosoma*), el zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) y el lauchón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*); en tanto que otras especies se encuentran restringidas a ambientes acuáticos (como el sapo espinoso, la lagartija de Fabián y la mayoría de las aves), y otras sólo se encuentran en ambientes terrestres (detalle en **Tabla N° 13-5**).

Tabla N° 13-5. Lista Sistemática Acumulada de especies de fauna registradas a lo largo de las 18 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2025). Se indica, además, la presencia (X) en cada sector.

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
AMPHIBIA											
ANURA											
BUFONIDAE											
Rhinella spinulosa	Sapo Espinoso	LC [2]	BE	-	N	S	B	50,35			X
TOTAL RIQUEZA AMPHIBIA									**0**	**0**	**1**
REPTILIA											
SQUAMATA											
LIOLAEMIDAE											
Liolaemus constanzae	Lagartija de Constanza	LC [7]	SE	-	E	N	B	30,35		X	X
Liolaemus fabiani	Lagartija de Fabián	EN [5]	SE	-	E	S	B	83,35	X	X	
TOTAL RIQUEZA REPTILIA									**1**	**2**	**1**
AVES											
ACCIPITRIFORMES											
ACCIPITRIDAE											
Circus cinereus	Vari ceniciento	-	BE	-	N	N	A	3,35		X	X
Geranoaetus melanoleucus	Águila	-	BE	-	N	N	A	3,35		X	
Geranoaetus poecilochrous	Aguilucho de la puna	DD [10]	BE	-	N	S	A	18,35			X
Geranoaetus polyosoma	Aguilucho común	-	BE	-	N	N	A	3,35	X	X	X
ANSERIFORMES											
ANATIDAE											
Anas flavirostris	Pato jergón chico	-	-	-	N	S	A	30		X	X

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
Oressochen melanoptera	Piuquén	LC [10]	-	-	N	S	A	24,5	X		
Lophonetta specularioides	Pato juarjual	-	-	-	N	S	A	15	X	X	X
CHARADRIIFORMES											
CHARADRIIDAE											
Anarhynchus alticola	Chorlo de la puna	-	BS	-	N	N	A	10,85	X	X	
Oreopholus ruficollis	Chorlo de campo	NT [9]	BS	-	N	N	A	26,85			X
LARIDAE											
Chroicocephallus serranus	Gaviota Andina	LC [9]	S	-	N	S	A	18,65	X	X	X
SCOLOPACIDAE											
Calidris bairdii	Playero de Baird	-	B	-	N	S	A	31,65	X	X	X
Phalaropus tricolor	Pollito de mar tricolor	LC [14]	BS	-	N	S	A	18,35	X	X	
Tringa flavipes	Pitotoy chico	LC [11]	BS	-	N	S	A	27,85	X	X	X
RECURVIROSTRIDAE											
Recurvirostra andina	Caití	VU [11]	BS	-	N	S	A	57,85	X	X	
COLUMBIFORMES											
COLUMBIDAE											
Metriopelia aymara	Tortolita de la puna	-	S	-	N	N	A	9,15		X	X
Metriopelia melanoptera	Tortolita cordillerana	-	-	-	N	N	A	7,5			X
Zenaida auriculata	Tórtola	-	-	-	N	N	A	7,5			X
FALCONIFORMES											
FALCONIDAE											
Falco femoralis	Halcón perdiguero	IC [12]	BE	-	N	N	A	11,35			X
Falco peregrinus	Halcón peregrino	LC [8]	BSE	-	N	N	A	7			X

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
Falco sparverius	Cernícalo	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
Phalcoboenus megalopterus	Carancho cordillerano	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
GRUIFORMES											
RALLIDAE											
Fulica ardesiaca	Tagua andina	-	S	-	N	S	A	24,15	X	X	
Fulica cornuta	Tagua cornuda	NT [6]	S	-	N	S	A	32,65	X		
Fulica gigantea	Tagua gigante	LC [9]	S	-	N	S	A	18,65	X		
PASSERIFORMES											
FURNARIIDAE											
Cinclodes fuscus	Churrete acanelado	-	B	-	N	S	A	16,65			X
Geositta cunicularia	Minero común	-	B	-	N	N	A	1,65		X	X
Geositta isabellina	Minero grande	-	BS	-	N	N	A	3,35			X
Geositta maritima	Minero chico	-	B	-	N	N	A	1,65		X	X
Geositta punensis	Minero de la Puna	-	B	-	N	N	A	1,65			X
Geositta rufipennis	Minero cordillerano	-	B	-	N	N	A	1,65		X	X
Leptasthenura aegithaloides	Tijeral común	-	B	-	N	N	A	1,65			X
Upucerthia dumetaria	Bandurrilla común	-	BS	-	N	N	A	3,35			X
HIRUNDINIDAE											
Hirundo rustica	Golondrina bermeja	-	BSE	-	N	N	A	5	X		X
Pygochelidon cyanoleuca	Golondrina de dorso negro	-	BE	-	N	N	A	10,85	X	X	X
TYRANNIDAE											
Agriornis micropterus	Mero de Tarapacá	-	BSE	-	N	N	A	5		X	X
Agriornis montanus	Mero gaucho	-	BE	-	N	N	A	3,35			X

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
Lessonia rufa	Colegial del norte	-	BE	-	N	N	A	3,35	X	X	X
Muscisaxicola cinereus	Dormilona cenicienta	-	BE	-	N	N	A	3,35		X	X
Muscisaxicola maculirostris	Dormilona chica	-	BE	-	N	N	A	3,35	X	X	X
Muscisaxicola rufivertex	Dormilona de nuca rojiza	-	BE	-	N	N	A	3,35			X
Tyrannus savana	Cazamoscas tijereta	-	BSE	-	N	N	A	5			X
THRAUPIDAE											
Sicalis olivascens	Chirihue verdoso	-	S	-	N	N	A	9,15		X	X
MOTACILLIDAE											
Anthus correndera	Bailarín chico común	-	BE	-	N	N	A	3,35	X		X
PELECANIFORMES											
ARDEIDAE											
Ardea alba	Garza grande	-	B	-	N	S	A	16,65	X		X
Egretta caerulea	Garza azul	-	BS	-	N	S	A	18,35		X	X
PHOENICOPTERIFORMES											
PHOENICOPTERIDAE											
Phoenicoparrus andinus	Flamenco andino o Parina grande	VU [6]	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
Phoenicoparrus jamesi	Flamenco de James o Parina chica	VU [9]	SE	-	N	S	A	65,35	X	X	
Phoenicopterus chilensis	Flamenco chileno	NT [9]	SE	-	N	S	A	49,35	X	X	
PODICIPEDIFORMES											
PODICIPEDIDAE											
Podiceps occipitalis	Blanquillo	-	E	-	N	S	A	24,15	X		
								TOTAL RIQUEZA AVES	**22**	**26**	**37**
MAMMALIA											

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
ARTIODACTYLA											
CAMELIDAE											
Lama glama	Llama	-	-	-	D	N	A	-			X
Lama guanicoe	Guanaco	VU [1]	S	-	N	N	A	48,65			X
Vicugna vicugna	Vicuña	VU [10]	S	-	N	N	A	48,65	X		
BOVIDAE											
Capra hircus	Cabra	-	-	-	D	N	A	-			X
CARNIVORA											
CANIDAE											
Canis familiaris	Perro	-	-	-	D	N	A	-			X
Lycalopex culpaeus	Zorro culpeo	LC [1]	E	-	N	N	A	3,65	X	X	X
Lycalopex griseus	Zorro chilla	LC [1]	E	-	N	N	A	3,65			X
FELIDAE											
Puma concolor	Puma	NT [3]	E	-	N	N	A	17,65		X	
CHIROPTERA											
VESPERTILIONIDAE											
Myotis atacamensis	Murciélago de Atacama	NT [7]	BS	-	N	N	A	26,85			X
DIDELPHIMORPHIA											
DIDELPHIDAE											
Thylamys pallidior	Yaca del norte	-	BSE	-	N	N	M	12,5		X	
PERISSODACTYLA											
EQUIDAE											
Equus asinus	Burro	N/A	-	-	I	N	A	N/A		X	X

CLASE ORDEN FAMILIA Especie	NOMBRE COMÚN	EC	BSE	MN	O	EH	M	IR	SECTOR		
									La Punta - La Brava	Peine	Tilopozo
RODENTIA											
CHINCHILLIDAE											
Chinchilla chinchilla	Chinchilla cordillerana o de cola corta	CR [4]	S	MN	N	S	M	64,15			X
CRICETIDAE											
Abrothrix andina	Ratón andino	NP [13]	E	-	N	N	M	11,15		X	X
Eligmodontia puerulus	Lauchita de pie sedoso	LC [4]	S	-	N	N	M	11,15			X
Phyllotis xanthopygus	Ratón orejudo amarillo	NP [13]	S	-	N	N	M	11,15	X	X	X
CTENOMYIDAE											
Ctenomys fulvus	Chululo, Tuco-tuco de Atacama	LC [10]	S	-	N	N	B	33,65		X	X
								TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	**3**	**7**	**13**
								TOTAL RIQUEZA SECTOR	**26**	**35**	**52**

ESTADOS DE CONSERVACIÓN: **CR:** En Peligro crítico; **EN**: En Peligro; **I:** Insuficientemente conocida; **LC**: Preocupación menor; **NP**: Sin prioridad inmediata; **NT:** Casi amenazada; **R**: Rara; **VU**: Vulnerable. **FUENTES ESTADOS DE CONSERVACIÓN**: **(1)** D.S. N°33/2011 MMA; **(2)** D.S. N°41/2011 MMA; **(3)** D.S. N°42/2011 MMA; **(4)** D.S. N°13/2013 MMA; **(5)** D.S. N°52/2014 MMA; **(6)** D.S. N°38/2015 MMA; **(7)** D.S. N°16/2016 MMA; **(8)** D.S. N°6/2017 MMA; **(9)** D.S. N°23/2019 MMA; **(10)** D.S. N°16/2020 MMA; **(11)** D.S. N°44/2021 MMA; **(12)** Rottmann & López-Calleja 1992 ; **(13)** Cofré & Marquet 1999, **(14)** D:S. N°02/2024.

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

MN: monumento natural.

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

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

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

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

Fuente: Elaboración Propia.

13.2.3 Análisis por clase

13.2.3.1 Anfibios

Del total de 68 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante el total de campañas, sólo una de ellas corresponde a un anfibio (1,5%), perteneciente al orden Anura, familia Bufonidae. Esta especie, *Rhinella spinulosa*, está catalogada en la categoría de conservación *"sin amenaza"*, ya que se clasifica como Preocupación menor (**Tabla N° 13-5**). Este registro se tuvo en el sector de Tilopozo en la campaña de verano 2018.

En cuanto a su origen, se cataloga como especie nativa, es especialista de hábitat y presenta baja movilidad. Finalmente, el índice de riesgo calculado para la especie la clasifica como de riesgo alto (**Tabla N° 13-5**).

13.2.3.2 Reptiles

Del total de 68 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, dos de ellas corresponden a reptiles (3,0%), ambas pertenecientes al Orden Squamata y a la familia Liolaemidae (**Tabla N° 13-5**).

Las dos especies se encuentran clasificadas en categoría de conservación; sin embargo, solo una "*bajo amenaza*". Esta especie corresponde a la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), la que está clasificada En peligro, mientras que la especie lagartija de Constanza (*Liolaemus constanzae*) se clasifica como *"sin amenaza"*, en categoría Preocupación Menor (**Tabla N° 13-5**).

Estas dos especies son endémicas de Chile y presentan baja movilidad; sin embargo, solo la lagartija de Fabián es especialista de hábitat, asociada a bordes de salares (**Tabla N° 13-5**). Finalmente, en cuanto al índice de riesgo de las especies de reptiles registradas, la lagartija de Fabián se cataloga con un riesgo máximo (83,35), mientras que la lagartija de Constanza presenta un riesgo medio (30,35; **Tabla N° 13-5**).

En relación con la presencia de ambas especies de reptiles en los distintos sectores, es interesante mencionar que ambas especies se segregan espacialmente: mientras que la lagartija de Fabián se encuentra asociada a ambientes acuáticos (en el borde de salares) de los sectores de La Punta y La Brava y Peine, la lagartija de Constanza se ubica más bien en los ambientes terrestres de Peine y Tilopozo (**Tabla N° 13-5**).

13.2.3.3 Aves

Del total de 68 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las 18 campañas, 49 de ellas corresponden a aves (72,1%), las que se distribuyen en 10 órdenes y 17 familias (**Tabla N° 13-5**).

Del total de aves registradas en el área de estudio, 14 especies (28,6%) se encuentran en categoría de conservación. De ellas, seis especies son consideradas "*bajo amenaza*", y corresponden a dos especies de parinas (chica y grande) junto con el caití, clasificadas en categoría Vulnerable, además de la tagua cornuda, el chorlo de campo y el flamenco chileno, consideradas Casi amenazadas. Las ocho especies restantes, en tanto, están catalogadas *"sin amenaza"*, clasificadas en categoría Insuficientemente conocida (una especie), de Preocupación menor (seis especies) y con datos deficientes (una especie, detalles en **Tabla N° 13-5**).

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 49 especies de aves registradas, todas presentan una movilidad alta, y en cuanto al índice de riesgo, dos especies presentan un riesgo alto (las dos especies de parinas), otras siete especies presentan un riesgo medio, y las 40 especies restantes presentan un riesgo bajo (**Tabla N° 13-5**).

Por otra parte, comparando los sectores, el sector de Tilopozo presenta la mayor riqueza de aves, con 37 especies registradas (mayormente especies asociadas a ambientes terrestres). Les siguen en riqueza el sector de Peine, con 26 especies registradas, y La Punta y La Brava, con 22 especies, la mayoría correspondientes a especies asociadas a ambientes acuáticos (**Tabla N° 13-5**).

13.2.3.4 Mamíferos

Del total de 68 especies de fauna detectadas en el área de estudio del proyecto durante las campañas, 16 de ellas corresponden a mamíferos (23,5%), las que se distribuyen en seis órdenes y 10 familias (**Tabla N° 13-5**).

Del total de mamíferos registrados en el área de estudio, 11 (68,8%) se encuentran en categoría de conservación. Las cinco especies consideradas "*bajo amenaza*" corresponden a la chinchilla cordillerana (*Chinchilla chinchilla*), catalogada como En peligro crítico; el guanaco (*Lama guanicoe*) y la vicuña (*Vicugna vicugna*), clasificadas en categoría Vulnerable, y el puma (*Puma concolor*) junto con el murciélago de atacama (*Myotis atacamensis*), clasificados en categoría Casi amenazada. Las seis especies catalogadas *"sin amenaza"* en su estado de conservación, en tanto, corresponden al zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), zorro chilla (*Lycalopex griseus*), tuco-tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*) y lauchita de pie sedoso (*Eligmodontia puerulus*), clasificados en categoría Preocupación menor, y al ratón andino (*Abrothrix andina*) junto al ratón orejudo amarrillo (*Phyllotis xanthopygus*), ambos clasificados en categoría Sin prioridad inmediata (**Tabla N° 13-5**).

En cuanto a su origen, 13 especies son nativas (una de ellas domesticada, la llama), y las tres especies restante son introducidas (el perro, la cabra y el burro). Por otro lado, sólo una especie se considera especialista de hábitat: la chinchilla cordillerana, que habita roqueríos. De las 16 especies de mamíferos registradas, 10 especies se consideran de alta

movilidad, otras cinco especies con movilidad media, y una especie con movilidad baja (el tuco-tuco de Atacama). Finalmente, en cuanto al índice de riesgo que presentan las especies, una especie presenta riesgo alto (la chinchilla cordillerana), cuatro especies presentan un riesgo medio (el guanaco, la vicuña y el tuco-tuco de Atacama), otras siete especies un riesgo bajo, y para las especies introducidas y/o domesticadas, en tanto, no es aplicable el índice de riesgo (**Tabla N° 13-5**).

Por otra parte, comparando los sectores, Tilopozo presenta la mayor riqueza, con 13 especies, seguido de Peine, con siete especies. La menor riqueza, en tanto, se presenta en el sector de La Punta y La Brava, con sólo tres especies registradas (**Tabla N° 13-5**).

13.2.4 Composición por ambiente

En el caso de los anfibios, la única especie de la clase que fue registrada durante la realización de las campañas de monitoreo (el sapo espinoso), se detectó en el ambiente humedal pajonal del sector de Tilopozo, registrándose por única vez en la campaña de verano 2018 (**Tabla N° 13-6**).

Para los reptiles, de las dos especies detectadas en las campañas, la lagartija de Fabián sólo se registra en el ambiente de humedal salar de los sectores La Punta y La Brava y Peine, en tanto que la lagartija de Constanza se encuentra en el humedal pajonal de Tilopozo, y en los ambientes terrestres de Peine (matorral) y Tilopozo (herbazal, matorral y quebrada). Por su parte, en el restante ambiente terrestre de Tilopozo (área desprovista de vegetación costra salar), no se registra ninguna especie (**Tabla N° 13-6**).

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 pajonal de Tilopozo, con 32 especies detectadas (con ocho especies asociadas a ambientes acuáticos), seguido por los registros de 23 especies en humedal salar de La Punta y La Brava (con 18 especies asociadas a ambientes acuáticos), 15 especies en el humedal salar de Peine (con 13 especies asociadas a ambientes acuáticos), al igual que en el matorral de Tilopozo. A estos registros de riqueza, le siguen el ambiente de matorral de Peine con 13 especies registradas (con dos especies asociadas a ambientes acuáticos), y la quebrada de Tilopozo con ocho especies detectadas (todas terrestres). Por otra parte, se registraron tres especies de aves en el ambiente de herbazal de Tilopozo, y solo una en área desprovista de vegetación costra salar (**Tabla N° 13-6**).

Para los mamíferos, y a diferencia de las aves, la mayor riqueza se encuentra en los ambientes terrestres, ya que se registran 10 especies en el matorral de Tilopozo, al igual que en el humedal pajonal de Tilopozo, siete especies en el matorral de Peine y en el herbazal de Tilopozo, cuatro especies en la quebrada de Tilopozo y tres especies en humedal salar de la Punta y La Brava. La menor riqueza, en tanto, se encuentra en los ambientes de humedal salar de Peine y área desprovista de vegetación costra salar de Tilopozo, registrándose en ellos sólo una especie (**Tabla N° 13-6**).

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 44 especies registradas en total (un anfibio, un reptil, 32 aves y 10 mamíferos), lo que representa un 64,7% de toda la fauna registrada en las campañas de monitoreo, seguido por el matorral de Tilopozo, con 26 especies (un reptil, 15 aves y 10 mamíferos), el humedal salar de La Punta y La Brava, con 27 especies (un reptil, 23 aves y tres mamíferos) y el matorral de Peine, con 21 especies. A continuación, se encuentran los ambientes de humedal salar de Peine (17 especies), quebrada de Tilopozo (13 especies), el herbazal (11 especies), y finalmente el ambiente área desprovista de vegetación costra salar de Tilopozo (dos especies), el cual presenta la menor riqueza acumulada en las campañas (**Tabla N° 13-6**).

En general, los ambientes de menor riqueza presentan un subconjunto de las especies identificadas en los ambientes con mayor riqueza, sin registrar especies con presencia en solo un ambiente.

Tabla N° 13-6. Especies de fauna registradas por ambiente. Total acumulado en 18 campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2025.
Se indica la presencia (X) en cada ambiente y sector.

CLASE	AMBIENTES POR SECTOR							
	La Punta y La Brava	Peine		Tilopozo				
Nombre Común	Humedal Salar	Humedal Salar (Salada-Saladita-Interna*)	Matorral	ADV Costra Salar	Herbazal	Humedal Pajonal	Matorral	Quebrada
AMPHIBIA								
Sapo Espinoso						X		
TOTAL RIQUEZA AMPHIBIA	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**
REPTILIA								
Lagartija de Constanza			X		X	X	X	X
Lagartija de Fabián	X	X						
TOTAL RIQUEZA REPTILIA	**1**	**1**	**1**	**0**	**1**	**1**	**1**	**1**
AVES								
Vari ceniciento			X			X	X	
Águila			X					
Aguilucho de la puna						X		
Aguilucho común	X		X			X	X	
Pato jergón chico	X	X				X		
Pato juarjual	X	X				X		
Piuquén	X							
Chorlo de la puna	X	X						
Chorlo de campo						X		
Gaviota Andina	X	X	X	X				
Caití	X	X						

CLASE	AMBIENTES POR SECTOR							
	La Punta y La Brava	Peine		Tilopozo				
Nombre Común	Humedal Salar	Humedal Salar (Salada-Saladita-Interna*)	Matorral	ADV Costra Salar	Herbazal	Humedal Pajonal	Matorral	Quebrada
Playero de Baird	X	X				X		
Pollito de mar tricolor	X	X						
Pitotoy chico	X	X				X		
Tortolita de la puna			X			X	X	
Tortolita cordillerana						X		
Tórtola					X	X	X	
Halcón perdiguero						X	X	
Halcón peregrino						X		
Cernícalo						X		
Carancho cordillerano						X		
Tagua andina	X	X						
Tagua cornuda	X							
Tagua gigante	X							
Churrete acanelado						X		
Minero común			X			X	X	
Minero grande								X
Minero chico			X			X	X	X
Minero de la Puna						X	X	X
Minero cordillerano			X				X	
Tijeral común					X			X
Bandurrilla común						X		
Golondrina bermeja	X					X		
Golondrina de dorso negro	X	X	X			X	X	
Bailarín chico común	X					X	X	
Chirihue verdoso			X		X	X	X	
Mero de Tarapacá			X			X		
Mero gaucho						X	X	X
Colegial del norte	X	X				X		
Dormilona cenicienta			X			X		X
Dormilona chica	X		X			X	X	X
Dormilona de nuca rojiza							X	X
Cazamoscas tijereta						X		
Garza grande	X					X		
Garza azul		X				X		
Flamenco andino o Parina grande	X	X						
Flamenco de James o Parina chica	X	X						
Flamenco chileno	X	X						

CLASE	AMBIENTES POR SECTOR							
	La Punta y La Brava	Peine		Tilopozo				
Nombre Común	Humedal Salar	Humedal Salar (Salada-Saladita-Interna*)	Matorral	ADV Costra Salar	Herbazal	Humedal Pajonal	Matorral	Quebrada
Blanquillo	X							
TOTAL RIQUEZA AVES	**23**	**15**	**13**	**1**	**3**	**32**	**15**	**8**
MAMMALIA								
Cabra						X		
Llama					X	X	X	
Guanaco					X	X	X	
Vicuña	X							
Perro						X	X	
Zorro culpeo	X	X	X		X	X	X	X
Zorro chilla							X	
Puma			X					
Murciélago de Atacama						X		
Yaca del norte			X					
Burro			X		X	X	X	
Chinchilla cordillerana o de cola corta								X
Ratón andino			X		X	X	X	X
Lauchita de pie sedoso							X	
Ratón orejudo amarillo	X		X	X	X	X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama			X		X	X	X	
TOTAL RIQUEZA MAMMALIA	**3**	**1**	**7**	**1**	**7**	**10**	**10**	**4**
TOTAL POR AMBIENTE	**27**	**17**	**21**	**2**	**11**	**44**	**26**	**13**

Nota: el orden en el listado de las especies sigue a la Tabla N° 13-5.
Fuente: Elaboración Propia.

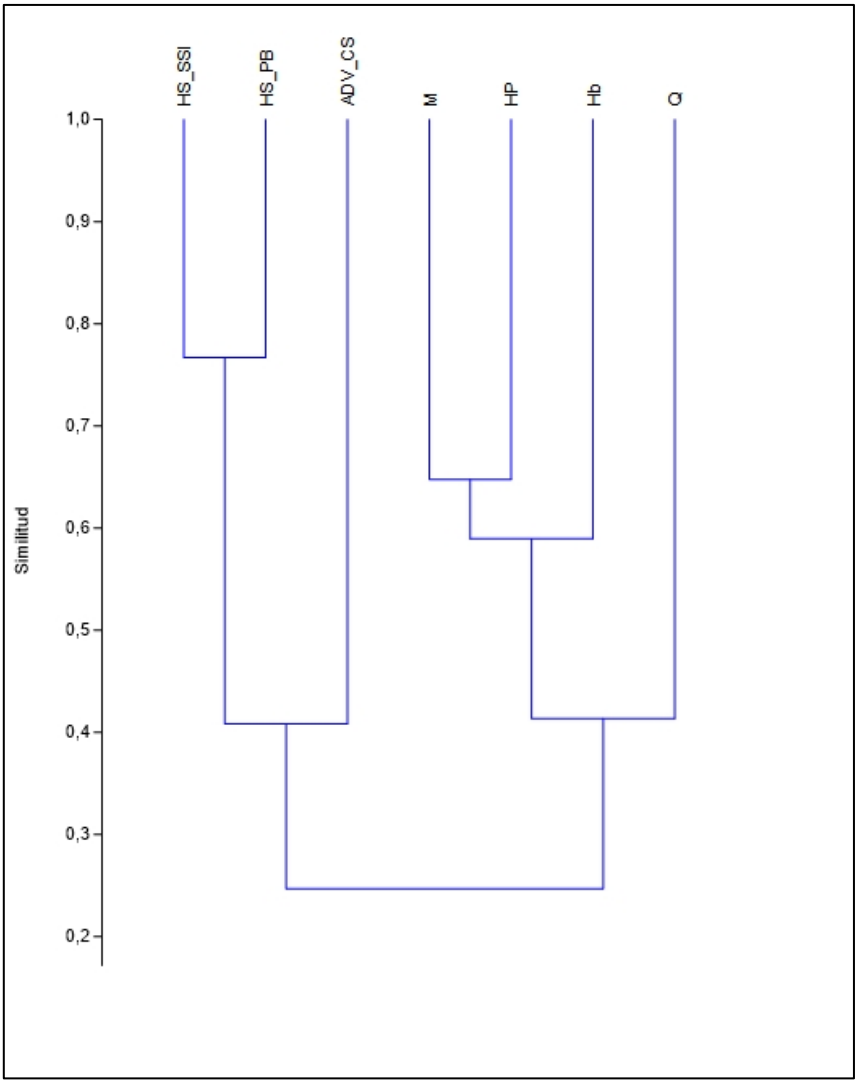
13.2.5 Similitud

En base a la composición de fauna en los distintos ambientes de la **Tabla N° 13-6** (el que agrupa las 18 campañas de monitoreo), se obtiene el fenograma acumulado de similitud de fauna (**Figura N° 13-6**).

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 77%, par al que se asocia el ambiente área desprovista de vegetación costra salar, con una similitud cercana al 41%. Por su parte, en el otro gran grupo, el ambiente de quebrada se asocia al

resto de los ambientes con una similitud cercana al 41%. Finalmente, ambos grupos se asocian entre sí a una similitud menor al 24% (**Figura N° 13-6**).

Figura N° 13-6. Fenograma de Similitud de fauna por ambientes (campañas integradas de invierno 2016 a verano 2025).



Abreviaturas de ambientes: ADV_CS: área desprovista de vegetación costra salar; **Hb**: herbazal; **HP**: humedal pajonal; **HS_PB:** humedal salar La Punta y la Brava; **HS_SSI:** humedal salar Salada, Saladita e Interna; **M:** matorral; **Q**: quebrada.
Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa, la mayor similitud se encuentra entre los ambientes de los dos sistemas de humedal salar (La Punta y La Brava, por una parte, y lagunas Salada, Saladita e Interna, por otra), y la explicación de su similitud está en la mayor riqueza compartida de su fauna de aves acuáticas. La otra agrupación de mayor similitud es entre el humedal pajonal, matorral y el herbazal, a los que se agrupan luego las quebradas. Estos cinco ambientes (mayoritariamente terrestres) poseen una composición de especies bastante similar (y probablemente asociado a mayores riquezas de mamíferos), básicamente porque en todos ellos debiera haber una cobertura vegetal relativamente similar, ofreciendo recurso

alimenticio y refugio a la fauna de vertebrados. La única agrupación no esperada es el de ADV costra salar, la que a pesar de ser el ambiente con muy baja riqueza (sólo dos especies), se agrupa a los dos ambientes de humedal salar.

Es importante señalar, que el análisis estadístico específico utilizado para agrupar posee un sesgo, al darle una importancia desmedida al hecho de compartir al menos una especie (destaca la composición sobre la riqueza). En términos específicos, el registro de un ejemplar poco frecuente y no esperado, en un ambiente que no le ofrece alimento o refugio, probablemente se deba a que es un ejemplar sólo de paso (no residente). En términos biológicos, estos datos inusuales se clasifican como “outliers”, y no se consideran o se ponderan de acuerdo con sus características (pudiendo efectivamente omitirse de los datos “normales”), de ahí la necesidad de la cautela que debe considerarse al analizar el dendrograma. Esto es lo que explica la agrupación no esperada entre el ADV costra salar y los humedales salares, determinada porque el ADV posee sólo dos especies, una de las cuales (la gaviota andina) es compartida con los ambientes de humedales salares.

Al analizar los registros de presencia y abundancia de las especies, separados por ambientes, hay que considerar que los resultados son generales y que se deben considerar con cautela, por varias razones: a) muchas especies de fauna utilizan varios ambientes, por lo que éstos no son excluyentes; b) la presencia de una especie en un ambiente indica obviamente su uso, pero su ausencia no necesariamente implica que la especie no usa dicho ambiente (es probable que aún no se ha registrado la especie); c) para especies escasas y/o de gran movilidad, es muy probable que dada la baja cantidad de registros, éstos no den cuenta del uso total de ambientes por dichas especies; y d) el grado de división de los ambientes puede sesgar la validez de las extrapolaciones: mientras más divisiones de ambientes se hagan, los resultados son menos generales y deben ser más cautelosos.

13.2.6 Abundancia y frecuencia (comparación entre campañas)

En el caso de la única especie de anfibio, ésta fue registrada sólo en verano 2018, con un ejemplar detectado en un punto de muestreo (FT1a), en el sector Tilopozo (100% de abundancia y 4% de frecuencia; **Anexos Fauna 1.8 y 1.9**). 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.

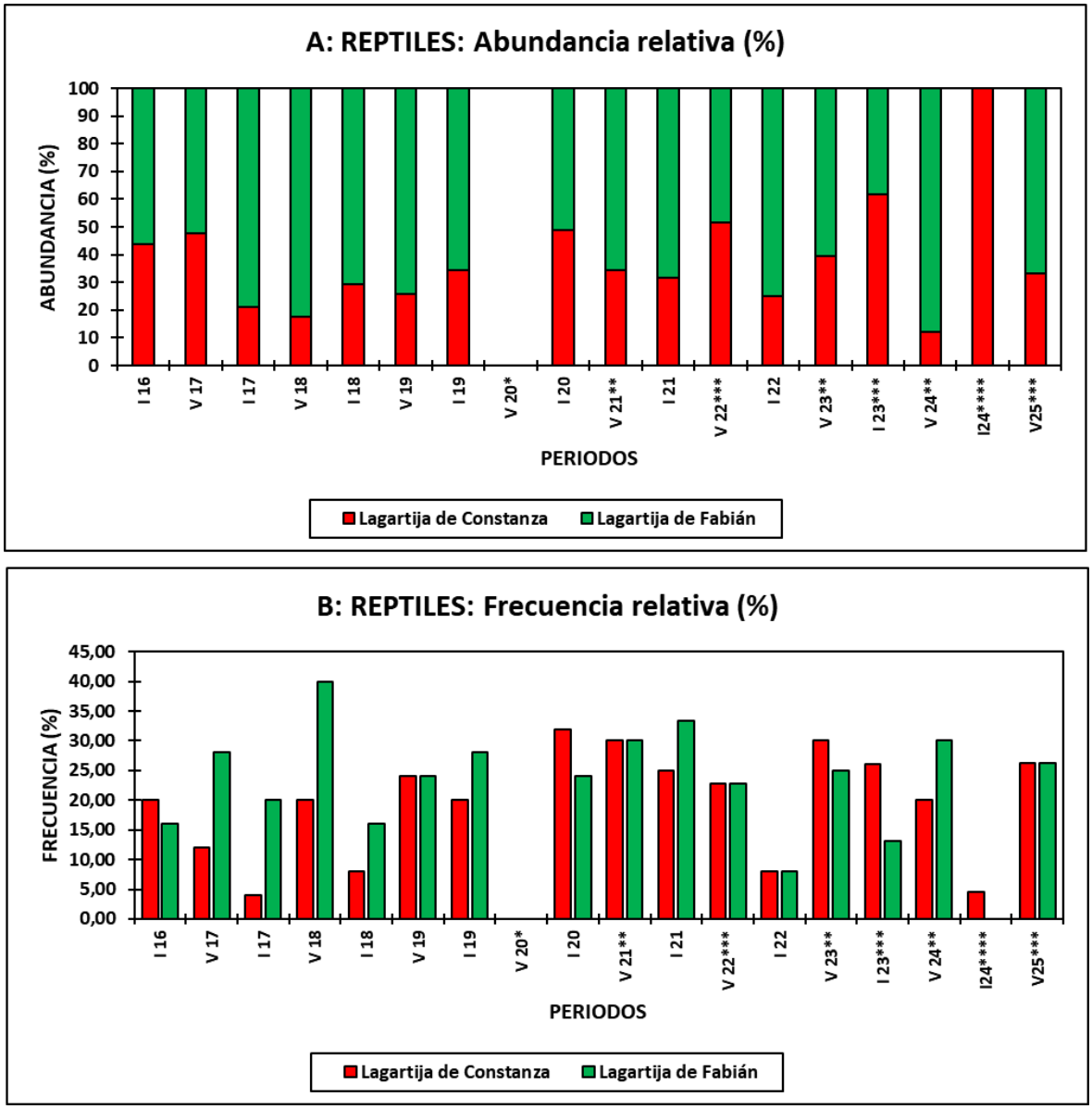
En el caso de las dos especies de reptiles, la abundancia absoluta total fue mayor en verano 2024 (con 49 ejemplares) y menor en invierno 2024 (con sólo un individuo; **Anexo Fauna 1.8**).

En toda el área de estudio, en todas las campañas (excepto verano 2022 e inviernos 2023 y 2024), la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, la que varió entre ninguno (invierno 2024) a 43 ejemplares avistados (0,0% a 87,8% de abundancia relativa), mientras que la lagartija de Constanza representó entre 17,6% a un 100,0%, con uno a 20 individuos (**Figura N° 13-7, A, Anexo Fauna 1.8**).

En el caso de la frecuencia, el patrón se mantiene, ya que la lagartija de Fabián fue la más frecuente, registrada entre ninguno a 10 de los 25 puntos de muestreo (lo que representa entre un 0% a un 40% de frecuencia relativa), mientras que la lagartija de Constanza tuvo entre un 4% a un 32% de frecuencia (**Figura N° 13-7, B**; variando en su registro entre uno a ocho puntos de muestreo; **Anexo Fauna 1.8**).

Cabe destacar que en los veranos de 2021, 2023, 2024 y 2025 no se muestreó las lagunas de Peine, donde es frecuente la lagartija de Fabián, mientras que en verano 2022 e inviernos 2023 y 2024 el muestreo de dichas lagunas fue incompleto, lo cual explicaría algunos cambios de abundancia relativa.

Figura N° 13-7. Abundancia (A) y Frecuencia (B) de los reptiles registrados en el monitoreo (invierno 2016 a verano 2025), en toda el área de estudio.



(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en las campañas de verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo. (***) en las campañas de verano 2022 e inviernos 2023 y 2024 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo. En verano 2025 se efectuaron 19 puntos.

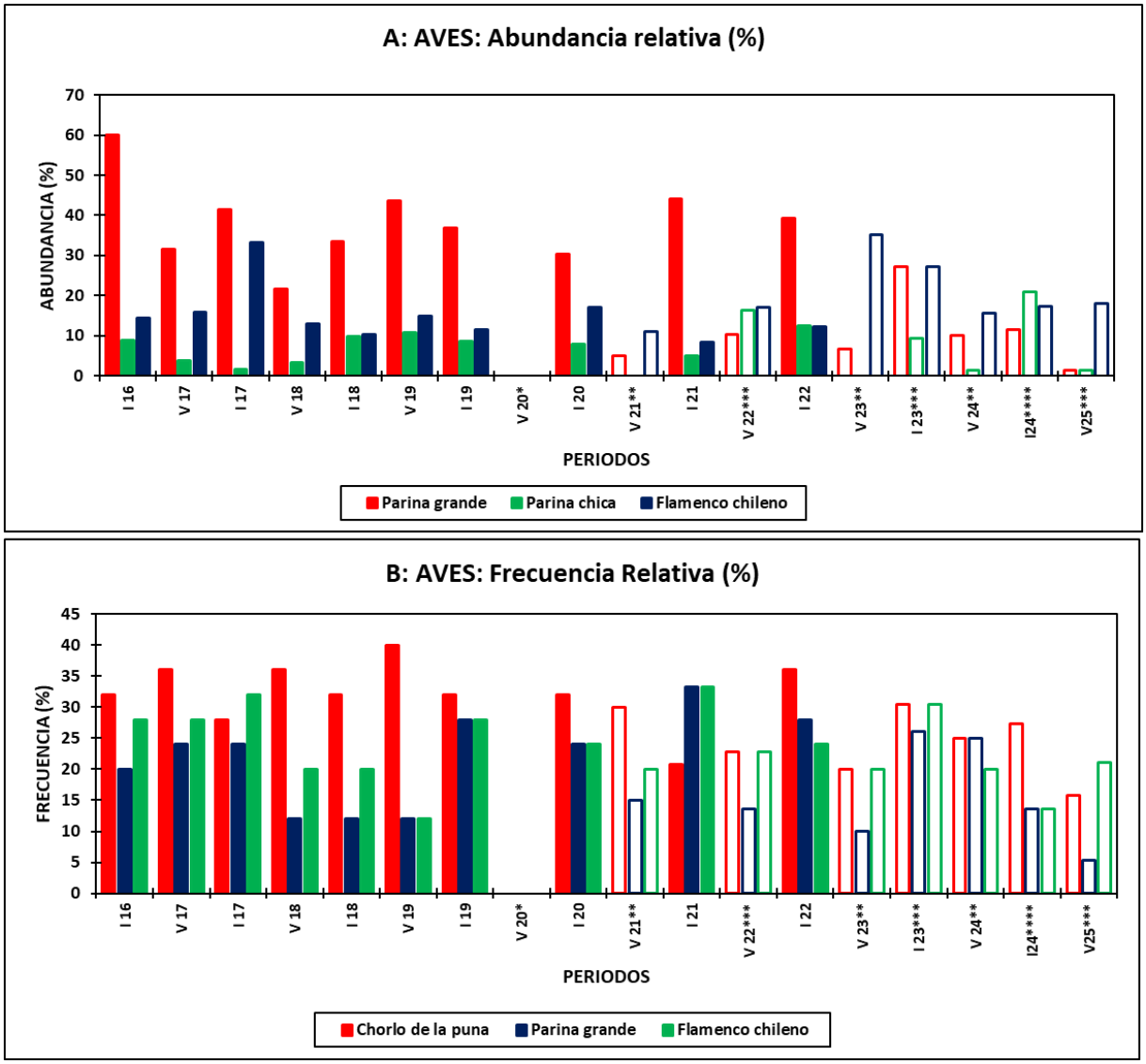
Campaña = I 16: Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019; **I 19:** Invierno 2019; **V 20:** Verano 2020; **I 20:** Invierno 2020; **V 21:** Verano 2021; **I 21:** Invierno 2021; **V 22:** Verano 2022; **I 22:** Invierno 2022; **V 23:** Verano 2023; **I 23**: Invierno 2023; **V24**: Verano 2024; **I24**: invierno 2024; **V25:** verano 2025.

Fuente: Elaboración Propia.

En relación con las aves registradas (y considerando toda el área de estudio), la abundancia absoluta total fue mayor en invierno 2021 (con 806 ejemplares), y menor en verano 2023 (con 105 individuos), por lo que estos dos periodos de monitoreo se asocian a los extremos de abundancias (recordar de nuevo el muestreo no efectuado en las lagunas de Peine (en veranos de 2021, 2023, 2024 y 2025), que generalmente muestra los mayores valores de abundancia. De las especies más abundantes (y excluyendo del análisis los valores incompletos de verano 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, así como invierno 2023 e invierno 2024), destaca la parina grande, con la mayor abundancia absoluta (356 ejemplares en invierno 2021, **Anexo Fauna 1.8**) y mayor abundancia relativa (59,9% en invierno 2016, **Figura N° 13-8 A**, **Anexo Fauna 1.8**) y un mínimo de 92 individuos (31,7% 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 10,3% en invierno 2018; **Figura N° 13-8 A**, **Anexo Fauna 1.8**). La tercera especie más abundante, la parina chica, alcanza un máximo de 10,8%, en verano 2019 (**Figura N° 13-8 A**, **Anexo Fauna 1.8**).

En el caso de la frecuencia, las especies más frecuentes fueron el chorlo de la Puna (entre cuatro a 10 puntos, variando entre un 28% a un 40% de frecuencia), el flamenco chileno (12% a 32%), la parina grande (12% a 28%; **Figura N° 13-8, B**), el caití (5% a 28%), el playero de Baird (8% a 40%), el pollito de mar (4% a 28%) y la gaviota andina (4% a 24%, aunque con periodos sin registro), mientras que el resto de las especies son poco frecuentes, variando entre uno a cinco puntos (4% a 20% de frecuencia; detalles en **Anexo Fauna 1.9**). Por otra parte, para verano 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, e invierno 2023 y 2024, por las razones ya indicadas de muestreo incompleto, los valores de abundancia (sobre todo, aves totales y flamencos) no son comparables.

Figura N° 13-8. Abundancia (A) y Frecuencia relativas para las aves registradas en el monitoreo (invierno 2016 a verano 2025) en toda el área de estudio. Se muestran sólo las tres especies más abundantes y frecuentes.



(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en las campañas de Verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo. (***) en las campañas de Verano 2022, invierno 2023 e invierno 2024 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo, y en verano 2025 se ejecutaron 19 puntos.

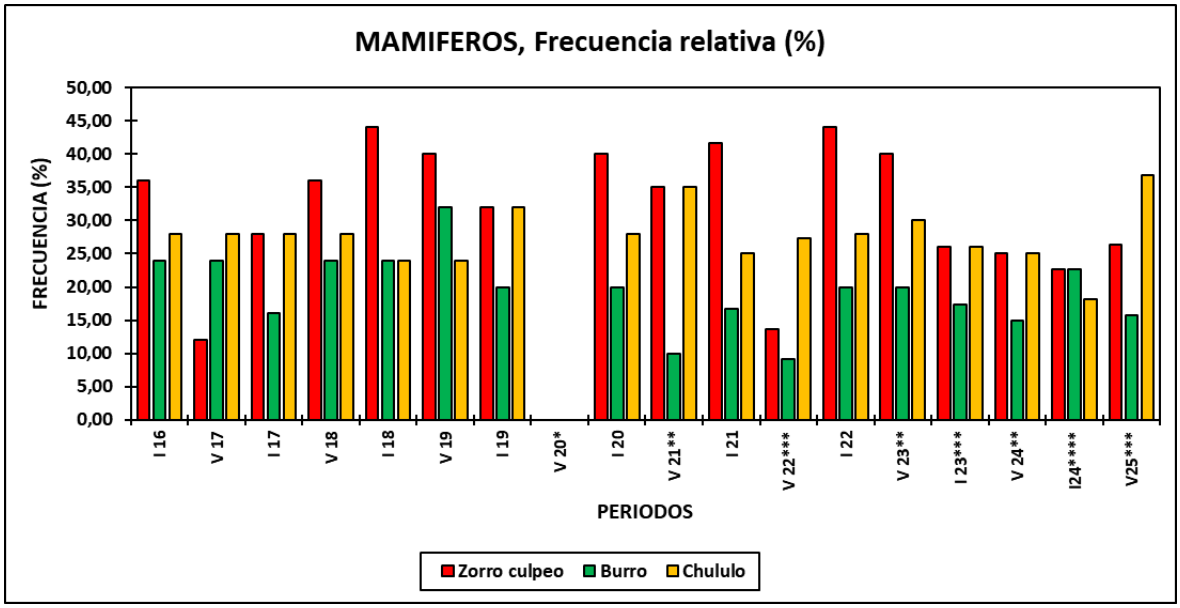
Campaña = I 16: Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019; **I 19:** Invierno 2019; **V 20:** Verano 2020; **I 20:** Invierno 2020; **V 21:** Verano 2021; **I 21:** Invierno 2021; **V 22:** Verano 2022; **I 22:** Invierno 2022; **V 23:** Verano 2023; **I 23**: Invierno 2023; **V24**: Verano 2024; **I:24:** Invierno 2024**; V25:** Verano 2025.

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de los macromamíferos (y considerando toda el área de estudio), la especie más abundante fue el zorro culpeo, de la cual se observó un máximo de 11 individuos en nueve puntos de muestreo en verano 2018, además de un registro indirecto, y un mínimo de tres ejemplares en tres puntos en verano 2017, por lo que su frecuencia varía desde

12% a 44% (**Figura N° 13-9**). Le siguen el burro, con un máximo de ocho ejemplares registrados en un punto, además de cinco puntos con registros indirectos (en las campañas de invierno 2016, verano 2017 y verano 2018), lo que representa un 24% de frecuencia, además de un máximo de 32% de frecuencia en verano 2019 y un mínimo de 9,1% en verano 2022 (**Figura N° 13-9**). El chululo ó tuco-tuco de Atacama presenta un máximo de abundancia de ocho individuos registrados en siete puntos en verano 2018, además del registro mayoritario por evidencia indirecta (cuevas activas) en siete puntos (en invierno 2016), por lo que tiene una frecuencia máxima de 36,8% (**Figura N° 13-9**). En el caso del puma, se registró sólo una evidencia indirecta en un punto de muestreo en verano 2018 (4% de frecuencia; **Anexos Fauna 1.8 y 1.9**). En general, los valores de abundancia y frecuencia de los macromamíferos de las últimas dos campañas (invierno 2024 y verano 2025), están dentro del rango de todo el monitoreo.

Figura N° 13-9. Frecuencia relativa de las tres especies más frecuentes de megamamíferos en el periodo de monitoreo (invierno 2016 a verano 2025), en toda el área de estudio.



(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en las campañas de Verano 2021, 2023 y 2024 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo. (***) en las campañas de Verano 2022, invierno 2023 e invierno 2024 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo, y en verano 2025 se ejecutaron 19 puntos.

Campaña = I 16: Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019; **I 19:** Invierno 2019; **V 20:** Verano 2020; **I 20:** Invierno 2020; **V 21:** Verano 2021; **I 21:** Invierno 2021; **V 22:** Verano 2022; **I 22:** Invierno 2022; **V 23:** Verano 2023; **I 23**: Invierno 2023; **V24**: Verano 2024; **I24:** Invierno 2024; **V25:** Verano 2025.

Fuente: Elaboración Propia.

13.2.7 Abundancia por ambiente (densidad, comparación entre campañas)

En un análisis global, comparando las 18 campañas realizadas, y en cuanto a la abundancia relativa por ambiente (estandarizando por el número de transectos), los reptiles presentan la mayor abundancia relativa en el ambiente de humedal pajonal (máximo de 4,5 individuos/transecto en invierno 2019 e invierno 2020), seguido por el humedal salar (con 0,0 a 7,2 individuos/transecto, en invierno 2024 y verano 2024, respectivamente), la quebrada (máximo de 3,0 ind/transecto, en invierno 2020), el herbazal (máximo 2,5 ind/transecto, en verano 2021) y el matorral (con máximo de 1,6 individuos/transecto, en verano 2023), mientras que el ambiente de ADV costra salar no ha registrado ejemplares (**Tabla N° 13-7**).

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 6,8 individuos/transecto en verano 2025 (con restricciones de acceso) a 53,5 ind/transecto en invierno 2021; seguido por el matorral (máximo de 27,5 ind/transecto, en invierno 2021), el humedal pajonal, variando entre 2,5 ind/transecto (en verano 2017) a 18,0 ind/transecto (invierno 2019), y la quebrada (máximo de 13,0 ind/transecto, en verano 2017). Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal (máximo de 1,5 ind/transecto, en invierno 2016) y el área desprovista de vegetación costra salar, con sólo 1,0 ind/transecto (en invierno 2020 e invierno 2021; **Tabla N° 13-7**).

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

Tabla N° 13-7. Abundancia relativa (ind/ transecto) de reptiles y aves, en cada ambiente, en las 18 campañas de monitoreo (invierno 2016 a verano 2025).

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																	
	Humedal salar (11)																	
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24	I 24	V 25
REPTILIA	0,8	1,0	1,4	2,5	1,1	2,4	2,1	-	1,9	4,2	1,2	1,9	0,5	3,8	0,6	7,2	0,0	2,3
AVES	38,7	24,5	33,6	34,2	32,9	39,5	44,2	-	33,2	22,3	53,5	13,3	38,4	15,0	35,6	21,0	20,0	6,8

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																	
	ADV costra salar (1)																	
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24	I 24	V 25
REPTILIA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AVES	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																	
	Herbazal (2)																	
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24	I 24	V 25
REPTILIA	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-	1,0	2,5	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	1,5
AVES	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	-	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																	
	Humedal pajonal (2)																	
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24	I 24	V 25
REPTILIA	2,0	4,0	2,0	1,0	2,5	2,5	4,5	-	4,5	2,0	0,0	2,5	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	3,0
AVES	3,0	2,5	3,0	12,0	3,5	5,5	18,0	-	8,5	3,0	4,0	4,5	4,0	6,5	14,5	5,0	6,5	8,5

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																	
	Matorral (8)																	
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24	I 24	V 25
REPTILIA	0,1	0,3	0,0	0,4	0,0	0,5	0,4	-	0,8	0,4	0,6	1,4	0,1	1,6	0,5	0,6	0,0	0,0
AVES	0,1	0,1	0,0	13,5	18,0	1,1	6,6	-	0,6	6,1	27,5	0,3	15,9	0,1	0,4	0,3	0,5	0,0

CLASE	AMBIENTE Y CAMPAÑA																	
	Quebrada (1)																	
	I 16	V 17	I 17	V 18	I 18	V 19	I 19	V 20	I 20	V 21	I 21	V 22	I 22	V 23	I 23	V 24	I 24	V 25
REPTILIA	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
AVES	1,0	13,0	0,0	8,0	1,0	6,0	0,0	-	3,0	0,0	5,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en las campañas de Verano 2021, 2023 y 2025, e invierno 2024 se efectuaron 6 de los 11 puntos de muestreo para el ambiente de humedal salar, por restricciones de acceso. (***) en la campaña de Verano 2022 se efectuaron 8 de los 11 puntos de muestreo para el ambiente de humedal salar, por restricciones de acceso. Nota: entre paréntesis, se indica el número de transectos realizados por cada ambiente.

Campaña = I 16: Invierno 2016; **V 17:** Verano 2017; **I 17:** Invierno 2017; **V 18:** Verano 2018; **I 18:** Invierno 2018; **V 19:** Verano 2019; **I 19:** Invierno 2019; ; **V 20:** Verano 2020; **I 120:** Invierno 2020; ; **V 21:** Verano 2021; **I 21:** Invierno 2021; **V 22:** Verano 2022: **I 22:** Invierno 2022; **V 23:** Verano 2023; **I 23:** Invierno 2023; **V 24:** Verano 2024; **I24:** Invierno 2024; **V25:** Verano 2025. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las cuatro especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en los seis ambientes, y con un IDR que varió (en las campañas en que se encontró, con uno a 12 ejemplares), entre 0,8% (en varios ambientes y campañas) a 13,3% (en la quebrada, en verano 2021). En cambio, el ratón andino fue registrado en cuatro ambientes, variando entre un IDR de 0,8% (en tres ambientes y cuatro campañas) a un 21,7% (en el ambiente de humedal pajonal en invierno 2019; **Tabla N° 13-8**). La yaca del norte y la lauchita de pie sedoso se registraron en la campaña de verano 2019, ambas con un ejemplar capturado en el ambiente de matorral, con un IDR de 0,8%, además de un ejemplar de la yaca del norte en matorral, en invierno 2019 (**Tabla N° 13-8**).

Comparando la abundancia relativa total de las dos especies de micromamíferos más abundantes entre las campañas, prácticamente no hay diferencia de abundancia en verano e invierno, ya que ambas especies presentan alta variación. Lo anterior se verifica comparando los rangos, sobre todo para el ratón orejudo amarillo, cuyo rango de los veranos es muy similar (0,8% a 13,3%) al de los inviernos (0,8% a 11,7%). Para el ratón andino, en cambio, el IDR varía entre 0,8% a 21,7% (en invierno), y de 0,8% a 13,3% (en verano; **Tabla N° 13-8**).

Tabla N° 13-8. Índice de Densidad Relativa (IDR) de los micromamíferos trampeados. Campañas de monitoreo de invierno 2016 a verano 2025.

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%) POR CAMPAÑA												
Nombre común	AMBIENTES											
	HS		ADV_CS		Hb		HP		M		Q	
	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR
INVIERNO 2016												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,0**	0/120	**1,7**	2/120	**0,8**	1/120	**3,3**	2/60
Ratón orejudo amarillo	**3,3**	2/60	**0,0**	0/60	**0,8**	1/120	**2,5**	3/120	**1,7**	2/120	**11,7**	7/60
VERANO 2017												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**1,7**	2/120	**0,8**	1/120	**0,8**	1/120	**0,0**	0/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**3,3**	4/120	**3,3**	4/120	**9,2**	11/120	**6,7**	4/60
INVIERNO 2017												
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**1,7**	2/120	**2,5**	3/120	**1,7**	2/120	**3,3**	2/60
VERANO 2018												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,8**	1/120	**0,0**	0/120	**0,0**	0/120	**5,0**	3/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**6,7**	4/60	**0,8**	1/120	**0,8**	1/120	**2,5**	3/120	**6,7**	4/60
INVIERNO 2018												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**2,5**	3/120	**1,7**	2/120	**0,8**	1/120	**5,0**	3/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**1,7**	2/120	**1,7**	2/120	**0,8**	1/120	**1,7**	1/60
VERANO 2019												
Yaca del norte	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,0**	0/120	**0,0**	0/120	**0,8**	1/120	**0,0**	0/60
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**1,7**	2/120	**13,3**	16/120	**10,0**	12/120	**1,7**	1/60
Lauchita de pie sedoso	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,0**	0/120	**0,0**	0/120	**0,8**	1/120	**0,0**	0/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**3,3**	4/120	**1,7**	2/120	**10,0**	12/120	**1,7**	1/60
INVIERNO 2019												

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%) POR CAMPAÑA												
Nombre común	AMBIENTES											
	HS		ADV_CS		Hb		HP		M		Q	
	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR
Yaca del norte	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,0**	0/120	**0,0**	0/120	**0,8**	1/120	**0,0**	0/60
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,0**	0/120	**21,7**	26/120	**0,8**	1/120	**0,0**	0/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**3,3**	4/120	**2,5**	3/120	**1,7**	2/120	**3,3**	2/60
VERANO 2020*												
-	**-**	-	**-**	-	**-**	-	**-**	-	**-**	-	**-**	-
INVIERNO 2020												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**1,7**	1/60	**2,5**	3/120	**0,0**	0/180	**0,0**	0/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**1,7**	1/60	**2,5**	3/120	**3,9**	7/180	**0,0**	0/60
VERANO 2021												
Ratón andino	**0,0**	0/30	**0,0**	0/30	**0,0**	0/60	**11,7**	7/60	**0,0**	0/60	**3,3**	1/30
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/30	**0,0**	0/30	**1,7**	1/60	**0,0**	0/60	**1,7**	1/60	**13,3**	4/30
INVIERNO 2021												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**1,7**	2/120	**0,0**	0/180	**0,0**	0/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**3,3**	2/60	**0,8**	1/120	**1,7**	3/180	**0,0**	0/60
VERANO 2022												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**1,7**	2/120	**4,2**	5/120	**0,0**	0/120	**3,3**	2/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,0**	0/120	**5,8**	7/120	**0,8**	1/120	**1,7**	1/60
INVIERNO 2022												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,8**	1/120	**5,8**	7/120	**0,0**	0/120	**0,0**	0/60
VERANO 2023												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,0**	0/120	**5,0**	6/120	**3,3**	4/120	**0,0**	0/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**0,0**	0/60	**0,0**	0/120	**0,0**	0/120	**0,8**	1/120	**1,7**	1/60

ÍNDICE DE DENSIDAD RELATIVA DE ROEDORES Y MARSUPIALES (%) POR CAMPAÑA												
Nombre común	AMBIENTES											
	HS		ADV_CS		Hb		HP		M		Q	
	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR	IDR	N/TR
INVIERNO 2023												
Ratón andino	**0,0**	0/20	**0,0**	0/20	**0,0**	0/40	**7,5**	3/40	**2,5**	1/40	**5,0**	1/20
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/20	**0,0**	0/20	**2,5**	1/40	**5,0**	2/40	**7,5**	3/40	**0,0**	0/20
VERANO 2024												
Yaca del norte	**0,0**	0/60	**-**	-	**0,0**	0/120	**0,0**	0/120	**0,8**	1/120	**0,0**	0/60
Ratón andino	**0,0**	0/60	**-**	-	**0,0**	0/120	**0,0**	0/120	**4,2**	5/120	**3,3**	2/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**-**	-	**1,7**	2/120	**0,0**	0/120	**8,3**	10/120	**1,7**	1/60
INVIERNO 2024												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**-**	-	**0,0**	0/120	**1,7**	2/120	**0,0**	0/120	**0,0**	0/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**-**	-	**2,5**	3/120	**0,0**	0/120	**0,8**	1/120	**0,0**	0/60
VERANO 2025												
Ratón andino	**0,0**	0/60	**-**	-	**0,0**	0/120	**0,0**	0/120	**0,8**	1/120	**0,0**	0/60
Ratón orejudo amarillo	**0,0**	0/60	**-**	-	**0,0**	0/120	**2,5**	3/120	**4,2**	5/120	**3,3**	2/60

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.
Donde: **IDR** = (Nº Individuos / trampa-noche) *100; **N / TR** = Nº Individuos totales trampeados / Nº Trampas-noche. **AMBIENTES: HS:** Humedal salar; **ADV_CS**: área desprovista de vegetación costra salina; **HB**: herbazal; **HP**: humedal pajonal; **M:** matorral; **Q**: quebrada.

Fuente: Elaboración Propia.

13.2.8 Evolución de Fauna Vertebrados Terrestres

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

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

De todas las campañas de Línea de Base, las de invierno 2014 y verano 2015 son las únicas posibles de comparar en términos de riqueza y abundancia (y en especial para las aves), mientras que el resto son comparables básicamente en la riqueza y composición de la fauna, pero siempre con la debida cautela, ya que no se incluyen los mismos ambientes y sectores que en este monitoreo).

Además, es necesario destacar que en la campaña de Línea de Base de verano 2015, los datos aparecen agrupados en sistemas lagunares, no pudiéndose separar en los sistemas de La Punta y La Brava y Peine (como sí está separado en la campaña de Línea de Base de invierno 2014, por lo que, a pesar de no ser de la misma estacionalidad, es la única disponible). De este modo, **para la abundancia de aves, primero se hace una comparación general de todas las lagunas** (con dos campañas de Línea de Base, invierno y verano), y luego se realiza una comparación más específica, separando los dos sectores: La Punta-La Brava y Peine, aunque con una sola campaña de Línea de Base (invierno 2014).

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

13.2.8.1 Riqueza y composición

En una primera escala gruesa de comparación, las 68 especies registradas en estas 18 campañas de monitoreo sobrepasan la riqueza acumulada de 62 especies observadas en varias campañas estacionales y de varios años (línea base del proyecto desde 2006 a verano 2015), detalladas en el PMB, 2015 (**Tabla N° 13-9**). En dicho informe, se registra un total acumulado de un anfibio, dos reptiles, 49 aves y 10 mamíferos, y, como era de esperar, casi todas las especies registradas en las campañas de invierno 2016 a verano 2025 se incluyen dentro de las 62 especies del total acumulado. Del total de 68 especies

observadas en el periodo de monitoreo de estos últimos ocho años (2016 a 2025), 22 especies no se habían registrado en el PMB (previo a 2015), y son:

- un anfibio: el sapo espinoso (*Rhinella spinulosa*),
- 16 aves: garza grande (*Ardea alba*), piuquén (*Oressochen melanopterus*), tagua andina (*Fulica ardesiaca*), tagua gigante (*Fulica gigantea*), tagua cornuda (*Fulica cornuta*), blanquillo (*Podiceps occipitalis*), garza azul (*Egretta caerulea*), churrete acanelado (*Cinclodes fuscus*), aguilucho de la puna (*Geranoaetus poecilochrous*), minero grande (*Geositta isabellina*), minero de la puna (*G. punensis*), dormilona cenicienta (*Muscisaxicola cinereus*), dormilona de frente roja *(M. rufivertex*), águila (*Geranoaetus melanoleucus*), minero cordillerano (*Geositta rufipennis*) y tórtola cordillerana (*Metriopelia melanoptera*).
- cinco mamíferos: el puma (*Puma concolor*), la chinchilla cordillerana (*Chinchilla chinchilla*), el murciélago de Atacama (*Myotis atacamensis*), y dos especies domesticadas (el perro y la llama).

Todos estos casos corresponden al primer registro de estas especies para la zona, ya que no aparecen en ninguna de las campañas anteriores al PMB reportadas.

Es importante mencionar que, las campañas preliminares al monitoreo poseen diferentes esfuerzos de muestreo (una, dos o varias estaciones) y se realizan en distintas estaciones del año, por lo que la comparación no es equivalente, sino más bien una comparación general. En particular, comparado con el total acumulado con siete campañas de línea de base de RWL (desde junio de 2008 a febrero de 2015), el que corresponde a 45 especies (un anfibio, dos reptiles, 32 aves y 10 mamíferos, **Tabla N° 13-9**), la composición de especies de estas 18 campañas del PMB, desde agosto 2016 a marzo 2025, es mayor (45 versus 68, respectivamente), variando la proporción básicamente para la clase aves (32 versus 49, con las 16 nuevas especies registradas a la fecha). La información de 2006 no corresponde a datos propios de la Línea de Base del Proyecto, sino que obedece a estudios más generales citados en el PMB (SQM 2006-2012 y MEL 2009), y su inclusión tuvo por objetivo complementar la riqueza y composición conocida de especies en el área de estudio, llegando con esta información a una riqueza total de 62 especies, pero que no se utilizan directamente para efectos comparativos de abundancia.

Tabla N° 13-9. Comparación de la riqueza de especies (por clase) entre las campañas de estudio de Línea Base, con las campañas de invierno 2016, verano e invierno 2017, 2018, 2019, invierno 2020, verano e invierno 2021, 2022, 2023, 2024 y verano 2025. (En toda el área de estudio).

CLASE	CAMPAÑAS																								
	LÍNEA BASE (PMB)						TOTAL ACUMULADO		ACTUAL																
	Jun/Sep 2008	mar-10	sept-13	abr-14	jul-14	feb-15	Jun 08-Feb 15	+ Otros estudios (2006-2015)*	ago-16	mar-17	ago-17	abr-18	ago-18	abr-19	sept-19	ago-20	abr-21	sept-21	mar-22	ago-22	mar-23	oct-23	mar-24	ago-24	mar-25	Ago 2016-Mar 2022
Anfibios	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Reptiles	1	2	0	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
Aves	12	6	21	14	10	10	32	49	15	19	17	27	21	21	18	22	21	19	10	16	15	15	17	18	13	49
Mamíferos	5	4	4	5	5	6	10	10	5	6	4	6	5	8	6	5	5	5	6	9	8	8	10	9	9	16
TOTAL	**18**	**12**	**26**	**21**	**17**	**17**	**45**	**62**	**22**	**27**	**23**	**36**	**28**	**31**	**26**	**29**	**28**	**26**	**18**	**27**	**25**	**25**	**29**	**28**	**24**	**68**

*Incluye además dos estudios adicionales (i.e. SQM 2006-2012 y MEL 2009), cuya información está contenida en PMB (2015). Nota: en verano 2020, no se pudo realizar el monitoreo, por la pandemia de COVID 19.

Fuente: Elaboración Propia en base a PMB (2015).

A una escala menor o local, de riqueza de especies por sistemas, como a) La Punta y La Brava y b) Peine (Salada, Saladita e Interna, como los sistemas probablemente más sensibles, como ambientes acuáticos), en el total acumulado la composición de especies en ambos sistemas es bastante similar. En términos referenciales, a partir de la revisión de lo presentado en Adenda 5, Anexo 2 del EIA, para el sistema La Punta y La Brava, en el total acumulado histórico (entre 2008 y 2015, en todas las estaciones, y anterior a estos monitoreos), se han registrado 14 especies de aves, un mamífero y un reptil, mientras que en el PMB las 16 campañas de invierno 2016 a verano 2024 se han observado 26 especies (un reptil, 22 aves y tres mamíferos; **Tabla N° 13-6**).

Igualmente, a partir de la línea de base de la Adenda 5, Anexo 2 del EIA, el Sistema Peine (considerando sólo el ambiente humedal salar formado por las lagunas Salada, Saladita e Interna) presenta un total acumulado histórico (entre 2008 y 2015, en todas las estaciones) de 17 especies (un reptil y 16 aves), mientras que en el PMB las 18 campañas de invierno 2016 a verano 2025 se registraron 17 especies (un reptil, 15 aves y un mamífero; **Tabla N° 13-6**), pese a que en los cinco último veranos, y los últimos dos inviernos, Peine fue monitoreado parcialmente debido a restricciones de acceso. Considerar, además que en el Sistema Peine también se encuentra un ambiente terrestre (matorral), el cual presenta especies identificadas en el monitoreo, éste no fue considerado en la LB, por lo que no se puede comparar. Como es esperable, la riqueza de ambos sistemas de las campañas de invierno 2016 hasta el verano 2025 es muy similar (Peine) o mayor (La Punta y La Brava) al total acumulado en varias campañas anteriores; con excepción de varias especies nuevas para el área, y que no habían sido registradas previo al año 2016, como el pato jergón chico (observado en verano 2018 en Peine), el piuquén (observado en verano 2018 en La Punta y la Brava), el pitotoy chico (observado en verano 2018 en La Punta y la Brava), la tagua andina y tagua gigante (ambas observadas en invierno 2017 en Peine y La Punta y la Brava, respectivamente), la garza grande (observada en verano 2017 en La Punta y la Brava), la tagua cornuda y el blanquillo (observadas en invierno de 2018 en La Punta y La Brava) y la garza azul (registrada en verano 2019 en Peine).

En la escala de riqueza por campaña estacional, y comparando el registro de las campañas de invierno 2016 a invierno 2024, con la última campaña de invierno de líneas de base anterior (julio 2014), se observa que la riqueza total de los inviernos del monitoreo es mayor a la registrada en la línea base, con 17 especies (dos reptiles, 10 aves y cinco mamíferos). Así, la riqueza de los inviernos de monitoreo (PMB) varían entre un mínimo de 22 especies, en invierno de 2016 (de las cuales dos son reptiles, 15 son aves y cinco son mamíferos), hasta un máximo de 29 especies, en invierno 2020 (dos reptiles, 22 aves y cinco mamíferos). Considerando la identidad de las especies, es originalmente la misma, por lo que la composición de fauna es similar, siendo en este caso la fauna de invierno de Línea de Base (2014) un subconjunto de la fauna registrada en los inviernos recientes de monitoreo (**Tabla N° 13-9**).

En la otra estación, comparando el registro de las campañas de verano del PMB (2017 a verano 2025), con la última campaña de verano de líneas de base anterior (verano 2015), se observa que la riqueza total de los veranos del monitoreo es mayor a la registrada en

febrero de 2015, con 17 especies (un reptil, 10 aves y seis mamíferos). Así, los valores del monitoreo de verano varían entre un mínimo de 18 especies, en verano de 2022 (con dos reptiles, 10 aves y seis mamíferos), hasta un máximo de 36 especies, en verano 2018 (un anfibio, dos reptiles, 27 aves y seis mamíferos; **Tabla N° 13-9**). Cabe señalar que el valor de riqueza para los veranos de 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, no abarca todo lo que pudiera esperarse, dado que la diferencia está principalmente en aves, ya que como se ha mencionado no se pudo acceder a todos los puntos de monitoreo, sin embargo, se observa que se mantiene superior al valor de verano 2015 (LB). La identidad de las especies es inicialmente la misma, por lo que la composición de fauna es similar, siendo en este caso la fauna de verano de Línea de Base (2015) un subconjunto de la fauna registrada en los veranos recientes de monitoreo.

Específicamente, en invierno, para las aves del sistema acuático de La Punta y La Brava, la riqueza de especies observada en todos los inviernos de monitoreo es mayor a la observada en invierno de 2014 (con seis especies), y los valores varían entre un mínimo de nueve especies (invierno 2016) hasta un máximo de 13 especies, en invierno 2017; **Tabla N° 13-10**). Similar resultado se observa en el Sistema Peine (sólo las lagunas Salada, Saladita e Interna), con seis aves en invierno 2014 y seis a 10 especies en los ocho inviernos de monitoreo (**Tabla N° 13-10**). 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 2024, y el caso más interesante se observa en La Punta y La Brava, con la ausencia de ejemplares de parina grande, y en menor medida, de gaviota andina, en 2014; mientras que en las lagunas Salada, Saladita e Interna, destaca la ausencia de pollito de mar tricolor, playero de Baird y gaviota andina en 2014 (**Tabla N° 13-10**).

En verano, para las aves, en los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine, la riqueza de especies observada en las estaciones estivales del monitoreo es mayor, en general, a la observada en verano de 2015 (con siete especies), y los valores de monitoreo varían entre un mínimo de siete especies (verano 2022) a un máximo de 14 especies, en verano de 2018 (**Tabla N° 13-10**). Cabe recordar que en verano 2020 no se efectuó muestreo, debido a la pandemia por COVID-19 y que las campañas de verano 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025 no cuentan con la totalidad de puntos de muestreo. Con relación a la composición de especies, y para ambos sistemas, las especies de aves registradas en 2015 son un subconjunto de las observadas en 2017 a 2025, y tal vez el caso más interesante es la ausencia de ejemplares de parina chica, pollito de mar tricolor, gaviota andina y pato juarjual en 2015 (**Tabla N° 13-10**).

Tabla N° 13-10. 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 2025).

Nombre común	Humedal Salar																													
	La Punta-La Brava										Peine (Salada, Saladita e Interna)										La Punta-La Brava y Peine									
	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2021	Invierno 2023	Invierno 2024	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2022	Invierno 2023	Invierno 2024	Verano 2015 (PMB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020	Verano 2021	Verano 2022	Verano 2023	Verano 2024	Verano 2025
Aguilucho común								X																						
Pato colorado																					X									
Pato jergón chico										X													X							
Pato juarjual	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X			X	X	X		X		X	X	X
Piuquén																							X							
Chorlo de la puna	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Gaviota andina		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X		X				
Caití	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X
Playero de Baird	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	
Pollito de mar tricolor			X		X	X	X					X				X						X	X			X			X	X
Pitotoy chico																X							X					X		X
Tagua andina													X																X	
Tagua cornuda				X																										
Tagua gigante			X																											
Golondrina bermeja																								X						
Golondrina de dorso negro			X		X	X	X		X	X		X	X	X	X	X		X	X							X	X			

Nombre común	Humedal Salar																													
	La Punta-La Brava										Peine (Salada, Saladita e Interna)										La Punta-La Brava y Peine									
	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2021	Invierno 2023	Invierno 2024	Invierno 2014 (PMB)	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019	Invierno 2020	Invierno 2021	Invierno 2022	Invierno 2023	Invierno 2024	Verano 2015 (PMB)	Verano 2017	Verano 2018	Verano 2019	Verano 2020	Verano 2021	Verano 2022	Verano 2023	Verano 2024	Verano 2025
Bailarín chico común		X	X	X	X	X			X	X												X	X			X				
Colegial del norte			X	X		X	X	X													X	X	X	X			X	X	X	X
Garza azul																								X						
Garza grande																						X								
Flamenco andino o Parina grande		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Flamenco de James o Parina chica	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X			X		X	X
Flamenco chileno	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Blanquillo				X																										
TOTAL POR AMBIENTE	**6**	**9**	**13**	**12**	**11**	**12**	**10**	**10**	**10**	**9**	**6**	**9**	**9**	**9**	**9**	**10**	**7**	**9**	**9**	**6**	**7**	**12**	**14**	**11**	**Ne**	**10**	**7**	**8**	**10**	**9**

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) en las campañas de verano de 2021, 2023, 2024 y 2025 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) en la campaña de 2022 no se consideran 3 puntos (lagunas Salada y Saladita), ya que no se tuvo acceso por restricciones de acceso por parte de la Comunidad.

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de la composición de especies de reptiles, se registran dos especies en las campañas de monitoreo estivales (2017 a 2019, 2021 a 2025): la lagartija de Constanza y lagartija de Fabián, mientras que, en la campaña de Línea de Base de febrero de 2015, se registró solo la lagartija de Fabián. En invierno, las dos especies registradas en las campañas de invierno 2016 a 2023 (lagartija de Constanza y lagartija de Fabián) son las mismas observadas en las campañas de Línea de Base de 2014 (dos campañas: Abril y Julio; **Tabla N° 13-11**), por lo que se mantiene dentro de lo observado en LB**.**

Algo similar ocurre para las especies de mamíferos, con igual o mayor riqueza de especies en las campañas de verano de monitoreo (cinco a 10 especies) que en la campaña de Línea de Base de verano de 2015 (cinco especies), mientras que en los inviernos la riqueza del monitoreo (con cuatro a nueve especies) es similar o mayor a la Línea de Base de 2014 (cinco especies). Algunas especies son compartidas en casi todos los periodos, como el zorro culpeo, el tuco-tuco de Atacama y los roedores ratón orejudo amarillo (*Phyllotis xanthopygus*) y ratón andino (*Abrothrix andina*), además del burro (*Equus asinus*). Para los veranos, existen algunas diferencias entre verano de 2015 (LB) con el monitoreo, como la presencia de guanaco (*Lama guanicoe*, verano 2017), puma (*Puma concolor*, verano 2018), lauchita de pie sedoso (*Eligmodontia puerulus*), yaca de la puna (*Thylamys pallidior,* veranos 2019 y 2024), y vicuña (*Vicugna Vicugna*, en verano 2022). En invierno, hay leves diferencias, como la presencia de la yaca del norte y la ausencia de burros y vicuñas, en las campañas de 2014, y la presencia de la chinchilla cordillerana en 2022 y 2024 (**Tabla N° 13-11**).

Tabla N° 13-11. 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 2025).

CAMPAÑA																				
CLASE **Nombre Común**	**2014 (PMB)***	**Verano 2015 (PMB)**	**Invierno 2016**	**Verano 2017**	**Invierno 2017**	**Verano 2018**	**Invierno 2018**	**Verano 2019**	**Invierno 2019**	**Verano 2020**	**Invierno 2020**	**Verano 2021**	**Invierno 2021**	**Verano 2022**	**Invierno 2022**	**Verano 2023**	**Invierno 2023**	**Verano 2024**	**Invierno 2024**	**Verano 2025**
ANFIBIOS																				
Sapo espinoso						X														
Subtotales anfibios	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**Ne**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
REPTILES																				
Lagartija de Constanza	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lagartija de Fabián	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X
Subtotales reptiles	**2**	**1**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**Ne**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**1**	**2**
MAMÍFEROS																				
Cabra																X	X		X	X
Llama															X	X	X	X	X	X
Guanaco				X											X		X	X		
Vicuña														X						
Perro															X			X		
Zorro culpeo	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zorro chilla								X							X			X	X	X
Puma						X														
Murciélago de Atacama																X				
Yaca del norte	X							X	X									X		
Burro		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Chinchilla cordillerana o de cola corta															X				X	X
Ratón andino	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lauchita de pie sedoso								X												
Ratón orejudo amarillo	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X
Chululo, Tuco-tuco de Atacama	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Subtotales mamíferos	**5**	**5**	**5**	**6**	**4**	**6**	**5**	**8**	**6**	**Ne**	**5**	**5**	**5**	**6**	**9**	**8**	**8**	**10**	**9**	**9**
RIQUEZA TOTAL	**7**	**6**	**7**	**8**	**6**	**9**	**7**	**10**	**8**	**Ne**	**7**	**7**	**7**	**8**	**11**	**10**	**10**	**12**	**10**	**11**

El asterisco (*) indica que se incluyen dos campañas (abril y julio). (**) En verano de 2020 no se efectuó muestreo, por la pandemia COVID-19. Ne = No evaluado

Fuente: Elaboración Propia.

13.2.8.2 Abundancia

- ***Aves***

Para las aves, en la primera escala de comparación, agrupando todos los sistemas lagunares (La Punta-La Brava-Peine) y considerando tanto las 18 campañas de monitoreo como las dos campañas de Línea de Base, se han registrado 25 especies en total (**Tabla N° 13-12)**. De ellas, sólo una especie (el pato colorado) se ha registrado en la Línea de Base y no en el monitoreo (con dos ejemplares solamente, en verano 2015; **Tabla N° 13-12**). Por el contrario, 16 especies se han observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con tres especies numéricamente abundantes, como el pollito de mar tricolor (con rango entre cero a 44 ejemplares), la gaviota andina (cero a 32 individuos) y el bailarín chico (cero a 14 ejemplares), mientras que el resto son muy escasas (uno a cuatro individuos; **Tabla N° 13-12**). Finalmente, ocho especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan los flamencos, quienes dominan numéricamente los muestreos (**Tabla N° 13-12**).

Tabla N° 13-12. Comparación de la abundancia de aves en los sistemas lagunares (La Punta-La Brava y Peine), para los periodos de Línea de Base y monitoreo.

SISTEMAS LAGUNARES (LA PUNTA - LA BRAVA Y PEINE)																				
Nombre Común	Línea Base		Monitoreos																	
	Invierno 2014	Verano 2015	Invierno 2016	Verano 2017	Invierno 2017	Verano 2018	Invierno 2018	Verano 2019	Invierno 2019	Verano 2020	Invierno 2020	Verano 2021	Invierno 2021	Verano 2022	Invierno 2022	Verano 2023	Invierno 2023	Verano 2024	Invierno 2024	Verano 2025
Aguilucho común	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Pato colorado	0	2	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pato jergón chico	0	0	0	0	0	3	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Pato juarjual	8	0	7	4	6	11	6	4	4		5	10	5	0	4	2	6	4	0	1
Piuquén	0	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chorlo de la puna	5	9	20	26	15	50	28	31	45		19	37	9	16	16	5	13	16	16	13
Gaviota andina	0	0	6	3	11	1	12	5	32		14	1	16	0	22	0	15	0	10	0
Caití	16	2	15	14	19	33	14	40	14		9	2	14	0	10	5	17	7	11	10
Playero de Baird	1	22	5	23	18	19	13	28	42		71	38	50	29	9	23	33	55	6	11
Pollito de mar tricolor	0	0	4	44	2	42	0	0	11		21	10	12	0	0	0	0	3	0	0
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	3	0	0	0		1	0	0	0	0	10	0	0	0	2
Tagua andina	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tagua cornuda	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tagua gigante	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Golondrina de dorso negro	0	0	3	0	4	0	3	0	5		5	1	2	8	1	0	10	0	4	0
Bailarín chico común	0	0	2	4	4	14	7	0	4		1	3	0	0	0	0	2	0	2	0
Colegial del norte	0	2	0	2	2	2	1	4	0		2	0	3	2	4	1	0	3	0	3
Dormilona chica	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Garza azul	0	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Garza grande	0	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

SISTEMAS LAGUNARES (LA PUNTA - LA BRAVA Y PEINE)																				
Nombre Común	**Línea Base**		**Monitoreos**																	
	Invierno 2014	**Verano 2015**	**Invierno 2016**	**Verano 2017**	**Invierno 2017**	**Verano 2018**	**Invierno 2018**	**Verano 2019**	**Invierno 2019**	**Verano 2020**	**Invierno 2020**	**Verano 2021**	**Invierno 2021**	**Verano 2022**	**Invierno 2022**	**Verano 2023**	**Invierno 2023**	**Verano 2024**	**Invierno 2024**	**Verano 2025**
Flamenco andino o Parina grande	135	32	262	92	156	113	172	202	212		119	10	358	12	218	7	95	14	16	1
Flamenco de James o Parina chica	79	0	39	11	6	17	51	50	50		31	0	40	19	69	0	33	2	29	1
Flamenco chileno	32	15	63	46	125	67	53	69	67		67	22	67	20	68	37	95	22	24	12
Blanquillo	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	**276**	**84**	**426**	**270**	**370**	**376**	**362**	**435**	**486**	**Ne**	**365**	**134**	**576**	**106**	**422**	**90**	**320**	**126**	**120**	**54**

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en las campañas de verano de 2021, 2023, 2024 y 2025 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.

Fuente: Elaboración propia

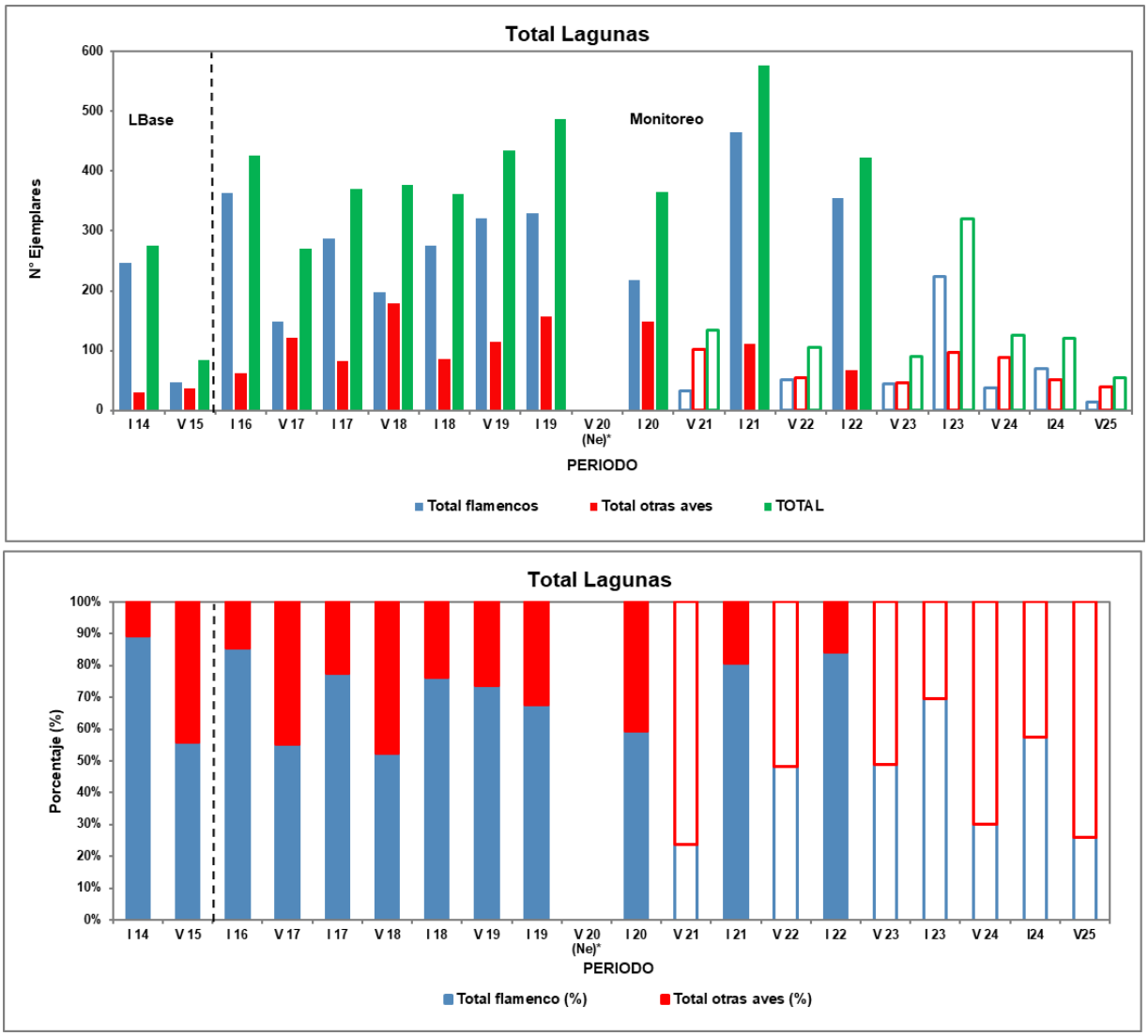
A continuación, se agrupan las abundancias de los flamencos en relación con el resto de las aves. Esto se analiza dado que estas tres especies acuáticas son, por una parte, las más importantes numéricamente, y por otra, todas se consideran "*bajo amenaza"*, (dos como Vulnerables y una Casi Amenazada).

En relación con la abundancia absoluta, se observa una variación estacional irregular: en la Línea de Base como en el primer año de monitoreo (invierno 2016 y verano 2017), las abundancias totales son mayores en invierno que en verano, mientras que en el segundo periodo anual de monitoreo (invierno 2017 y verano 2018), dichas abundancias totales son similares entre sí. En el tercer periodo anual de monitoreo (invierno 2018 y verano 2019), las abundancias totales se invierten, siendo ligeramente mayor en verano que en invierno. En el cuarto año no hubo campaña verano 2020, en contexto del inicio de la pandemia COVID 19, por lo que no se realiza comparación. Desde el quinto al octavo año (invierno 2020 a verano 2025), no se pueden realizar comparaciones rigurosas, debido al muestreo incompleto (**Figura N° 13-10**).

Por otra parte, los flamencos son numéricamente dominantes en todas las campañas (aunque mucho mayor en invierno que en verano) y tanto en la línea de Base como en el monitoreo (**Figura N° 13-10**). Las abundancias totales de las aves son mayores en todo el periodo de monitoreo que en las dos campañas de Línea de Base. Así, en el monitoreo las abundancias totales varían entre 134 a 576 ejemplares, mientras que en Línea de Base los valores oscilaron entre 84 y 276 ejemplares. En particular, para los flamencos (y excluyendo los veranos 2021 a 2025, en los que no se pudieron completar el total de estaciones de monitoreo), también las abundancias totales son mayores en el monitoreo (149 a 465) que en la Línea de Base (47 a 246). En abundancia relativa (y considerando todas las campañas), los flamencos varían en un rango entre 24% a 74% en veranos, mientras que aumentan a un rango entre 58% a 85% aproximadamente, en inviernos (**Figura N° 13-10**).

En resumen, analizando a los sistemas lagunares como un todo, la riqueza y abundancia de aves acuáticas muestran resultados similares (e incluso mayores) en el monitoreo en comparación a la Línea de Base.

Figura N° 13-10. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.



(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en las campañas de verano de 2021, 2023, 2024 y 2025 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.
Fuente: Elaboración Propia.

En el caso del análisis de **abundancia de aves separado por sector** (en el que se incluye como referencia histórica la campaña de Línea de Base de invierno 2014, ya que es la única disponible para comparar, en términos de los dos sistemas hidrológicos analizados independientemente), para el **sistema lagunar Peine** (lagunas Salada, Saladita e Interna), se han registrado 15 especies en total (**Tabla N° 13-13**). De ellas, nueve especies se han

observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con dos especies más abundantes: el pollito de mar tricolor (con rango entre cero a 42 ejemplares) y el playero de Baird (cero a 29 ejemplares), mientras que el resto son muy escasas (cero a cinco individuos; **Tabla N° 13-13**). Finalmente, otras seis especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan los flamencos (**Tabla N° 13-13**). En general, en las lagunas de Peine, la abundancia de aves es mayor en el monitoreo PMB (194 a 387 individuos) que en la Línea Base (210 individuos). Cabe recordar la ausencia de muestreo en las lagunas de Peine en verano 2020 (por la pandemia) y veranos 2021, 2023, 2024 y 2025 (por permiso de acceso), además de no poder completar los monitoreos para el verano 2022, por el mismo motivo.

Tabla N° 13-13. Comparación de la abundancia de aves en el sistema lagunar Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), para los periodos de Línea de Base y monitoreo.

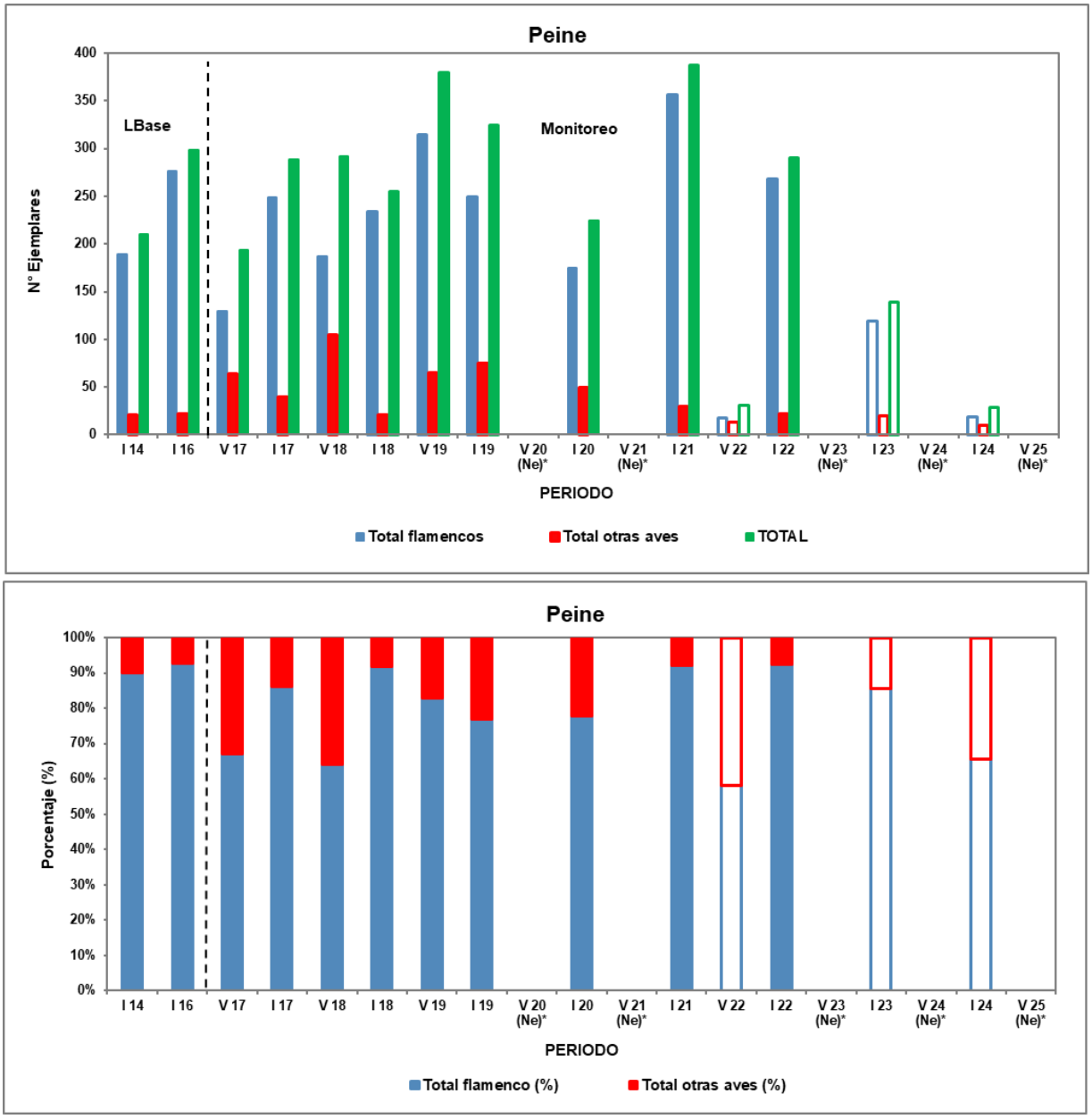
SISTEMA LAGUNAR PEINE (LAGUNAS SALADA - SALADITA - INTERNA)																			
Nombre Común	**Línea Base**	**Monitoreos**																	
	Invierno 2014	**Invierno 2016**	**Verano 2017**	**Invierno 2017**	**Verano 2018**	**Invierno 2018**	**Verano 2019**	**Invierno 2019**	**Verano 2020**	**Invierno 2020**	**Verano 2021**	**Invierno 2021**	**Verano 2022**	**Invierno 2022**	**Verano 2023**	**Invierno 2023**	**Verano 2024**	**Invierno 2024**	**Verano 2025**
Pato jergón chico	0	0	0	0	3	0	0	0		0		0	0	0		0		0	
Pato juarjual	4	1	2	3	4	2	4	2		0		2	0	2		1		0	
Chorlo de la puna	3	6	14	7	14	5	7	27		4		0	9	6		2		3	
Gaviota Andina	0	2	0	3	0	1	2	5		4		1	0	8		2		0	
Caití	14	6	12	6	33	7	38	9		1		8	0	4		5		1	
Playero de Baird	0	0	12	17	9	3	12	29		24		19	4	1		9		6	
Pollito de mar tricolor	0	4	24	0	42	0	0	0		15		0	0	0		0		0	
Pitotoy chico	0	0	0	0	0	0	0	0		1		0	0	0		0		0	
Tagua andina	0	0	0	1	0	0	0	0		0		0	0	0		0		0	
Golondrina de dorso negro	0	3	0	3	0	3	0	3		1		0	0	1		1		0	
Colegial del norte	0	0	0	0	0	0	1	0		0		0	0	0		0		0	
Garza azul	0	0	0	0	0	0	1	0		0		0	0	0		0		0	
Flamenco andino o Parina grande	135	219	85	145	112	160	200	163		105		265	9	182		47		8	
Flamenco de James o Parina chica	40	11	11	0	17	35	49	48		29		40	8	38		28		5	
Flamenco chileno	14	47	34	104	58	39	66	38		41		52	1	48		44		6	
TOTAL	**210**	**299**	**194**	**289**	**292**	**255**	**380**	**324**	**Ne**	**225**	**Ne**	**387**	**31**	**290**	**Ne**	**139**	**Ne**	**29**	**Ne**

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) En las campañas de verano 2021, 2023, 2024 y 2025 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) En la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine. Ne = No evaluado. Fuente: Elaboración Propia.

Al comparar las abundancias de los flamencos y el resto de las aves, se observa una variación estacional irregular de inviernos de un año versus veranos del año siguiente: las abundancias totales son mayores (invierno 2016 y verano 2017), similares (invierno 2017 y verano 2018) o menores (invierno 2018 y verano 2019); no se realiza una comparación para los años siguientes, dado que los datos se encuentran incompletos para estas temporadas. Por otra parte, los flamencos son numéricamente dominantes en todas las campañas, independiente de la estación y tanto en la Línea de Base como en el monitoreo (**Figura N° 13-11**). Las abundancias totales de las aves son mayores en el monitoreo (salvo verano 2017) que la campaña de Línea de Base, descontando la campaña de verano 2022 que solo se pudieron realizaron dos de los cinco puntos de monitoreo. Así, en el monitoreo las abundancias totales varían entre 194 a 387 ejemplares, mientras que en Línea de Base el valor es de 210 ejemplares. Para los flamencos, también las abundancias totales son mayores en el monitoreo (130 a 357) que en la Línea de Base (189), excluyendo verano 2022 al no contar con la totalidad de puntos de monitoreo. En abundancia relativa, los flamencos varían entre un rango de cerca de 58% (en verano 2022), a un máximo de 93% (en invierno 2016; **Figura N° 13-11**).

Por lo tanto, analizando al sistema lagunar de Peine (lagunas de Peine), la riqueza y abundancia de aves acuáticas muestran resultados relativamente similares e incluso mayores entre el seguimiento PMB en relación con la Línea de Base.

Figura N° 13-11. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema lagunar Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.



(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (**) En las campañas de verano 2021, 2023, 2024 y 2025 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) En la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine. Ne = No evaluado.

Fuente: Elaboración propia.

Para el **sistema lagunar de La Punta y La Brava** (y considerando los monitoreos de verano y el único de línea de base disponible, de invierno 2014), se han registrado 23 especies en total (**Tabla N° 13-14**). De ellas, 17 especies se han observado en el monitoreo y no en la Línea de Base, con cuatro especies más abundantes: la parina grande (con rango entre uno a 93 ejemplares), el pollito de mar tricolor (entre cero a 20 individuos), el bailarín chico (cero a 14 ejemplares) y la gaviota andina (entre cero a 27 individuos), mientras que el resto son muy escasas (uno a 10 individuos; **Tabla N° 13-14**). Finalmente, otras seis especies se han registrado tanto en la Línea de Base como en el monitoreo, entre los cuales destacan las otras dos especies de flamencos, la parina chica y el flamenco chileno (**Tabla N° 13-14**).

En general, en las lagunas de La Punta y La Brava, la abundancia de aves es mayor en el seguimiento PMB (54 a 189 individuos) que en la Línea Base (66 individuos; **Tabla N° 13-14**).

Tabla N° 13-14. Comparación de la abundancia de aves en el sistema lagunar La Punta y La Brava, para los periodos de Línea de Base y monitoreo.

SISTEMA LAGUNAR LA PUNTA Y LA BRAVA																			
Nombre Común	Línea Base	Monitoreos																	
	Inv 2014	Inv 2016	Ver 2017	Inv 2017	Ver 2018	Inv 2018	Ver 2019	Inv 2019	Ver 2020 *	Inv 2020	Ver 2021	Inv 2021	Ver 2022	Inv 2022	Ver 2023	Inv 2023	Ver 2024	Inv 2024	Ver 2025
Aguilucho común	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Piuquén	0	0	0	0	1	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pato juarjual	4	6	2	3	7	4	0	2		5	10	3	0	2	2	5	4	0	1
Pato jergón chico	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Chorlo de la puna	2	14	12	8	36	23	24	18		15	37	9	7	10	5	11	16	13	13
Gaviota andina	0	4	3	8	1	11	3	27		10	1	15	0	14	0	13	0	10	0
Caití	2	9	2	13	0	7	2	5		8	2	6	0	6	5	12	7	10	10
Playero de Baird	1	5	11	1	10	10	16	13		47	38	31	25	8	23	24	55	0	11
Pollito de mar tricolor	0	0	20	2	0	0	0	11		6	10	12	0	0	0	0	3	0	0
Pitotoy chico	0	0	0	0	3	0	0	0		0	0	0	0	0	10	0	0	0	2
Tagua andina	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Tagua cornuda	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tagua gigante	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Golondrina bermeja	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Golondrina de dorso negro	0	0	0	1	0	0	0	2		4	1	2	8	0	0	9	0	4	0
Bailarín chico común	0	2	4	4	14	7	0	4		1	3	0	0	0	0	2	0	2	0
Colegial del norte	0	0	2	2	2	1	3	0		2	0	3	2	4	1	0	3	0	3
Dormilona chica	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Garza grande	0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flamenco andino o Parina grande	0	43	7	11	1	12	2	49		14	10	93	3	36	7	48	14	8	1

SISTEMA LAGUNAR LA PUNTA Y LA BRAVA																			
Nombre Común	**Línea Base**	**Monitoreos**																	
	Inv 2014	**Inv 2016**	**Ver 2017**	**Inv 2017**	**Ver 2018**	**Inv 2018**	**Ver 2019**	**Inv 2019**	**Ver 2020 ***	**Inv 2020**	**Ver 2021**	**Inv 2021**	**Ver 2022**	**Inv 2022**	**Ver 2023**	**Inv 2023**	**Ver 2024**	**Inv 2024**	**Ver 2025**
Flamenco de James o Parina chica	39	28	0	6	0	16	1	2		2	0	0	11	31	0	5	2	24	1
Flamenco chileno	18	16	12	21	9	14	3	29		26	22	15	19	20	37	51	22	18	12
Blanquillo	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	**66**	**127**	**76**	**81**	**84**	**107**	**55**	**162**	**Ne**	**140**	**134**	**189**	**75**	**132**	**90**	**181**	**127**	**91**	**54**

(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado.

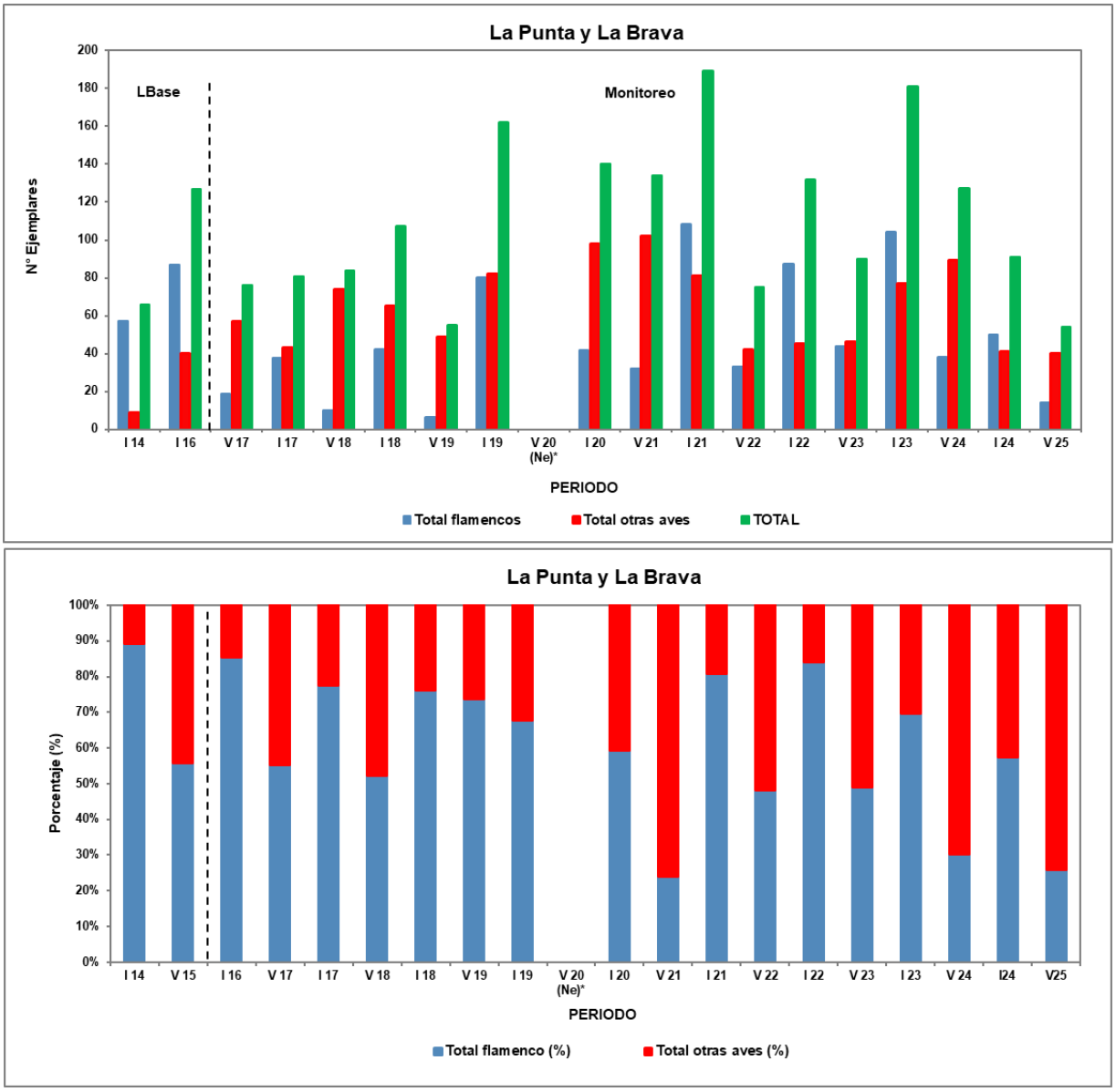
Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las abundancias de los flamencos y el resto de las aves, existe una variación estacional, donde la abundancia, en general, es mayor en inviernos que en veranos (especialmente para los flamencos, aunque con valores absolutos mucho menores que en Peine; **Figura N° 13-12**). Por otra parte, los flamencos son dominantes sólo en la Línea de Base y en cinco campañas de monitoreo (inviernos 2016, 2021, 2022, 2023 y 2024), a diferencia de las otras 12 campañas de monitoreo (**Figura N° 13-12**). 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 54 a 189 ejemplares, mientras que en Línea de Base el valor es de 66 ejemplares. Sin embargo, para los flamencos, las abundancias totales son mayores en los monitoreos de invierno 2016 (87 individuos), invierno 2019 (80 ejemplares), invierno 2021 (108 ejemplares), invierno 2022 (87 individuos) y en invierno 2023 (103 ejemplares), en comparación con la Línea de Base (57 ejemplares), mientras que en las otras campañas de monitoreo los valores son menores a la Línea de Base (seis a 44 ejemplares**; Figura N° 13-12**).

Cabe destacar que los valores absolutos de flamencos son bastante menores en La Punta y La Brava (decenas de ejemplares como máximo) en relación con sector de Peine (centenares de individuos). En abundancia relativa, los flamencos varían entre un mínimo de cerca de 23% (en verano 2021), a un máximo de más de un 86%, en invierno 2014 **(Figura N° 13-12**).

Por lo tanto, analizando al sistema lagunar de La Punta y La Brava, si bien la riqueza de aves es mayor en el monitoreo (PMB) que en la Línea de Base, las abundancias de aves acuáticas muestran resultados disímiles: son relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo y la Línea de Base, pero no ocurre lo mismo en el caso particular de los flamencos, con menores valores en el monitoreo que en la Línea de Base (excepto inviernos de 2016, 2019, 2021, 2022 y 2023).

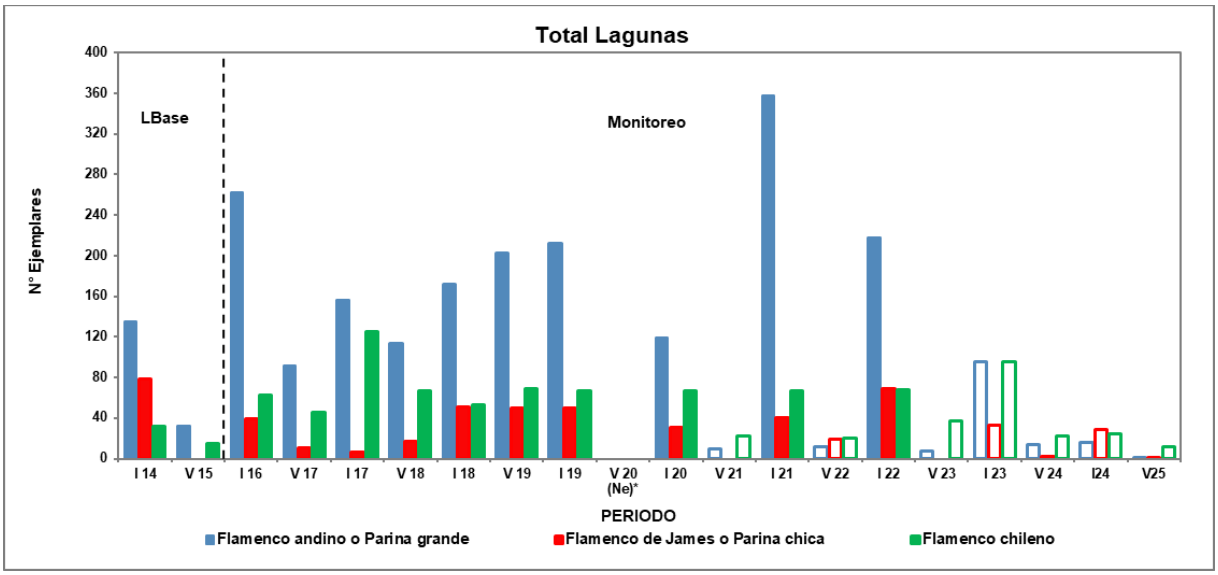
Figura N° 13-12. Comparación de abundancia absoluta (figura superior) y relativa (figura inferior) entre las especies de flamencos y las otras aves registradas en el sistema lagunar La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.



(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.
Ne = No evaluado.
Fuente: Elaboración propia.

A una escala más fina de análisis, comparando las tres especies de flamencos, en los sistemas lagunares de La Punta-La Brava y Peine considerados en conjunto, la especie dominante es la parina grande, y muestra mayores valores en el monitoreo (92 a 358 ejemplares, excluyendo veranos 2021, 2022, 2023,2024 y 2025, e inviernos 20203 y 2024, que no cuentan con muestreo completos) que en la Línea de base (32 a 135 ejemplares; **Figura N° 13-13**). El flamenco chileno, la segunda especie dominante, también muestra mayores valores en el monitoreo (46 a 125 ejemplares, excluyendo veranos e inviernos con muestreo incompleto) que en la Línea de base (15 a 32 ejemplares; **Figura N° 13-13**). Finalmente, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo (seis a 69, excluyendo muestreos incompletos) son menores al valor máximo de la Línea de Base (con rango entre cero a 79 ejemplares; **Figura N° 13-13**).

Figura N° 13-13. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en los sistemas lagunares de La Punta, La Brava y Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.

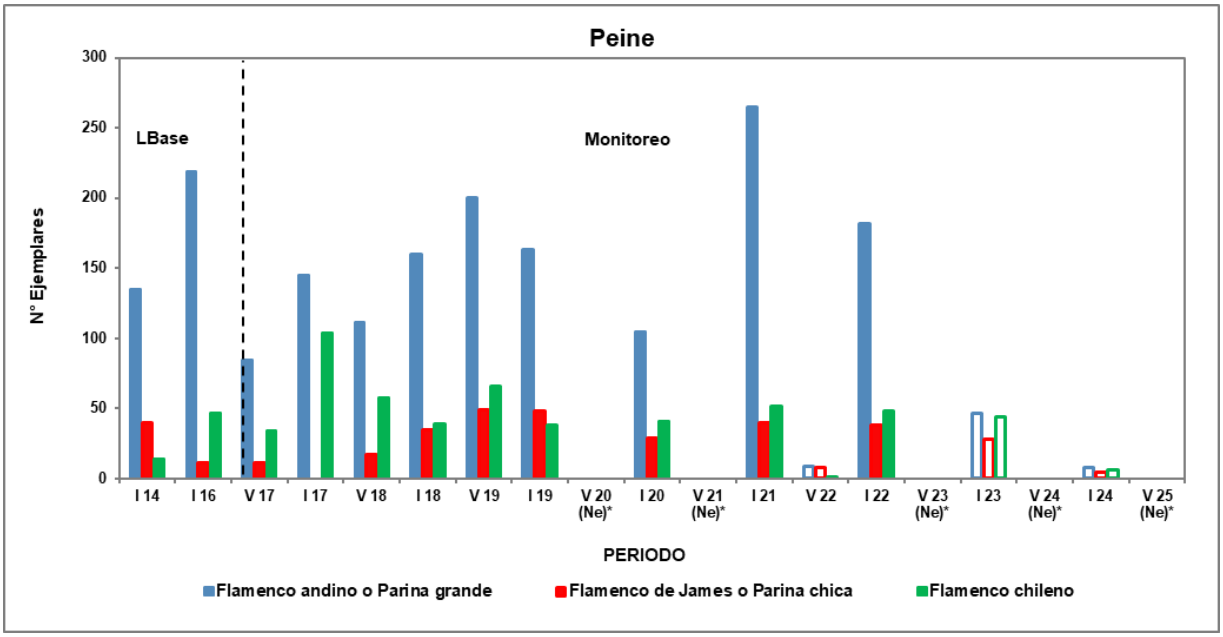


(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en las campañas de verano 2021, 2023, 2024 y 2025 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.
Fuente: Elaboración propia.

Para el sistema lagunar Peine, comparando las tres especies de flamencos, la especie dominante es la parina grande, y muestra mayores valores en el monitoreo (85 a 265 ejemplares, excluyendo los muestreos incompletos desde verano 2021) que en la Línea de base (135 individuos; **Figura N° 13-14**), sobre todo considerando los inviernos. El flamenco chileno, la segunda especie dominante, también muestra mayores valores en el monitoreo (34 a 104 ejemplares, excluyendo muestreos incompletos) que en la Línea de base (14 individuos; **Figura N° 13-14**). Finalmente, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores

del monitoreo en su mayoría (cero a 35) son menores a la Línea de Base (40 ejemplares, a excepción del verano 2019, invierno 2019 e invierno 2021, con 49, 48 y 40 individuos, respectivamente; **Figura N° 13-14.**).

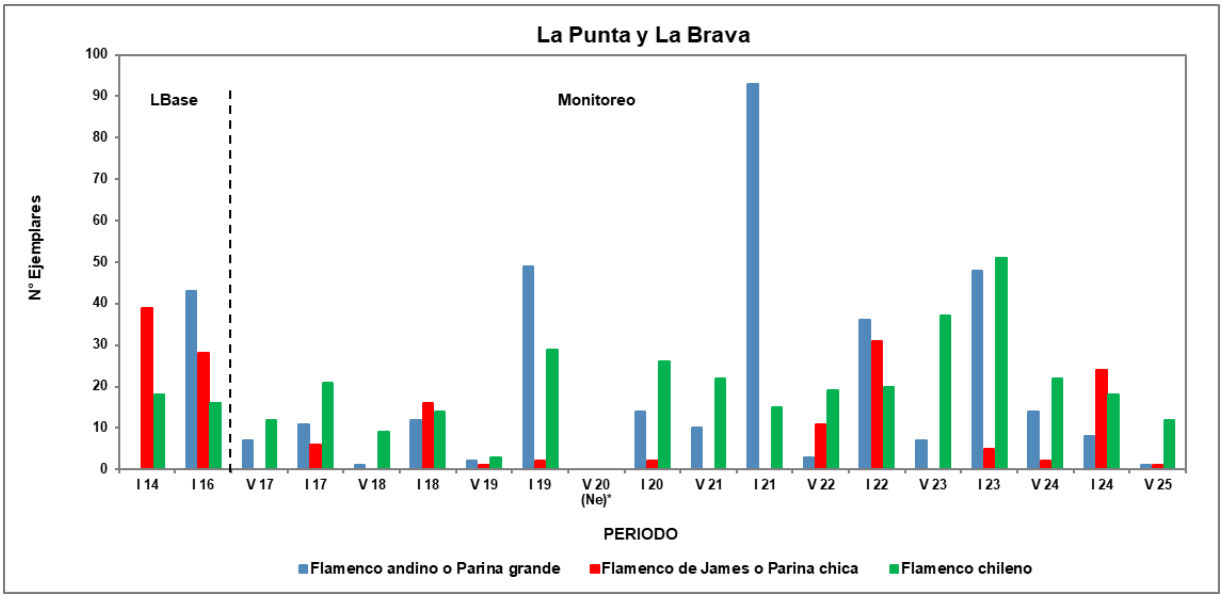
Figura N° 13-14. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema lagunar Peine. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.



(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en las campañas de verano 2021, 2023, 2024 y 2025 se efectuaron solo los puntos de La Punta-La Brava. (***) en la campaña de 2022 se efectuaron solo dos puntos de Peine.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para el sistema lagunar de La Punta y La Brava, comparando las tres especies de flamencos, la parina grande (no dominante en todas las campañas) muestra mayores valores en el monitoreo PMB (uno a 93 ejemplares) que en la Línea de base (sin registro; **Figura N° 13-15**). El flamenco chileno muestra valores disímiles en la mayor parte de los monitoreos (tres a 51 ejemplares), siendo mayor en nueve campañas respecto a la Línea de base (18 individuos; **Figura N° 13-15).** Por último, para la parina chica (la especie menos abundante), los valores del monitoreo (cero a 31) son menores a la Línea de Base (39 ejemplares; **Figura N° 13-15**).

Figura N° 13-15. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de flamencos registradas en el sistema lagunar de La Punta y La Brava. La línea punteada vertical separa el periodo de Línea de Base y Monitoreo.



Ne = No evaluado.
Fuente: Elaboración propia.

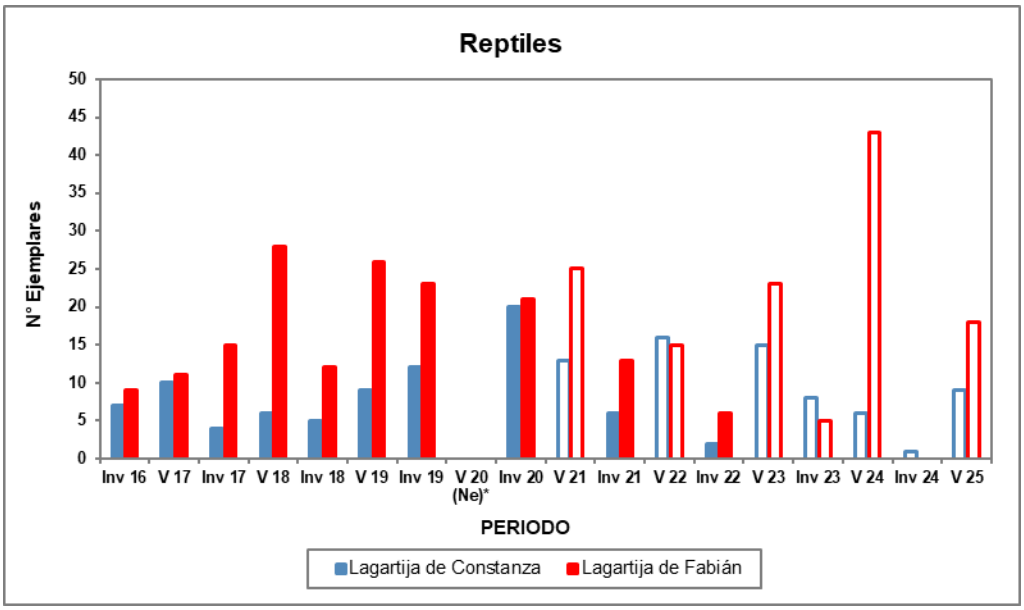
Por lo tanto, las variaciones de abundancia de las tres especies de flamencos muestran que la parina chica es la especie que podría estar disminuyendo sus abundancias, pese a observar un alza puntual en su abundancia en la campaña de invierno 2022, pero sólo en el sistema La Punta y La Brava, y con valores absolutos de pocos ejemplares, mientras que, en Peine, las abundancias son mayores en el monitoreo que en la Línea de Base.

En resumen, para ambos sistemas acuáticos y en los dos periodos analizados (Línea de Base y monitoreo PMB), las abundancias se comportan de forma variable: algunas especies aumentan (o aparecen nuevas especies en el monitoreo), otras tienden a disminuir (parina chica en La Punta y La Brava) y otras no muestran cambios notorios, pero se mantiene el patrón general de que las tres especies de flamencos son las que dominan numéricamente los salares en su conjunto. Cabe destacar que, a pesar de incluir 18 campañas, hay que considerar que las comparaciones estacionales no son rigurosamente equivalentes, ya que hay seis veranos irregulares (2020 por pandemia, además 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025 (y los inviernos de 2023 y 2024, sin muestreo o incompletos en las lagunas de Peine, donde generalmente se contabilizan centenares de flamencos).

- ***Reptiles***

En el caso de los reptiles, los valores de abundancia son poco comparables, ya que en invierno de 2014 se indica un valor de 5 ind/ha de cada una de las dos especies (*Liolaemus constanzae* en matorral, y *Liolaemus fabiani* en humedal), pero no se especifica el número de transectos realizados por ambiente, lo que dificulta la comparación. Sin embargo, comparando las abundancias absolutas de las dos especies en todo el monitoreo (y para toda el área de estudio), se observa que para la lagartija de Constanza (la especie menos dominante numéricamente), se han contabilizado entre uno a 20 ejemplares (con el mayor valor en invierno de 2020), mientras que en el caso de la lagartija de Fabián, su número ha oscilado entre ninguno a 43 ejemplares, con el máximo en verano de 2024 (**Figura N° 13-16**). Cabe destacar que en los veranos de 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, y en inviernos 2023 y 2024 no se muestrearon entre cinco y tres puntos en lagunas de Peine, lo que hace a esas campañas menos comparable a las otras (sobre todo, en relación con la abundancia de la lagartija de Fabián).

Figura N° 13-16. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de reptiles registradas en el área de estudio. Los valores son ejemplares contabilizados en 25 transectos para cada especie.

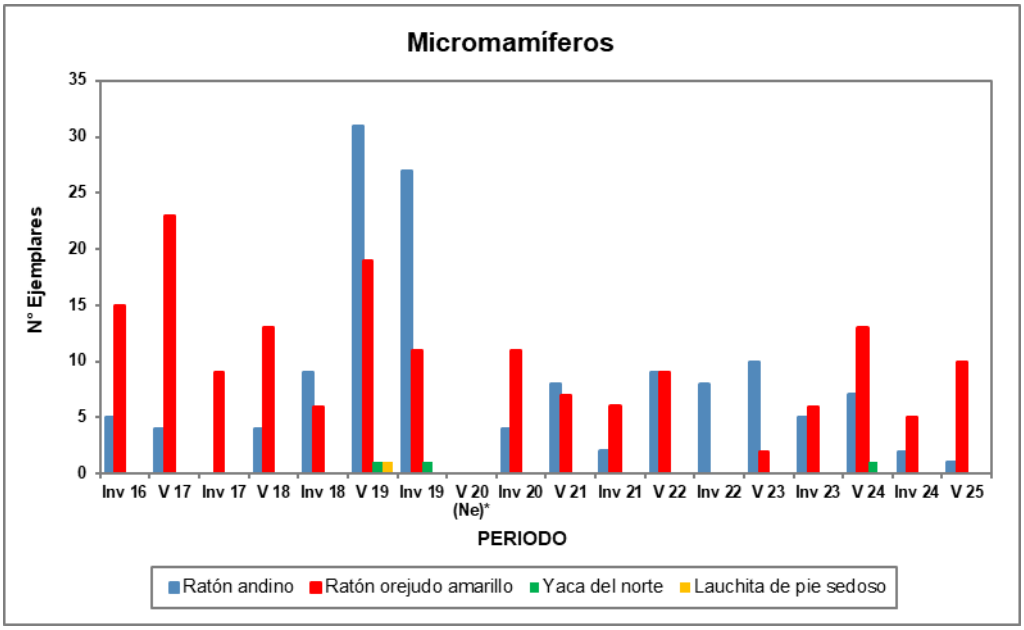


(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. Ne = No evaluado. (**) en las campañas de verano de 2021, 2023, 2024 y 2025 no se muestrearon 5 puntos en laguna Peine. (***) en la campaña de 2022 no se muestrearon 3 puntos en laguna Peine.
Fuente: Elaboración propia.

- ***Mamíferos***

Finalmente, para los mamíferos la comparación de abundancia no es aplicable, ya que para invierno de 2014 y verano 2015 se indica sólo la presencia de mamíferos (algunos incluso sólo mediante presencia indirecta), sin especificar la abundancia. En el caso específico de los micromamíferos, y al igual que los reptiles, comparando su abundancia a lo largo del monitoreo, se observa que el ratón andino ha variado su abundancia entre cero a 31 individuos, con una tendencia (aunque irregular) al aumento en las últimas campañas (hasta 2019 y entre verano 2021 a verano 2023, comparado a 2017 y 2018), mientras que el ratón orejudo amarillo ha variado entre cero a 23 ejemplares, con una tendencia estacional de mayores abundancias en los veranos (salvo en invierno 2020 y verano 2021), donde ocurre lo opuesto **(Figura N° 13-17)**.

Figura N° 13-17. Comparación de abundancia absoluta entre las especies de micromamíferos registradas en el área de estudio. Los valores son ejemplares capturados en 9 puntos de muestreo (con un total de 180 trampas por 3 noches).



(*) La campaña estival de 2020 no pudo ser realizada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.
Ne = No evaluado.
Fuente: Elaboración propia.

Si bien en las campañas de monitoreo se agregaron más estaciones de muestreo (nueve a las 16 propuestas por la RCA), las comparaciones son igualmente válidas y representativas, sobre todo para las aves en los sectores de las lagunas de La Punta y La Brava, y Peine (Salada,

Saladita e Interna), ya que en ellas (por ser lugares abiertos, planos y con baja cobertura vegetal), se realizó más bien un censo que un muestreo, lo que lo hace relativamente independiente del número de puntos (y por lo tanto, las comparaciones son válidas). Por otra parte, en los ambientes terrestres, efectivamente el aumentar el tamaño muestreal podría implicar un aumento de la probabilidad de registros nuevos, haciéndolo más representativo del área de estudio.

13.3 En relación con Tapetes Microbianos

13.3.1 Aspectos generales

Las diferentes tonalidades observadas en los tapetes se corresponden con diferentes grupos funcionales y comunidades microbianas que habitan estos ambientes y la estratificación responde a una organización dinámica entre estas distintas comunidades las cuales se benefician unas a otras. Este ordenamiento, va ligado, principalmente a la radiación solar, por lo que los organismos que realizan fotosíntesis (*i.e*. cianobacterias, microalgas, diatomeas) deben estar más expuestos a dicha radiación, por lo que se disponen principalmente en la parte superior de los tapetes (Stal, 2000).

La coloración verdosa es clásica de organismos fotosintéticos debido a la presencia de clorofila y/o bacterioclorofila (Madigan *et al*., 2009). Por tanto, el ordenamiento de las tonalidades observadas en los monitoreos (invierno 2024, verano 2025), y aproximado a lo descrito por Rodríguez-Aranda y Sanz-Montero, 2015, se corresponden con: i) verde y/o naranjo en la macro-zona Subsuperficial, ii) rosado y/o púrpura en la macro-zona Intermedia, y iii) marrón y/o verde claro en la macro-zona Profunda. La coloración verde, indicaría la presencia de organismos fotosintéticos oxigénicos tales como microalgas, diatomeas y cianobacterias, en este contexto, la coloración naranja, puede deberse a una producción de carotenoides que sirven como protección a la excesiva radiación UV detectada en el Salar de Atacama y que pueden ser producidos por organismos como las microalgas (Guedes *et al.,* 2011).

En la macro-zona Intermedia, se pueden observar tonalidades de color rosado o púrpura, lo cual se correspondería a bacterias púrpuras sulfúreas o bacterias rojas sulfúreas (i.e. autótrofas fotosintéticas anoxigénicas), las cuales tienen un metabolismo estrechamente ligado al ciclo del azufre ya que, a diferencia de los organismos fotosintéticos oxigénicos, estas bacterias producen fotosíntesis, pero no requieren agua, sino que azufre para realizar dicho proceso (Madigan *et al*., 2009, Gerardi y Lytle, 2015; Rogozin *et al.,* 2016). Estas bacterias, no necesitan de un ambiente totalmente aerobio-oxigénico, por lo que se ubican en la mitad de la estratificación de capas (Madigan *et al*., 2009; Gerardi y Lytle, 2015). Similarmente, se encuentran las bacterias verdes del azufre, las cuales realizan fotosíntesis, sin oxígeno, sino que ocupan azufre y es por eso por lo que se les puede ubicar en una parte más profunda del tapete microbiano (Gerardi y Lytle, 2015).

En las capas profundas, se pueden observar tonalidades más oscuras, como marrón o púrpura e inclusive negro, lo que correspondería a bacterias anoxigénicas anaerobias (i.e. sulfatorreductoras) y muy posiblemente a microrganismos productores de metano (metanogénicas) los cuales pertenecerían al Dominio *Arquea* (Dorador *et al.,* 2010).

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia mayoritaria de Tipología 1 en los tapetes microbianos, se podrían relacionar, a las fluctuaciones de las variables conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y la turbiedad en la columna del agua de las lagunas y que son función de la época del año y del sector (Demergasso *et al*. 2008). Estas fluctuaciones de las variables mencionadas anteriormente, derivadas de las variaciones precipitación-evaporación naturales del Salar de Atacama (Risacher *et al*, 1999), podrían estar influenciando, en su conjunto la diversidad de tipologías de los tapetes microbianos.

13.3.2 Análisis evolución inviernos 2016 a 2024

13.3.2.1 Análisis y Evolución de Tapetes Microbianos por Sector

Los resultados de los diferentes monitoreos de invierno mostraron que en la primera campaña invierno 2016, el 75% de las estaciones de muestreo presentó tapetes microbianos, sin embargo, en las campañas siguientes (invierno 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022) el registro llegó al 68,8% de las estaciones con presencia de estas comunidades microbianas. Dicha disminución, correspondiente a una estación de muestreo, se relaciona con el sector Vegas de Tilopozo, en particular con la estación TB-2, la cual presentó tapetes microbianos en invierno 2016, no obstante, no se han vuelto a detectar en las campañas de monitoreo posteriores. En la campaña invierno tardío 2023, no se pudo ingresar al sector Peine, por lo que sólo se pudo monitorear el sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, donde se observó que el 62,5% de las estaciones evaluadas presentaron tapetes microbianos. En la actual campaña invierno 2024, el monitoreo se llevó a cabo parcialmente en el sector Peine, accediendo sólo a las lagunas Saladita (S-11 y SA-25) e Interna (I-11 e I-17); por otro lado, los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo se muestrearon completamente. En la actual campaña, el 69,2% de las estaciones evaluadas presentaron tapetes microbianos.

En relación a la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña invierno 2024, se observaron dos principales tipologías de tapetes, las que corresponden a:

A.-TIPOLOGÍA 1, tapetes que presentan 3 macro-zonas de pigmentación:

- Capas Subsuperficiales de tonalidad verde y/o naranja
- Capas Intermedias de tonalidad rosada y/o púrpura
- Capas Profundas de tonalidades color marrón

B.-TIPOLOGÍA 2, tapetes que presentan 2 macro-zonas de pigmentación:

- Capas Subsuperficiales de tonalidad verde, naranja y en menor medida, rosado.
- Capas Intermedias de tonalidades rosada y/o púrpura.

C.-TIPOLOGÍA 3, tapetes que presentan solo una macro-zona:

- Capa Subsuperficial de tonalidad verde, rosado y/o naranja

En relación con la estructura de pigmentación en las primeras 7 campañas de monitoreo de invierno (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022), en tapetes microbianos se observó la presencia de las tres tipologías. En invierno tardío 2023, se observó la presencia de dos tipologías (1 y 3). En la campaña invierno 2024, se observó nuevamente la presencia de las tres tipologías.

Para el **Sector La Punta-La Brava**, en la campaña invierno 2024, la Tipología 1 se mantuvo como la configuración macroscópica predominante, no obstante, registraron una disminución respecto a las anteriores campañas de invierno (2022 y 2023), aunque mantuvieron por encima de lo observado entre las campañas de invierno de 20219 a 2021. La disminución relativa de tapetes de Tipología 1 está relacionada directamente con el aumento de tapetes de Tipología 2. Dentro de las estaciones de monitoreo que evidenciaron dicho aumento en Tipología 2, respecto de la última campaña invierno 2023, destacan LP-24 (Laguna La Punta) y LB-1, LB-2 y LB-3 (La Brava).

De este modo, un tapete de Tipología 1 (que contiene las tres macro-zonas macroscópicas: Subsuperficial, Intermedia y Profunda), sugeriría que está en condiciones óptimas, dado que se estarían evidenciando las tres principales zonas funcionales que dan forma al microambiente del tapete. Por el contrario, la baja disponibilidad de agua podría afectar a los microorganismos de estas estructuras, haciendo que los tapetes modificasen su conformación (macro-zonas) tipológica, pasando de Tipología 1 a 2 o incluso 3, y por consiguiente, perdiesen funcionalidad ecológica (i.e. fotosintética, en la participación en ciclos biogeoquímicos, productora de nutrientes, entre otros).

El número de capas promedio de los tapetes observados, por sistema lagunar en el Sector Peine, aumentó 2 capas en invierno 2024 comparado a invierno 2022 en Laguna Saladita, mientras que disminuyó 1 capa en Laguna Interna. De este modo, se observa el primer aumento en el número de capas promedio en Laguna Saladita desde invierno 2021 donde se había registrado 2 capas promedio. Por otro lado, Laguna Interna se ha mantenido fluctuando entre 3 y 4 capas promedio desde invierno 2019, donde se observaron 3 capas promedio. De Laguna Salada, no se puede sacar conclusiones debido a que esta no fue monitoreada en la presente campaña invierno 2024 (**Figura N° 13-18**).

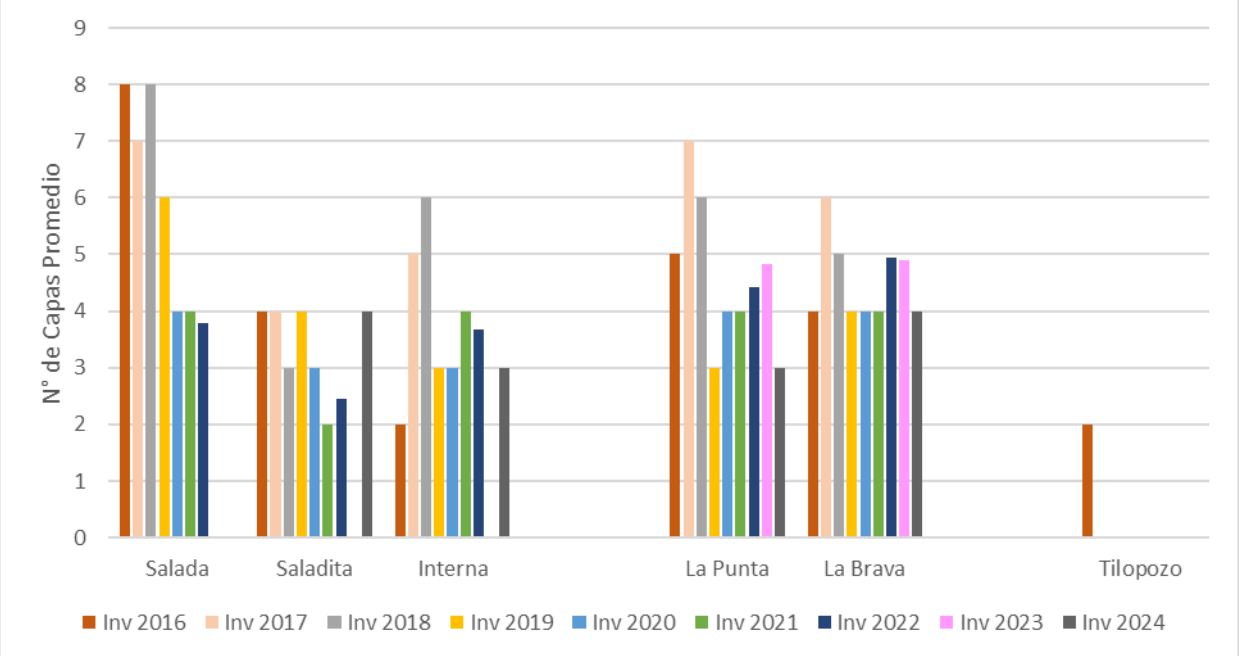
Respecto al Sector La Punta-La Brava, el número de capas promedio de los tapetes observados por sistema lagunar, anotó 2 capas menos en invierno 2024 en comparación a

invierno 2023 (5 capas) en Laguna La Punta, mientras que se observó la disminución de 1 capa en Laguna La Brava, respecto a invierno 2023. Laguna La Punta y La Brava, se han mantenido fluctuando entre 3 y 5 capas promedio desde invierno 2019 (**Figura N° 13-18**).

Respecto del Sector Vegas de Tilopozo, no reportó tapetes microbianos en la actual campaña y sólo se evidenció la presencia de tapetes en la campaña de invierno 2016 (**Figura N° 13-18**).

Para el **Sector Peine**, en la campaña invierno 2024, se registró una disminución en la proporción general de tapetes de Tipología 1, respecto a todas las campañas de invierno anteriores, excepto a invierno 2019 y 2020, donde fue mayor. Cabe destacar que invierno 2023 no pudo ser muestreado y en esta ocasión, el Sector Peine fue muestreado parcialmente. La disminución en la Tipología 1 se debe a la disminución de macro-zonas en los distintos tapetes evaluados, en favor del aumento de tapetes de Tipología 2 y 3. Considerando sólo las estaciones evaluadas para el Sector Peine (excluyendo Laguna Salada), entre las estaciones de monitoreo que evidenciaron dicha disminución, respecto de la última campaña invierno 2022, destacan I-11 e I-17(Laguna Interna) y SA-25 (Laguna Saladita) (**Figura N° 13-18**).

Figura N° 13-18. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Invierno 2016 a 2024.



(*) De un total de 16 estaciones se monitorearon solo 13 (S-5, S-6A y S-9, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine).
Fuente: Elaboración propia

Respecto al **sector La Punta-La Brava**, en Laguna La Punta, al comparar el número de capas promedio por estación de monitoreo (invierno 2024) (**Figura N° 13-19**)., se observa que, la estación LP-23, disminuyó las capas promedio respecto a invierno 2023, donde se había registrado 5,0 capas promedio, marcando una disminución de 1,7 capas promedio entre ambas campañas. Cabe destacar que esta estación venía mostrando una tendencia al alza, desde anteriores campañas de invierno (2019 a 2023). Respecto a la estación LP-24, se observó una disminución, pasando de 4,7 capas promedio (invierno 2023) a 2,8 (invierno 2024), con decreciendo 1,9 capas promedio. Esta estación, había mostrado entre todas las campañas anteriores (invierno 2016 a 2022) un rango de capas promedio de 2,7 a 4,0, así, esta estación que había fluctuado constantemente entre estos valores vuelve a mostrar una disminución cercana al mínimo reportado (invierno 2019 y 2021).

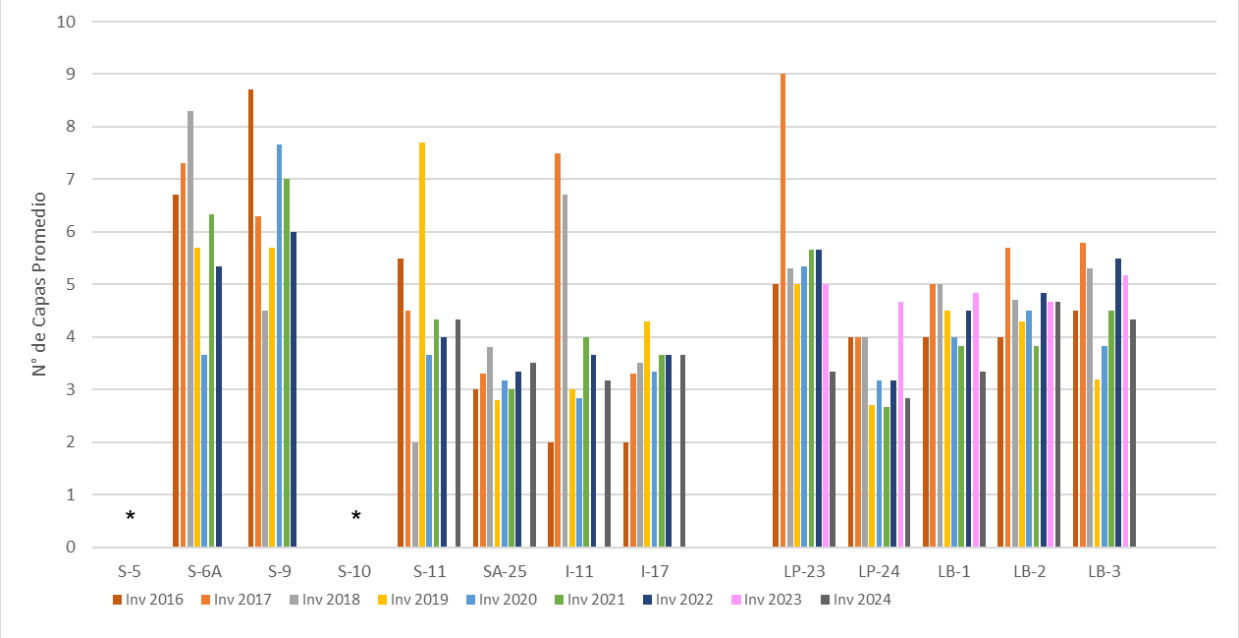
En Laguna La Brava, la estación LB-1 mostró una disminución del número de capas promedio, que varió de 4,8 a 3,3 capas, respecto a invierno 2023, lo que significó una disminución de 1,5 capas promedio. Por otro lado, la estación LB-2, mantuvo el mismo número de capas promedio que en la campaña de invierno 2023. En la estación LB-3 se observó una disminución de 0,9 capas promedio, pasando de 5,2 capas en invierno 2023 a 4,3 capas en invierno 2024. Cabe destacar que, en estas estaciones, el rango entre todas las campañas ha sido de entre 3,8 - 5 capas promedio (LB-1), por lo que en esta actual campaña, LB-1 ha anotado la mayor disminución observada hasta la fecha. Sin embargo, las estaciones LB-2 y LB-3 se mantienen dentro de los rangos reportados en anteriores campañas, 3,8 - 5,7 capas promedio y 3,2 - 5,8 capas promedio, respectivamente (**Figura N° 13-19**).

De este modo, las mayores variaciones en el número de capas promedio de invierno 2024, respecto a anteriores campañas, se observan en LP-23, con una disminución de 5,7 capas promedio (invierno 2017), mientras que en S-11, se observó el mayor aumento, con 2,0 capas promedio (invierno 2018).

En el **sector Peine**, al comparar el número de capas promedio por estación de monitoreo (invierno 2024), se observa que, en Laguna Saladita, la estación S-11, se mantuvo en valores similares a los reportados en las anteriores campañas de invierno (2020 a 2022), variando de entre 3,7 a 4,3 capas promedio, lo cual representa una variación menor a 1 capa promedio desde invierno 2020, campaña donde se había registrado una drástica disminución en las capas promedio de dicha estación. Similar ocurre con los tapetes de la estación SA-25, donde se observó un leve aumento de 0,2 capas promedio, respecto a invierno 2022- Previamente, se había registrado un aumento del número de capas promedio, cuyo valor fue de 3,3 capas en invierno de 2022 respecto de las 3,0 capas promedio observadas en invierno de 2021, sin embargo, esta estación usualmente se encuentra en esos rangos, destacando que este parámetro ha fluctuado entre 2,8 y 3,8 capas promedio en todos los inviernos (2016 a 2022). Finalmente, en Laguna Interna, se pudo observar que en la estación I-11, el número de capas promedio disminuyó levemente, pasando de 4,0 capas en invierno 2020 a 3,2 capas en invierno 2024, no obstante, desde invierno 2017, se observaba una disminución gradual hasta

invierno 2021. Por otro lado, en la estación I-17, se mantuvo el número de capas promedios, invariable respecto a invierno 2021 e invierno 2022, con 3,7 capas promedio, mostrando valores levemente superiores a los vistos en pasadas campañas de invierno; no obstante, al igual que SA-25, esta estación se encuentra en un rango usual, que va desde 2 capas (en invierno 2016) a 4,3 capas (invierno 2019).

Figura N° 13-19. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Invierno 2016 a 2024.



(*) De un total de 16 estaciones se monitorearon solo 13 (S-5, S-6A y S-9, no fueron monitoreadas ya que no se tuvo acceso a estas estaciones del Sector Peine).
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto a la morfología de los tapetes microbianos, a partir de las nueve campañas de invierno llevadas a cabo, se distinguen principalmente 3 tipos: 1) Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados y pigmentados, característicos de laguna Salada y en laguna La Punta; 2) Tapetes convexos, con apariencia, consistencia y textura de tipo coriácea (semejante al cuero), los cuales predominan en laguna La Brava (LB-1); y 3) Tapetes planos, de textura superficial mucilaginosa, de consistencia blanda y granular, detectados especialmente en laguna La Brava (LB-1 y LB-2), observados en invierno de 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, invierno 2023 e invierno 2024.

13.3.3 Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos

A continuación, se discuten los aspectos más relevantes referidos a la estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos según cada sector en los monitoreos semestrales de invierno realizados en 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.

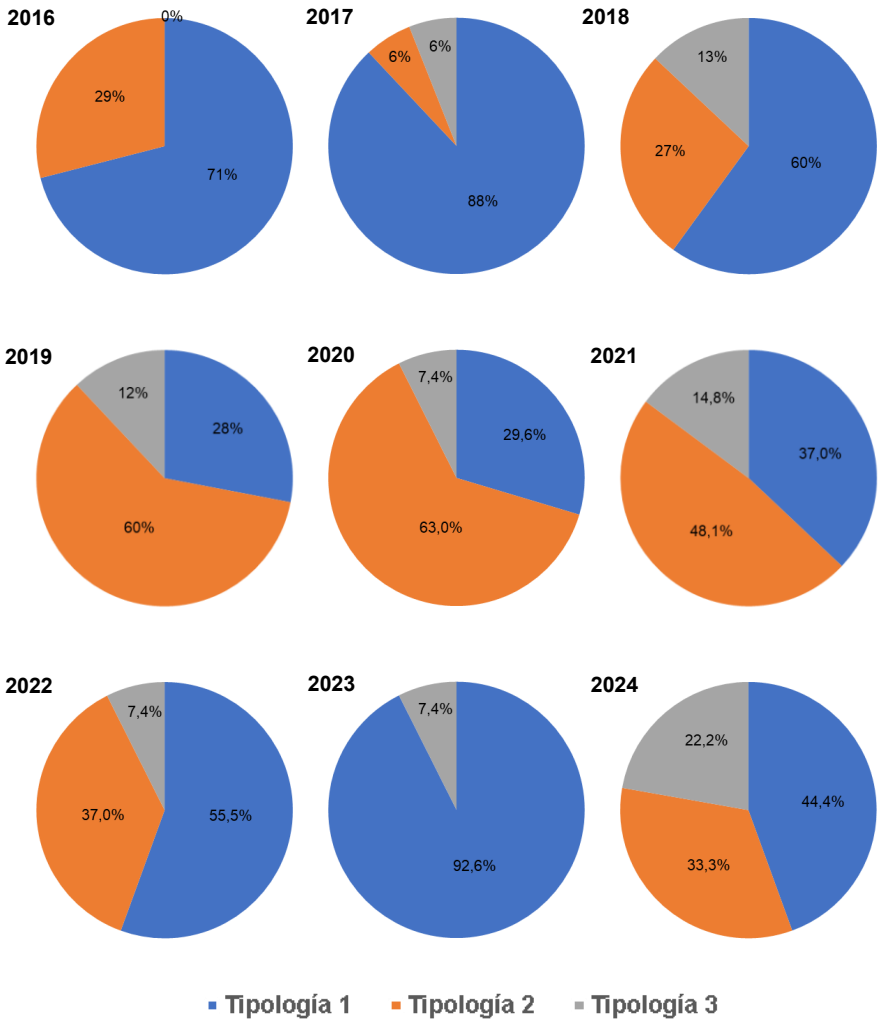
13.3.3.1 Sector La Punta-La Brava

El sector La Punta-La Brava, presentó tapetes de Tipología 1, 2 y 3 durante las campañas de invierno, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022, mientras que invierno 2016 sólo exhibió la Tipología 1 y 2, y en invierno 2023 se observó sólo la Tipología 1 y 3. Comparado a invierno 2023, se puede observar que en invierno 2024 hubo una disminución de 48,2% en la prevalencia de tapetes de Tipología 1, aunque se mantuvo como la tipología predominante en el sector. Esta disminución, se da luego de un aumento que había sido sostenido desde invierno 2019. Por otro lado, los tapetes con Tipología 2 aumentaron un 33,3% en comparación a invierno 2023, donde no habían sido detectados, lo que sugiere que la mayoría de los tapetes de Tipología 2 pudieron haber migrado desde Tipología 1 dada la disminución de estos últimos. Si bien, se ve un aumento en esta Tipología, se mantiene como el menor valor de prevalencia, exceptuando por invierno 2023, desde invierno 2020. Por otro lado, la proporción de tapetes de Tipología 3, que se han mantenido en el rango de 6,0% a 14,8% en la mayoría de las campañas de invierno, durante la campaña de invierno 2024, exhibieron un aumento de 14,8%, siendo la campaña con la mayor proporción de prevalencia de esta tipología, así, similar a lo sugerido con Tipología 2, es posible que tapetes de Tipología 1 hayan migrado a Tipología 3 (**Figura N° 13-20**).

A nivel lagunar, durante la campaña de invierno 2024, en Laguna La Punta presentó diferencias sustantivas en la prevalencia de Tipología 1 respecto a invierno 2022. En el caso de la Laguna La Punta, hubo una disminución de 56% en las muestras de tapetes con Tipología 1, respecto a invierno 2023. Si bien, la estación LP-23 se mantuvo similar a invierno 2023 (**Tabla N° 13-15**), en la estación LP-24, la Tipología 1 disminuyó completamente (100%) (**Tabla N° 13-16**), aumentando los tapetes de Tipología 2 (**Tabla N° 13-20**) y 3 (**Tabla N° 13-22**). Por otro lado, en Laguna La Brava donde todos los tapetes habían presentado la Tipología 1 en invierno 2023, mostraron una disminución de 44% en esta tipología en invierno 2024, lo cual significó una disminución de los tapetes con esta conformación tipológica de entre 33% y 50% en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (**Tabla N° 13-17, Tabla N° 13-18** y **Tabla N° 13-19**, respectivamente). Por otro lado, la Tipología 2 aumentó un 33% en esta laguna, donde todas las estaciones exhibieron dicha tipología (**Tabla N° 13-21**). Respecto a la Tipología 3, Laguna La Brava también evidenció tapetes con esta conformación estructural en invierno 2024, los cuales no fueron observados en invierno 2023 (**Tabla N° 13-22**).

Así, durante invierno 2024, en el Sector La Punta-La Brava la Tipología 1 se mantiene como la conformación predominante, seguido de la Tipología 2 y finalmente la Tipología 3 (**Figura N° 13-20**).

Figura N° 13-20. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector La Punta-La Brava. Campañas de Invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024.



Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Punta, los tapetes de Tipología 1 fueron detectados en todas las campañas de monitoreo, excepto en invierno 2020. No obstante, durante invierno 2024, los tapetes con esta tipología fueron observados sólo en la estación LP-23 (67%) (**Tabla N° 13-15**), lo cual concuerda con lo observado en campañas de invierno anteriores (2016 a 2023). Sin embargo, esta conformación tipológica no fue detectada en LP-24, lo cual representa una disminución

de 83% respecto a invierno 2023. No obstante, y aunque LP-24 se caracteriza por presentar tapetes de esta tipología, la prevalencia ha sido de un 17% (entre invierno 2018 a 2022), mientras que no fueron detectados en invierno 2021, siendo, de este modo, invierno 2023 la campaña donde se observó la mayor prevalencia de esta tipología (**Tabla N° 13-16**).

Tabla N° 13-15. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña invierno, 2016 a 2024.

Año/Muestra			LP-23															
			2016		2017			2018		2019		2021		2022		2023		2024
			LP-23		LP- 23			LP-23		LP-23		LP-23		LP-23 P		LP-23 P		LP-23 P
			2	3	1	2	3	1	2	2	3	2	3	1	3	2	3	1	2
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																	
		Verde																	
		Verde claro																	
		Verde oscuro																	
		Verde opaco claro																	
		Amarillo																	
		Amarillo claro																	
		Amarillo oscuro																	
	Intermedia	Blanco																	
		Rosado																	
		Rosado claro																	
		Verde opaco claro																	
		Naranja																	
		Café claro																	
		Purpura																	
	Profunda	Verde opaco																	
		Verde oscuro																	
		Verde opaco oscuro																	
		Verde																	
		Gris																	
		Blanco																	
		Marrón																	
		Marrón claro																	
		Marrón verde																	
		Marrón morado																	
		Marrón oscuro																	
		Marrón púrpura																	
		Rosado																	
		Verde claro																	
		Amarillo claro																	
		Negro																	

*Tipología 1 no fue reportada en invierno 2020 en LP-23
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-16. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña invierno, 2016 a 2024.

Año/Muestra			LP-24											
			2016	2017		2018	2019	2020	2022	2023				
			LP-24	LP-24		LP-24	LP-24 P	LP-24 P	LP-24 C	LP-24 P		LP-24 C		
			1	1	3	1	1	2	1	1	3	1	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Naranja												
		Verde												
		Verde claro												
		Verde oscuro												
		Verde opaco claro												
		Amarillo												
		Amarillo claro												
		Amarillo oscuro												
	Intermedia	Blanco												
		Rosado												
		Rosado claro												
		Verde opaco claro												
		Naranja												
		Café claro												
		Purpura												
	Profunda	Verde opaco												
		Verde oscuro												
		Verde opaco oscuro												
		Verde												
		Gris												
		Blanco												
		Marrón												
		Marrón claro												
		Marrón verde												
		Marrón morado												
		Marrón oscuro												
		Marrón púrpura												
		Rosado												
		Verde claro												
		Amarillo claro												
		Negro												

*Tipología 1 no fue reportada en invierno 2021 en LP-24
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

En la Laguna La Brava, se observa una disminución en los tapetes de Tipología 1, especialmente de los tapetes coriáceos de las estaciones LB-1 (**Tabla N° 13-17**) y LB-2 (**Tabla N° 13-18**), con una reducción de 66% en ambos sitios, mientras que los tapetes superficiales planos, muestran una disminución de 33%, también para ambos sitios. De esta manera, los tapetes de LB-1 y LB-2 probablemente hayan migrado de Tipología 1 a Tipología 2. De todos modos, se espera que los tapetes en LB-1 y LB-2 no llegasen a cambiar significativamente, ya que son estaciones que se caracterizan por exhibir tapetes con Tipología 1, siendo hallados en todas las campañas de invierno anteriores (2016 a 2024) (**Tabla N° 13-17** y **Tabla N° 13-18**). Por otro lado, después de que en LB-3 se había observado un leve aumento de la Tipología 1 en invierno 2023, en especial de tapetes coriáceos, que migraron de Tipología 2, en invierno 2024 se vuelve a observar una leve caída tanto en tapetes superficiales planos como de tapetes coriáceos, siendo la proporción neta de 100% en invierno 2023 a 66% en invierno 2024. Esta estación también se caracteriza por presentar tapetes de Tipología 1, por lo que esta variación en la proporción de conformación tipológica se encuentra dentro de los rangos observados en las campañas de invierno anteriores (**Tabla N° 13-19**). En ese sentido, tal como se propuso en el Informe N° 6 Invierno 2021 y en el Informe Semestral N°13 Invierno 2022, un aumento de tapetes de Tipología 1 o una leve variación en estos, visto desde invierno 2020, podría estar indicando un evento de recuperación y/o estabilización de esta conformación y por consiguiente, de recuperación de las capas de microorganismos perdidas en 2019, lo cual reflejaría estabilidad en los tapetes de esta estación, por lo que se sugiere mantener este sitio bajo seguimiento.

Tabla N° 13-17. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña invierno, 2016 a 2024.

Año/Muestra			LB-1																					
			2016		2017			2018		2020	2021	2022			2023						2024		
			LB-1		LB-1			LB-1		LB-1 C	LB-1 C	LB-1 P	LB-1 C		LB-1 P		LB-1 C				LB-1 P		LB-1 C
			2	3	1	2	3	1	2	3	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	2
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																						
		Verde																						
		Verde claro																						
		Verde oscuro																						
		Rosado																						
		Naranja claro																						
		Amarillo																						
		Amarillo claro																						
	Intermedia	Blanco																						
		Rosado																						
		Purpura																						
		Blanco																						
	Profunda	Naranja claro																						
		Naranja																						
		Verde opaco																						
		Verde oscuro																						
		Verde opaco oscuro																						
		Blanco																						
		Marrón																						
		Marrón claro																						
		Marrón oscuro																						
		Púrpura																						
		Verde																						
		Verde claro																						
		Gris																						
		Negro																						

*Tipología 1 no fue reportada en invierno 2019 en LB-1
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-18. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña invierno, 2016 a 2024.

Año/Muestra			LB-2																																			
			2016				2017				2018		2019		2020				2021			2022					2023						2024							
			LB-2				LB-2				LB-2		LB-2 P	LB-2 C	LB-2 P		LB-2 C		LB-2 P	LB-2 C		LB-2 P		LB-2 C			LB-2 P			LB-2 C				LB-2 P		LB-2 C			
			1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	1	1	2	2	3	2	1	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	2
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																																				
		Verde																																				
		Verde claro																																				
		Verde oscuro																																				
		Rosado																																				
		Naranja claro																																				
		Amarillo																																				
		Amarillo claro																																				
	Intermedia	Blanco																																				
		Rosado																																				
		Purpura																																				
		Blanco																																				
	Profunda	Naranja claro																																				
		Naranja																																				
		Verde opaco																																				
		Verde oscuro																																				
		Verde opaco oscuro																																				
		Blanco																																				
		Marrón																																				
		Marrón claro																																				
		Marrón oscuro																																				
		Púrpura																																				
		Verde																																				
		Verde claro																																				
		Gris																																				
		Negro																																				

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

Tabla N° 13-19. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña invierno, 2016 a 2024.

Año/Muestra			LB-3																															
			2016					2017					2018		2019		2020		2021				2022			2023						2024			
			LB-3					LB-3					LB-3		LB-3		LB-3 P		LB-3 P	LB-3 C			LB-3 P	LB-3 C		LB-3 P			LB-3 C			LB-3 P		LB-3 C	
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	3	1	2	1	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																																	
		Verde opaco																																	
		Naranja																																	
		Verde																																	
		Verde claro																																	
		Verde oscuro																																	
		Marrón claro																																	
		Amarillo																																	
		Amarillo claro																																	
	Intermedia	Blanco																																	
		Rosado																																	
		Purpura																																	
		Blanco																																	
	Profunda	Verde opaco claro																																	
		Verde opaco oscuro																																	
		Marrón																																	
		Marrón claro																																	
		Marrón morado																																	
		Marrón oscuro																																	
		Púrpura																																	
		Rosado gris																																	
		Verde																																	
		Verde claro																																	
		Café naranja																																	
		Amarillo claro																																	
		Gris																																	
		Negro																																	

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

Respecto a Tipología 2, en Laguna La Punta, se observaron muestras con esta conformación sólo en LP-24, en tapetes coriáceos. En invierno 2022 había exhibido este tipo de tapetes en las estaciones LP-23 (33% de las muestras) y LP-24, particularmente en tapetes superficiales coriáceos (66%), aunque también superficiales planos (33%). El hallazgo de esta tipología en estos tapetes, particularmente en LP-24, había coincidido con lo registrado en invierno 2019 e invierno 2020, donde también se había observado esta estructura tipológica. Principalmente,

se observó que la estación más prevalente fue LP-24, la cual mantuvo estable la presencia de esta tipología en invierno 2024, respecto a invierno 2022 y 2021, y similar a 2020, para los tapetes coriáceos e incluso para los tapetes superficiales planos. Esto había estado mostrando un cambio respecto a los inviernos anteriores (2016 a 2019), dado que estas estaciones, clásicamente, exhiben tapetes de Tipología 1, lo que va en línea con lo observado en invierno 2023 (**Tabla N° 13-20**). En todos los casos de invierno 2022, se había observado la pérdida de la macro-zona profunda, representada en capas de tonalidad marrón, la cual, en la campaña invierno 2023 había sido recuperada, en el 92,6% de las muestras, mientras que para invierno 2024, han vuelto a perder la macro-zona profunda. Esto indicaría una variación en las comunidades microbiológicas que podrían estar habitando el tapete, especialmente, en la zona anoxigénica-anaerobia del tapete (macro-zona profunda). En ese sentido, es sugerible mantener la atención en los tapetes de estas estaciones para seguir su evolución (**Tabla N° 13-20**)

Respecto a Laguna La Brava, en invierno 2024 se observó un aumento en los tapetes de Tipología 2, los cuales tampoco se habían observado en invierno 2023 en las tres estaciones estudiadas (LB-1, LB-2 y LB-3), y con una proporción similar a invierno 2022. Previamente, los tapetes de LB-1 en invierno 2022 habían mostrado leves variaciones respecto a invierno 2021, con disminución en la conformación de algunos tapetes. No obstante, y al igual que en invierno 2021, en invierno 2022 se había observado cierta dinámica en esta laguna, dado que en LB-1, se había notado un aumento de tapetes superficiales planos con Tipología 2 (33%) en invierno 2021, mientras que disminuyó (33%) en tapetes coriáceos, lo que pareciera seguir ocurriendo en invierno 2024 (**Tabla N° 13-21**).

Un efecto similar se observó en LB-2, en invierno 2024, donde la prevalencia de Tipología 2 aumentó respecto a invierno 2023. A diferencia de la campaña anterior, la Tipología 2 había disminuido un 33% su presencia en tapetes superficiales planos, respecto a invierno 2019, mientras que los tapetes coriáceos se mantuvieron constantes, con un 33% (una sola muestra), sin embargo, durante invierno 2022, algunos de los tapetes (cerca del 33%) de estas estaciones habían migrado hacia Tipología 1 y finalmente, lo hicieron completamente en invierno tardío 2023. De este modo, aquellos tapetes de Tipología 1 volvieron a perder la macro-zona superficial, migrando a Tipología 2 (**Tabla N° 13-21**).

Por otro lado, en LB-3, la Tipología 2 se observó en una muestra de tapetes coriáceos, mientras que no había sido hallada en invierno 2023. Comparado a invierno 2022, los tapetes coriáceos decrecieron un 50% en la presente campaña. Estos tapetes habían disminuido en un 66%, en invierno 2022, mientras que los tapetes planos superficiales disminuyeron (33%) respecto a invierno 2021. Cabe destacar, que la presencia de Tipología 2, se ha observado previamente en anteriores campañas de invierno (2016 a 2018). La mayoría de los cambios, se habían reflejado en la pérdida de la macro-zona profunda de estos tapetes (**Tabla N° 13-21**).

Tabla N° 13-20. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Punta. Campaña invierno, 2016 a 2024.

Año/Muestra			La Punta																										
			2016	2018	2019				2020							2021				2022				2024		
			LP-23	LP-23	LP-23	LP-24 P	LP-24 C		LP-23			LP-24 P		LP-24 C		LP-23 P	LP-24 C			LP-23 P	LP-24 P	LP-24 C		LP-24 C		
			1	3	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	1	2	3	2	1	2	3	1	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Blanco																									
		Naranja																									
		Amarillo																									
		Verde																									
		Verde claro																									
		Verde oscuro																									
		Rosado																									
		Púrpura																									
	Intermedia	Blanco																									
		Rosado																									
		Rosado claro																									
		Purpura																									
		Rojo																									
	Profunda	Verde																									
		Verde claro																									
		Amarillo claro																									
		Rosado																									
		Púrpura																									
		Marrón																									
		Marrón claro																									
		Gris																									
		Negro																									

*Tipología 2 no fue reportada en invierno 2017 ni 2023 en Laguna La Punta.
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-21. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Lagunas La Brava. Campaña invierno, 2016 a 2024.

Año/Muestra			La Brava																																															
			2016			2017	2018			2019											2020									2021									2022						2024					
			LB-1		LB-2	LB-2	LB-2	LB-3		LB-1 P		LB-1 C			LB-2 P		LB-2 C	LB-3 P	LB-3 C		LB-1 P			LB-1 C		LB-2 P	LB-2 C	LB-3 P	LB-3 C	LB-1 P		LB-1 C		LB-2 P		LB-2 C	LB-3 P		LB-1 P		LB-2 P	LB-3 P	LB-3 C		LB-1 P	LB-1 C	LB-2 P	LB-2 C		LB-3 C
			1	4	2	2	2	2	4	1	3	1	2	3	2	3	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	2	1	3	1	2	1	3	2	1	3	1	2	2	2	1	3	1	3	3	1	3	1
Macrozona	Subsuperficial	Blanco																																																
		Naranja																																																
		Amarillo																																																
		Verde																																																
		Verde claro																																																
		Verde oscuro																																																
		Rosado																																																
		Púrpura																																																
	Intermedia	Blanco																																																
		Rosado																																																
		Rosado claro																																																
		Purpura																																																
		Rojo																																																
	Profunda	Verde																																																
		Verde claro																																																
		Amarillo claro																																																
		Rosado																																																
		Púrpura																																																
		Marrón																																																
		Marrón claro																																																
		Gris																																																
		Negro																																																

*Tipología 2 no fue reportada en invierno 2023 en Laguna La Brava.

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a Tipología 3, la Laguna La Punta reportó esta conformación en LP-23 (33%) y LP-24 (67%), mostrando un aumento respecto a invierno 2023 y 2021. Si bien LP-24 se caracteriza por presentar esta tipología en los tapetes superficiales, es la segunda vez que LP-23 exhibe esta conformación tipológica (**Tabla N° 13-22**).

Por otra parte, en Laguna La Brava, se volvió a reportar tapetes con Tipología 3, con una prevalencia similar a invierno 2019. Si bien no hubo reportes de Tipología 3 en invierno 2022 ni 2023, en invierno 2021, sólo una muestra de tapetes coriáceos de la estación LB-3 exhibió dicha conformación (**Tabla N° 13-22**). En ese sentido, se sugiere atención en los próximos monitoreos en el comportamiento de estos tapetes y en la conformación de macro-zonas y/o reestructuración de las tipologías 2 o incluso 1 a partir de la Tipología 3.

Tabla N° 13-22. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña invierno, 2016 a 2024.

Año/Muestra			La Punta													La Brava							
			2017	2018	2019	2021			2022		2023		2024			2018	2019		2020		2021	2024	
			LP-24	LP-24	LP-24 P	LP-24 P			LP-24 P		LP-23 P	LP-24 P	LP-23 P	LP-24 P		LB-1	LB-1 P	LB-3 C	LB-3 C		LB-1 P	LB-1 C	LB-3 P
			2	2	3	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	3	2	1	1	3	2	2	2
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																						
		Blanco																						
		Rosado claro																						
		Naranja																						
		Amarillo																						
		Verde																						
		Verde oscuro																						
		Naranja claro																						
		Marrón claro																						
		Amarillo claro																						

*Tipología 3 no fue reportada en invierno 2016 en Laguna La Punta y en inviernos 2016, 2017, 2022 y 2023 en Laguna La Brava.
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

13.3.3.2 Sector Tilopozo

Este sector ha registrado presencia de tapetes microbianos, en el punto de muestreo TB-2, sólo en la campaña invierno 2016, motivo por el cual fueron ingresadas como estaciones adicionales al monitoreo. En este sector no se detectó la presencia de tapetes microbianos en invierno 2024 (**Tabla N° 13-23**).

Tabla N° 13-23. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en el Sector vegas de Tilopozo. Campaña invierno, 2016 a 2024.

Año/Muestra			Tilopozo								
			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
			TB-2	-	-	-	-	-	-	-	-
			1	-	-	-	-	-	-	-	-
Macrozona	Subsuperficial	Blanco		S/C	S/C	S/C	S/C	S/C	S/C	S/C	S/C
		Naranja									
		Amarillo									
		Verde									
		Verde claro									
		Verde oscuro									
	Intermedia	Blanco									
		Rosado									
		Rosado claro									
		Purpura									
	Profund	Verde claro	S/C								
		Amarillo claro									
		Marrón									

(s/c: sin capas)
Fuente: Elaboración propia

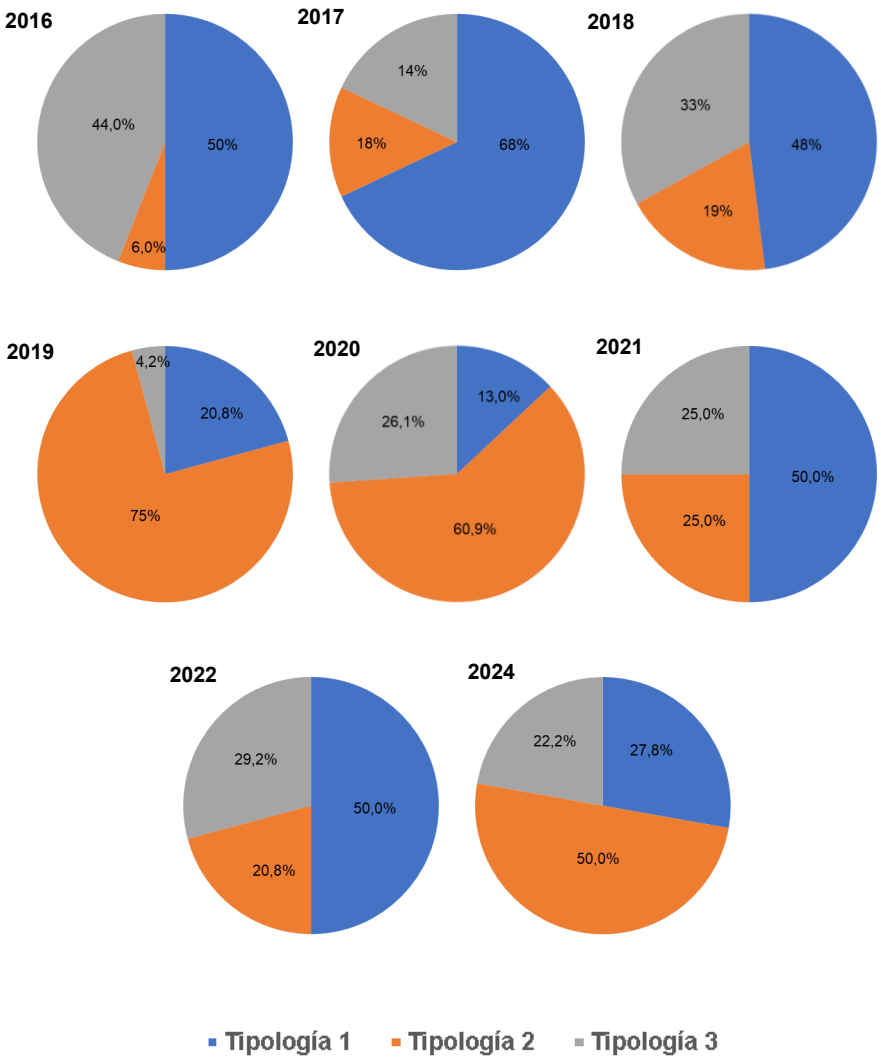
13.3.3.3 Sector Peine

El Sector Peine, presentó tapetes de Tipología 1 y 2 durante la campaña de invierno 2016 y las tres Tipologías (1, 2 y 3) en las sucesivas campañas de invierno (2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2024). Comparado a invierno 2022, se puede observar que en invierno 2024, la Tipología 1 disminuyó un 22,2%, mientras que la prevalencia de Tipología 2 aumentó, pasando de 20,8% a 50,0% de prevalencia. A su vez, los tapetes de Tipología 3 disminuyeron un 7,0%. Esto muestra que un 29,2% neto de los tapetes, tanto de Tipología 1 como de Tipología 3, pasaron a Tipología 2. Así, los tapetes de Tipología 1, que habían mostrado una estabilización desde campañas anteriores, disminuyeron, hasta valores menores a los observados hasta invierno 2018.

Los tapetes de Tipología 2, que habían aumentado sucesivamente entre invierno 2016 y 2019, llegando a un 75%, y que habían anotado una disminución, pasando de 60,9% de prevalencia en invierno 2020 a 20,8% en invierno 2022 (una reducción de ~40,1%), se ven aumentados, en invierno 2024, un 25,0% respecto a invierno 2021 y ~29,2% respecto a invierno 2022. Por otro lado, los tapetes de Tipología 3, mostraron una prevalencia que ha sido variable en la mayoría de las campañas, con rangos entre 25 y 44% (invierno 2016 a 2022), excepto por invierno 2017 e invierno 2019, donde sufrieron una mayor disminución (18% y 4,2%, respectivamente). Esta vez, estos tapetes, disminuyeron a 22,2%, aunque se mantienen en los rangos observados desde invierno 2020 a la fecha (**Figura N° 13-21**).

A nivel lagunar, la Tipología 1 se mantuvo porcentualmente igual, en Laguna Saladita, en invierno 2024 respecto de invierno 2022 (**Tabla N° 13-25**). Si bien, la estación S-11 no registró cambios, los tapetes de SA-25 (a nivel neto, tanto superficiales como coriáceos) que antes habían mostrado la Tipología 1, migraron a Tipología 2 (**Tabla N° 13-28**) y de Tipología 2 a Tipología 3 (**Tabla N° 13-30**). Por otro lado, en Laguna Interna (I-11 e I-17), se ve un aumento, también, de la Tipología 2 (**Tabla N° 13-29**) mientras que la Tipología 1 (**Tabla N° 13-26**) y 3 (**Tabla N° 13-31**) disminuyeron su prevalencia. De este modo, durante invierno 2024, en el Sector Peine se redujo la Tipología 1 como la predominante, pasando a ser la Tipología 2 la estructura de tapetes más prevalente (**Figura N° 13-21**).

Figura N° 13-21. Proporción de Tipologías de Tapetes en el Sector Peine, Invierno 2016 a 2024.



Fuente: Elaboración propia

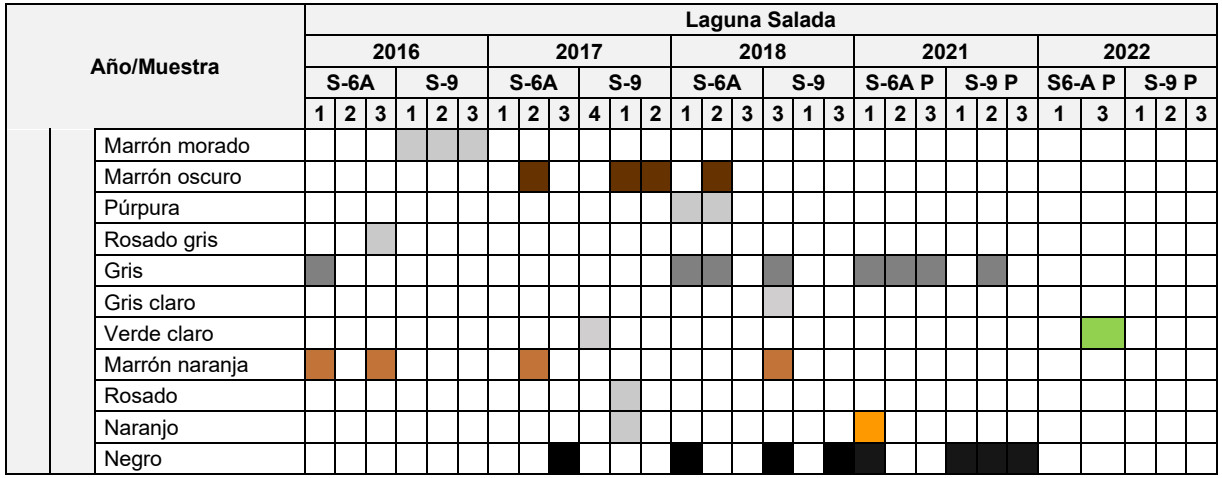
En Laguna Salada, los tapetes de Tipología 1 se mantuvieron estables, comparados a invierno 2021. Si bien los registros históricos de los tapetes microbianos de esta laguna (invierno 2016 a 2018) mostraron la Tipología 1 en las estaciones S-6A y S-9 (**Tabla N° 13-24**), en invierno de 2020, al igual que en invierno 2019, no se evidenció esta conformación, predominando la Tipología 2, mostrando estos tapetes una pérdida de la macro-zona subsuperficial, pero manteniendo la estructura de tonalidad vistas en invierno 2019, donde hubo mayor prevalencia de tonos rosado, púrpura, sumándose además, las tonalidades verde y naranja en la macro-zona intermedia, mientras se mantuvo la

prevalencia de los tonos marrón y púrpura, en la macro-zona profunda. No obstante, en invierno 2021, hubo un aumento de la Tipología 1, donde los tapetes recuperaron principalmente la macro-zona Profunda. Al igual que en la campaña de invierno anterior, en invierno 2022, se pudo apreciar, que se mantuvo la Tipología 1 y la macro-zona Profunda. Estos tapetes, cuentan con predominancia de las tonalidades verde y en menor medida naranjo y amarillo en la macro-zona Subsuperficial, púrpura y rosado en la macro-zona Intermedia y marrón en la macro-zona Profunda. Cabe destacar, que los tapetes de Tipología 1 son relativamente estables en el tiempo, por lo que un cambio en las condiciones ambientales de la laguna podría traducirse en esta disminución de capas y por consiguiente, el cambio de Tipología (Madigan *et al*., 2009).

Dado que Laguna Salada no pudo ser muestreada en invierno 2024, no se pueden obtener mayores conclusiones de estas estaciones de monitoreo.

Tabla N° 13-24. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Salada, inviernos 2016 a 2022.

Año/Muestra			Laguna Salada																												
			2016						2017						2018						2021						2022				
			S-6A			S-9			S-6A			S-9			S-6A			S-9			S-6A P			S-9 P			S6-A P		S-9 P		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	1	2	3	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																													
		Blanco																													
		Gris																													
		Verde opaco																													
		Naranja																													
		Amarillo																													
		Verde																													
		Verde claro																													
		Verde oscuro																													
		Verde opaco claro																													
		Naranja claro																													
		Amarillo claro																													
	Intermedia	Blanco																													
		Rosado																													
		Rosado claro																													
		Purpura																													
		Naranja																													
	Profunda	Naranja claro																													
		Naranja																													
		Verde opaco																													
		Verde opaco claro																													
		Verde oscuro																													
		Verde opaco oscuro																													
		Verde																													
		Blanco																													
		Marrón																													
		Marrón claro																													
		Marrón oscuro																													
		Marrón opaco																													



*Tipología 1 no fue reportada en Laguna Salada en invierno 2019 y 2020.
**Laguna Salada no fue muestreada ni en invierno 2023 ni invierno 2024.
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

En Laguna Saladita, los tapetes de Tipología 1 han sido observados en la mayoría de las campañas, sin embargo, en cuanto a tapetes coriáceos con esta tipología, sólo han sido reportados en SA-25 (**Tabla N° 13-25**). Durante invierno 2019, se había detectado la presencia de esta Tipología tanto en SA-25 como en S-11, correspondiéndose con su registro histórico (inviernos 2016, 2017 y 2019), sin embargo, en invierno 2020 no se encontró esta tipología en S-11, la cual había migrado completamente a Tipología 2, perdiendo, principalmente, la capa de tonalidad marrón y amarilla de la macro-zona profunda. En la campaña invierno 2021, se pudo observar una recuperación parcial de los tapetes de Tipología 1 en la estación S-11, evidenciándose en la recuperación de la macro-zona Profunda, reflejada en la aparición de capas de tonalidad, principalmente, marrón. Por otro lado, los tapetes de la estación SA-25 (coriáceos), migraron completamente a Tipología 2 e incluso a Tipología 3, perdiendo su macro-zona Profunda y/o la macro-zona Intermedia. En la anterior campaña invierno 2022, se pudo apreciar una recuperación de los tapetes de Tipología 1, en un 100% tanto en S-11 como en los tapetes coriáceos de SA-25, de este modo, recuperando la macro-zona Profunda, principalmente la tonalidad marrón. Esto se mantuvo sin mayores cambios en invierno 2024, donde S-11 volvió a exhibir el 100% de los tapetes con tres macro-zonas, mientras que SA-25 mantuvo dos muestras de tapetes (66%) coriáceos con dicha Tipología. Cabe resaltar, que desde invierno 2020 no se registraban tapetes de Tipología 1 en SA-25, llegando incluso, a recuperar la tonalidad verde oscuro, característica de los tapetes coriáceos de esta estación (**Tabla N° 13-25**).

Este cambio en la proporción de tipologías, visto en invierno 2022 y que se mantuvo, mayoritariamente en invierno 2024, en la Laguna Saladita, particularmente en la recuperación de la Tipología 1 en S-11 y SA-25, podría sugerir algún proceso de reconformación en los tapetes de la laguna y por ende del ambiente que se desarrolla en ella, esto debido a que previamente se pensaba en que pudiese existir algún cambio ambiental en la laguna, posiblemente de antes o durante la campaña invierno 2018, dado que en ese momento sólo se registró una muestra de tapetes (SA-25) con Tipología 1, ocurriendo casi (S-11) o completa (SA-25) pérdida de esta tipología. Por otro lado, esta restitución de tapetes de Tipología 1 (entre invierno 2022 y 2024), se suma a los episodios de reconfiguración tipológica de los tapetes en invierno 2019, ya que se observó en dicha campaña, un efecto de intermitencia en la aparición/desaparición de la Tipología 1 en S-11, y que tal como se propuso en el Informe Semestral N°6 de invierno 2021, estaría ocurriendo igualmente en SA-25, pues no se observó dicha tipología en esta estación en la pasada campaña invierno 2021 y sí en invierno 2022 y 2024 (**Tabla N° 13-25**). El hecho que los tapetes puedan estar cambiando su tipología, podría indicar la existencia de un efecto ambiental que pudiese estar alterando la estructuración de estas comunidades microbianas. No obstante, pareciera ser que en SA-25 este efecto es menos predominante, dado que se había mantenido, parcialmente, la Tipología 1 en los tapetes coriáceos, desde su restitución en invierno 2019 hasta invierno 2024.

Respecto a Laguna Interna, en la campaña invierno 2024, no se observó ningún tapete con Tipología 1, ni en la estación I-11 ni I-17 (**Tabla N° 13-26**). Cabe resaltar que la estación I-11 se ha caracterizado por exhibir, en menor o mayor medida, tapetes de Tipología 1 en todas las campañas de invierno (2017 a 2022), excepto en invierno 2016, con un rango de prevalencia de entre 17% (inviernos 2019, 2020 y 2022) y 100% (invierno 2018). Así, en campañas anteriores (invierno 2017 y 2018), esta tipología se había presentado en tapetes superficiales planos de la estación I-11 (66%), sin embargo, en 2019 ocurrió una disminución de estos, ya que migraron a Tipología 2 (perdiendo la macro-zona profunda), mientras en invierno 2020, dichos tapetes (antes en Tipología 2), en su mayoría superficiales planos, migraron a Tipología 3, perdiendo la macro-zona intermedia. Si bien, los tapetes de I-11 habían restituido su macro-zona Profunda en invierno 2021, y que en invierno 2022 habían migrado a Tipología 2 y 3, perdiendo, además, la macro-zona Intermedia en este último caso, parece ser que en invierno 2024 han migrado completamente a Tipología 2, no observándose, por primera vez, desde invierno 2016, ningún representante de Tipología 1 en I-11. Similar a lo mencionado anteriormente, la estación I-17 tampoco observó tapetes de Tipología 1, al igual que en invierno 2022, donde la única muestra que se reportó en la campaña invierno 2021, había migrado a Tipología 3, perdiendo su macro-zona Intermedia y Profunda, mientras que se mantuvo la proporción neta en la Tipología 2 (**Tabla N° 13-26**). Cabe destacar que esta estación, se destaca por no presentar o sólo en baja prevalencia (33%) tapetes de Tipología 1. De este modo y como se mencionó anteriormente, el hecho que los tapetes puedan estar cambiando su tipología, podría indicar la existencia de un efecto ambiental que pudiese estar alterando la estructuración de estas comunidades microbianas de una parte de Laguna Interna, particularmente en I-11 pero no en I-17.

Tabla N° 13-25. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Saladita, inviernos 2016 a 2024.

Año/Muestra			Laguna Saladita																											
			2016			2017					2018	2019				2020		2021		2022						2024				
			S-11			SA-25		S-11			SA-25	SA-25 C		S-11		SA-25 C		S-11 P		S-11 P			SA-25 C			S-11 P			SA-25 C	
			1	2	3	4	5	1	3	4	3	2	3	2	3	1	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3
Macrozona	Subsuperficial	Blanco																												
		Naranja																												
		Verde																												
		Verde claro																												
		Verde oscuro																												
		Amarillo claro																												
	Intermedia	Blanco																												
		Rosado																												
		Rosado claro																												
		Rojo púrpura																												
		Purpura																												
	Profunda	Verde opaco																												
		Verde opaco claro																												
		Marrón																												
		Marrón claro																												
		Marrón oscuro																												
		Gris																												
		Gris claro																												
		Verde																												
		Marrón naranja																												
		Blanco																												
		Rosado																												
		Rosado claro																												
		Amarillo claro																												
		Negro																												

*Laguna Saladita no fue muestreada en invierno 2023.
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-26. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna Interna, inviernos 2016 a 2024.

Año/Muestra			Laguna Interna														
			2017			2018				2019	2020	2021					2022
			I-11		I-17	I-11			I-17	I-11 P	I-11 C	I-11 C			I-17 P		I-11 C
			1	2	2	1	2	3	3	2	3	1	2	3	2		1
Macrozona	Subsuperficial	Blanco															
		Naranja															
		Verde															
		Verde claro															
		Verde oscuro															
		Amarillo claro															
	Intermedia	Blanco															
		Rosado															
		Rosado claro															
		Rojo púrpura															
		Purpura															
	Profunda	Verde opaco															
		Verde opaco claro															
		Marrón															
		Marrón claro															
		Marrón oscuro															
		Gris															
		Gris claro															
		Verde															
		Marrón naranja															
		Blanco															
		Rosado															
		Rosado claro															
		Amarillo claro															
		Negro															

*Tipología 1 no fue reportada en invierno 2016 ni en invierno 2024 en Laguna Interna
**Laguna Interna no fue muestreada en invierno 2023.
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

En Laguna Salada, la presencia de tapetes de Tipología 2 fue registrada en sólo una muestra, perteneciente a la estación S6-A, la cual había exhibido un 100% de tapetes de Tipología 1 en la campaña anterior, siendo la primera vez, desde invierno 2020, en que esta laguna vuelve a registrar un tapete de Tipología 2. Este tapete, perdió la macro-zona Profunda, principalmente, la tonalidad marrón a diferencia de campañas anteriores (invierno 2019 y 2020) donde se habían perdido las tonalidades verde y naranja, correspondientes a la maco-zona Subsuperficial (**Tabla N° 13-27**). Dado que Laguna Salada no pudo ser muestreada en invierno 2024, no se pueden obtener mayores conclusiones de estas estaciones de monitoreo.

Sobre Laguna Saladita, se pudo observar que la proporción neta de tapetes de Tipología 2 no tuvo cambios entre invierno 2024 y 2022, evidenciándose sólo un tapete coriáceo (33%) de la estación SA-25. La estación SA-25 se caracteriza por presentar tapetes de Tipología 2, por lo que los cambios a nivel de proporción en esta tipología, durante invierno 2022 y mantenidos durante invierno 2024, muestran una disminución de 75% en la prevalencia de esta tipología, respecto a invierno 2021, los cuales migraron a Tipología 1 en invierno 2022 y se han mantenido con esta conformación macroscópica hasta invierno 2024. Cabe destacar que es la segunda campaña consecutiva, desde invierno 2019, en la que se ven reducidos casi por completo los tapetes de Tipología 2 en esta laguna. Este cambio en la tipología se representa en la recuperación de la macro-zona Profunda, de tonalidad marrón, que habían perdido los tapetes coriáceos de SA-25. Este fenómeno de recuperación podría sugerir la presencia de condiciones ambientales que podrían estar alterando la formación y estructura de estos tapetes microbianos, provocando que reestructuren sus capas, migrando de Tipología 1 a 2 o viceversa (**Tabla N° 13-28**). Se sugiere mantener el seguimiento de estos tapetes y evaluar su reconfiguración tipológica en el tiempo.

En Laguna Interna, se observó la mayor proporción de tapetes de Tipología 2, mostrando una prevalencia de 83%, entre tapetes superficiales planos y coriáceos, en I-11, mientras que en invierno 2022 se había reportado un tapete (17%) con esta tipología. De esta forma, los tapetes migraron de Tipología 1 a Tipología 2, perdiendo la macro-zona Profunda (capas de tonalidad marrón). Si bien la estación I-11 se caracteriza por exhibir tapetes con esta tipología, invierno 2024 es la campaña donde se ha detectado la mayor presencia de tapetes de Tipología, mientras que anteriormente habían sido registrados en invierno 2019. Por otro lado, la estación I-17, exhibió el 100% de sus tapetes con Tipología 2 durante invierno 2024, a diferencia de invierno 2022 y 2021 donde el 66% de sus tapetes mostraron esta conformación tipológica. Cabe destacar que la estación I-17, se caracteriza por presentar tapetes de Tipología 2 (**Tabla N° 13-29**).

Tabla N° 13-27. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Salada, inviernos 2016 a 2022.

Año/Muestra			Salada														
			2018		2019						2020						2022
			S-9		S-6A			S-9			S-6A			S-9			S6-A P
			2	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2
Macrozona	Subsuperficial	Naranja															
		Verde															
		Verde claro															
		Verde amarillo															
		Verde oscuro															
		Rosado															
		Amarillo															
		Amarillo claro															
	Intermedia	Blanco															
		Rosado															
		Verde															
		Verde claro															
		Naranjo															
		Amarillo															
		Púrpura															
	Profunda	Verde oscuro															
		Marrón															
		Marrón claro															
		Amarillo															
		Púrpura															
		Verde claro															
		Verde															
		Negro															

*Tipología 2 no fue reportada en inviernos 2016, 2017 y 2021 en Laguna Salada
**Laguna Salada no fue muestreada ni en invierno 2023 ni en invierno 2024.
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-28. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Saladita, inviernos 2016 a 2024

Año/Muestra			Saladita																	
			2016	2017	2018	2019				2020					2021				2022	2024
			SA-25	S-11	S-11	S-11	SA-25 C	SA-25 P		S-11			SA-25 C	SA-25 P	S-11 P	SA-25 C		SA-25 P	SA-25 P	SA-25 C
			3	2	3	3	1	1	2	3	1	2	3	2	1	1	2	3	1	1	2
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																			
		Verde																			
		Verde claro																			
		Verde amarillo																			
		Verde oscuro																			
		Rosado																			
		Naranja claro																			
		Amarillo																			
		Amarillo claro																			
	Intermedia	Blanco																			
		Rosado																			
		Verde																			
		Verde claro																			
		Naranjo																			
		Amarillo																			
		Púrpura																			
		Blanco																			
	Profunda	Verde oscuro																			
		Marrón																			
		Marrón claro																			
		Amarillo																			
		Púrpura																			
		Verde claro																			
		Verde																			
		Rosado																			
		Negro																			

*Laguna Saladita no fue muestreada en invierno 2023.
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 13-29. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna Interna, inviernos 2016 a 2024

Año/Muestra			Interna																								
			2017		2018	2019						2020			2021		2022			2024							
			I-17		I-17	I-11 C		I-11 P		I-17			I-11 C	I-17	I-17 P		I-11 C	I-17 P		I-11 P			I-11 C		I-17 P		
			1	3	2	1	3	1	3	1	2	3	1	2	3	1	3	2	1	3	1	2	3	1	3	1	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																									
		Verde																									
		Verde claro																									
		Verde amarillo																									
		Verde oscuro																									
		Rosado																									
		Naranja claro																									
		Amarillo																									
		Amarillo claro																									
	Intermedia	Blanco																									
		Rosado																									
		Verde																									
		Verde claro																									
		Naranjo																									
		Amarillo																									
		Púrpura																									
		Blanco																									
	Profunda	Verde oscuro																									
		Marrón																									
		Marrón claro																									
		Amarillo																									
		Púrpura																									
		Verde claro																									
		Verde																									
		Rosado																									
		Negro																									

*Tipología 2 no fue reportada en invierno 2016 en Laguna Interna
**Laguna Interna no fue muestreada en invierno 2023.
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

Respecto a Tipología 3, se observó un aumento de 33% en la prevalencia de esta conformación en la estación SA-25, siendo así, todos los tapetes superficiales planos (100%) correspondientes a Tipología 3. No obstante, los tapetes superficiales planos de esta estación se han caracterizado por presentar esta conformación macroscópica a lo largo de las campañas de invierno (**Tabla N° 13-30**).

Por otro lado, en Laguna Interna, se observó sólo una muestra de tapetes de Tipología 3, particularmente en la estación I-11, lo cual mostraría una disminución de la proporción neta de 67% (en invierno 2022) a 17% (en invierno 2024). Así, los tapetes de I-17 migraron desde Tipología 3 a Tipología 2, los cuales recuperaron la macro-zona Intermedia, de tonalidad rosada o púrpura. Cabe destacar que los tapetes planos superficiales planos de la estación I-11, se caracterizan por presentar esta conformación tipológica, mientras que, en esta ocasión, se detectó una muestra de tapetes coriáceos (**Tabla N° 13-31**).

Tabla N° 13-30. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Laguna Saladita, inviernos 2016 a 2024.

Año/Muestra			Saladita																				
			2016		2017				2018					2020	2021			2022		2024			
			SA-25		SA-25				SA-25			S-11		SA-25 P	SA-25 C	SA-25 P		SA-25 P		SA-25 P			
			1	2	1	2	3	6	1	2	4	1	2	3	1	2	3	2	3	1	2	3	
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																					
		Blanco																					
		Rosado claro																					
		Naranja																					
		Amarillo																					
		Verde																					
		Verde claro																					
		Naranja claro																					
		Marrón claro																					
		Amarillo claro																					
	Intermedia	Blanco																					
		Amarillo																					
		Naranjo																					
		Verde																					
		Verde claro																					
		Púrpura																					

*Tipología 3 no fue reportada en invierno 2017 en Laguna Interna
**Laguna Saladita no fue muestreada en invierno 2023.
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-31. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Laguna Interna, inviernos 2016 a 2024.

Año/Muestra			Interna																					
			2016						2018	2019	2020					2021			2022					2024
			I-11		I-17				I-17	I-11 C	I-11 P			I-17		I-11 P			I-11 P			I-11 C	I-17 P	I-11 C
			1	2	1	2	3	4	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3	3	2	3
Macrozona	Subsuperficial	Rosado																						
		Blanco																						
		Rosado claro																						
		Naranja																						
		Amarillo																						
		Verde																						
		Verde claro																						
		Naranja claro																						
		Marrón claro																						
		Amarillo claro																						
	Intermedia	Blanco																						
		Amarillo																						
		Naranjo																						
		Verde																						
		Verde claro																						
		Púrpura																						

*Tipología 3 no fue reportada en invierno 2017 en Laguna Interna
**Laguna Interna no fue muestreada en invierno 2023.
-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
Fuente: Elaboración propia

13.3.3.4 Aspectos generales

Las diferentes tonalidades observadas en los tapetes se corresponden con diferentes grupos funcionales y comunidades microbianas que habitan estos ambientes y la estratificación responde a una organización dinámica entre estas distintas comunidades las cuales se benefician unas a otras. Este ordenamiento, va ligado, principalmente a la radiación solar, por lo que los organismos que realizan fotosíntesis (*i.e*. cianobacterias, microalgas, diatomeas) deben estar más expuestos a dicha radiación, por lo que se disponen principalmente en la parte superior de los tapetes (Stal, 2000).

La coloración verdosa es clásica de organismos fotosintéticos debido a la presencia de clorofila y/o bacterioclorofila (Madigan *et al*., 2009). Por tanto, el ordenamiento de las tonalidades observadas en este monitoreo (invierno 2024), y aproximado a lo descrito por Rodríguez-Aranda y Sanz-Montero, 2015, se corresponden con: i) verde y/o naranjo en la macro-zona Subsuperficial, ii) rosado y/o púrpura en la macro-zona Intermedia, y iii) marrón y/o verde claro en la macro-zona Profunda. La coloración verde, indicaría la presencia de organismos fotosintéticos oxigénicos tales como microalgas, diatomeas y cianobacterias, en este contexto, la coloración naranja, puede deberse a una producción de carotenoides que sirven como protección a la excesiva radiación UV detectada en el Salar de Atacama y que pueden ser producidos por organismos como las microalgas (Guedes *et al.,* 2011).

En la macro-zona Intermedia, se pueden observar tonalidades de color rosado o púrpura, lo cual se correspondería a bacterias púrpuras sulfúreas o bacterias rojas sulfúreas *(i.e.* autótrofas fotosintéticas anoxigénicas), las cuales tienen un metabolismo estrechamente ligado al ciclo del azufre ya que, a diferencia de los organismos fotosintéticos oxigénicos, estas bacterias producen fotosíntesis, pero no requieren agua, sino que azufre para realizar dicho proceso (Madigan *et al*., 2009, Gerardi y Lytle, 2015; Rogozin *et al.,* 2016). Estas bacterias, no necesitan de un ambiente totalmente aerobio-oxigénico, por lo que se ubican en la mitad de la estratificación de capas (Madigan et al., 2009; Gerardi y Lytle, 2015). Similarmente, se encuentran las bacterias verdes del azufre, las cuales realizan fotosíntesis, sin oxígeno, sino que ocupan azufre y es por eso que se les puede ubicar en una parte más profunda del tapete microbiano (Gerardi y Lytle, 2015).

En las capas profundas, se pueden observar tonalidades más oscuras, como marrón o púrpura e inclusive negro, lo que correspondería a bacterias anoxigénicas anaerobias (i.e. sulfatorreductoras) y muy posiblemente a microrganismos productores de metano (metanogénicas) los cuales pertenecerían al Dominio *Arquea* (Dorador *et al.,* 2010).

Cabe mencionar, que si bien se estudia la tipología, el número de capas y espesor de los tapetes, no necesariamente la tipología se asocia o correlaciona directamente con el número de capas, sino más bien, con la coloración que exhiben los tapetes, los cuales representan la

funcionalidad de las comunidades, las cuales, a su vez, se asocian con las macrozonas de estas estructuras. En ese contexto, si se observan capas verdes y/o naranja (macrozona Subsuperficial), seguido de capas rosada y/o púrpura (macrozona Intermedia) y luego negro y/o café (macrozona Profunda), entonces se habla de Tipología 1. Si el tapete exhibe sólo dos macrozonas, entonces correspondería a Tipología 2, y si sólo exhibe una, entonces sería Tipología 3. Si bien, las capas pueden variar, mientras exista la presencia de, al menos, una capa representante de alguna macrozona, entonces se establece la presencia de ésta. Por ejemplo, un tapete puede tener 3 capas, cada una correspondiente a una macrozona, y ser considerado Tipología 1, mientras que otro tapete, puede tener 6 capas, pero pertenecientes a dos macrozonas, pues entonces, sería considerado Tipología 2.

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia y sus tipologías de tapetes microbianos, se podrían atribuir los cambios a las fluctuaciones de las variables conductividad, la salinidad, oxígeno disuelto y la turbiedad en las lagunas. Estas fluctuaciones, derivadas de las variaciones precipitación-evaporación propias del Salar de Atacama, provocaría diferencias en las conductividades y salinidades y consecuentemente el oxígeno disuelto disponible y la turbiedad en la columna de agua, las que son función de la época del año y del sector, afectando en su conjunto la diversidad de tipologías de los tapetes microbianos.

Los tapetes microbianos son microambientes dinámicos y autorregulados, los cuales pueden cambiar su estructura para ajustarse a las condiciones ambientales externas. Esta, dinámica, hace que cambien su estructura laminar dependiendo de los recursos de los que dispongan, ya sean, principalmente, hídricos o salinos (Prieto-Barajas *et al.,* 2018). Cuando el tapete microbiano se enfrenta a una carencia en estos recursos, tienden a disminuir sus capas y modificar sus macro-zonas, las cuales generalmente se van perdiendo desde la profunda a la subsuperficial. Es por ello, que el agua, que humedece a los tapetes, es un factor crítico para su sustentabilidad (Wong *et al.,* 2016).

13.3.4 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 e invierno 2024 (**Tabla N° 13-32**) y en base a observaciones macroscópicas desde el borde lagunar se sugiere la presencia de microbialitos en el Sector Peine, en la estación I-11 (invierno 2016, 2021, 2022 y 2024) y en el Sector La Punta - La Brava, en las estaciones LP-23 y LB-1 en todos los inviernos. Respecto a las evaporitas, en base a observaciones macroscópicas desde el borde lagunar, se sugiere la presencia de evaporitas en Laguna Interna (I-11) en invierno 2017 y 2018, mientras que en Laguna La Punta (LP-24) a partir de invierno 2017 hasta la presente campaña. Estos cambios, podrían ocurrir como resultado del aumento de la columna de agua, especialmente, en Laguna Interna donde no se pudo observar presencia de evaporitas (estación I-11), previamente observadas en campañas anteriores. A su vez, estos resultados solamente sugieren la presencia de estas estructuras (i.e. evaporitas, microbialitos) ya que la denominación de microbialitos o evaporitas, requiere de análisis específicos de la estructura interna y composición de éstas.

Tabla N° 13-32. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campañas invierno 2016 a 2024.

Estación de Monitoreo	Registro visual																	
	Microbialito									Evaporita								
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
S-5	-	-	-	-	-	-	-	Sin acceso	Sin acceso	-	-	-	-	-	-	-	Sin acceso	Sin acceso
S-6A	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-		
S-9	-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-		
SA-25	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-
S-10	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-
S-11	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-
I-11	+	-	-	-	-	+	+		+	-	+	+	-	-	-	-		-
I-17	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-
LP-23	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LP-24	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
LB-1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LB-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LB-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TB-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TB-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TB-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(+) Presencia, (-) No detección

13.3.5 Análisis evolución veranos 2017 a 2025

13.3.5.1 Análisis y Evolución de Tapetes Microbianos por Sector

Los resultados de los monitoreos de verano en los distintos sectores mostraron que en las campañas verano 2017, 2018 y 2019, el 68,8% de las estaciones registraron presencia de comunidades microbianas. En verano 2021, campaña en la cual no se pudo ingresar al sector Peine y sólo se muestreó el sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, se observó que el 62,5% de las estaciones evaluadas presentaron tapetes microbianos. En la campaña verano 2022, en la cual sólo se obtuvo acceso parcialmente al sector Peine y pleno acceso a los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, se reportó que el 66,7% de las estaciones monitoreadas presentaron tapetes microbianos. En las pasadas campañas verano 2023 y 2024 y la presente campaña verano 2025, no se pudo ingresar al sector Peine y sólo se muestreó el sector La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo, donde se observó que el 62,5% de las estaciones evaluadas presentaron tapetes microbianos.

En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos según la aproximación propuesta por macro-zonas, en la campaña verano 2025, se observaron dos principales tipologías de tapetes, las que corresponden a:

A.-TIPOLOGÍA 1, tapetes que presentan 3 macro-zonas de pigmentación:
- Capas Subsuperficiales de tonalidad verde y/o naranja
- Capas Intermedias de tonalidad rosada y/o púrpura
- Capas Profundas de tonalidades color marrón y/o verde

B.-TIPOLOGÍA 3, tapetes que presentan solo una macro-zona:
- Capa Subsuperficial de tonalidad verde, rosado y/o naranja

En relación con la estructura de pigmentación, en las 7 campañas de monitoreo de verano (2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024), en tapetes microbianos, se observó la presencia de las tres tipologías, mientras que en la presente campaña verano 2025, se observó la presencia sólo de Tipología 1 y 3. Cabe destacar que, la campaña de verano 2020, no fue posible realizarla producto de la pandemia COVID-19.

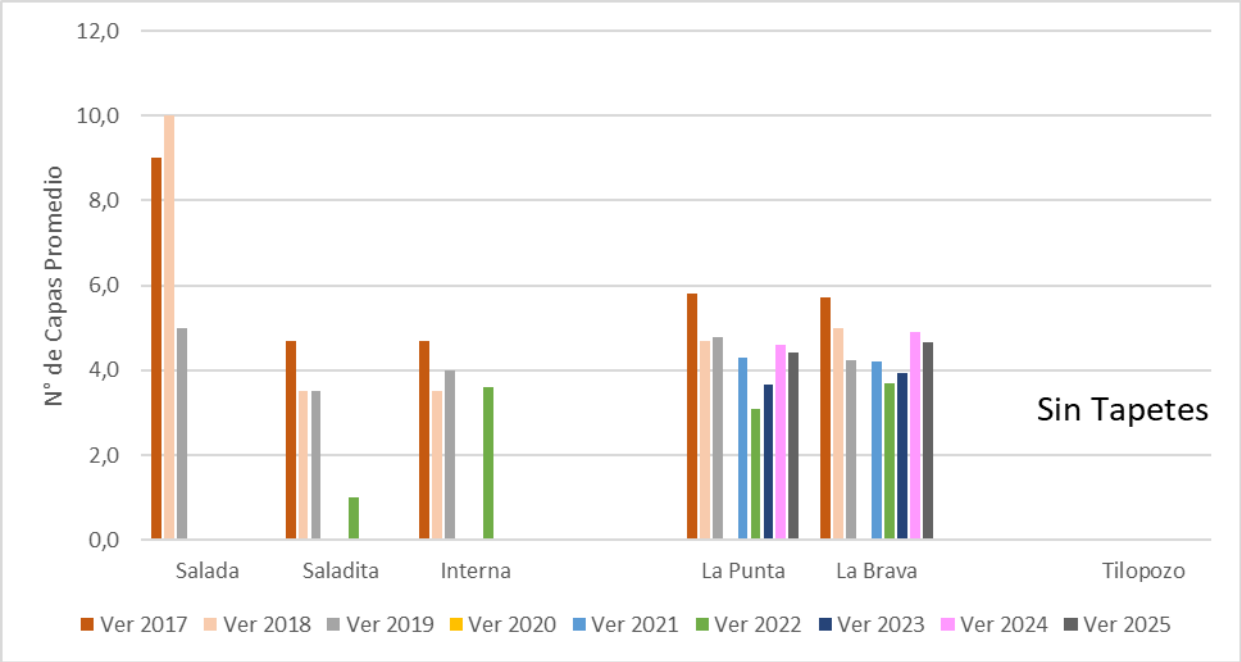
Para el **sector La Punta-La Brava**, en la campaña verano 2025, se mantuvo una proporción de tapetes de Tipología 1 similar a verano 2024, luego de un aumento de esta tipología observado respecto a las anteriores campañas de verano (2021, 2022 y 2023), mientras que se ha mantenido en valores similares a verano 2017, 2018 y 2019. Dentro de las estaciones de monitoreo que más cambiaron, respecto de la última campaña verano 2024, destaca LB-3 donde todos los tapetes exhibieron Tipología 1, mostrando similares patrones a los de campañas anteriores (verano 2017 a 2019 y 2022) en las cuales se registraron, principalmente, tapetes Tipología 1.

Dentro de las estaciones de monitoreo 2025, la mayoría no mostró cambios respecto a verano 2024 en las Tipologías, excepto en LB-3 donde uno de los tapetes muestreados migró de Tipología 2 a Tipología 1 con el 100% de las muestras de tapetes, exhibiendo las tres macro-zonas. De este modo, un tapete de Tipología 1 (que contiene las tres macro-zonas macroscópicas: Subsuperficial, Intermedia y Profunda), sugeriría que está en condiciones óptimas, dado que se estarían evidenciando las tres principales zonas funcionales que dan forma al microambiente del tapete. Por el contrario, la baja disponibilidad de agua podría afectar a los microorganismos de estas estructuras, haciendo que los tapetes modificasen su conformación (macro-zonas) tipológica, pasando de Tipología 1 a 2 o incluso 3, y por consiguiente, perdiesen funcionalidad ecológica (i.e. fotosintética, en la participación en ciclos biogeoquímicos, productora de nutrientes, entre otros) (**Figura N° 13-22**).

Respecto al sector La Punta-La Brava, entre la campaña verano 2017 y verano 2025 se observa que las capas promedio registraron una leve disminución, que varió desde 5,8 a 4,4 capas, respectivamente, en laguna La Punta y de 5,7 a 4,7 capas, respectivamente, en laguna La Brava, reduciendo levemente la tendencia al aumento del número de capas en los tapetes de estas lagunas (**Figura N° 13-22**). Específicamente, en laguna La Punta, las capas se mantuvieron similares entre verano 2018 y verano 2019, con 4,7 y 4,8 capas promedio, respectivamente, anotando una diferencia de 0,1 capas, mientras que en verano 2021, bajó a 4,3 capas promedio, lo que significó una variación total de 0,5 capas. Por otro lado, en verano de 2022 se observó una mayor disminución de las capas promedio, la cual alcanzó las 3,1 capas promedio, para luego recuperarse en verano 2023 y verano 2024 hasta llegar a 3,7 y 4,6 capas promedio, respectivamente un aumento de 0,6 capas promedio entre verano 2022 y 2023 y de 0,9 capas promedio entre verano 2023 y 2024. En verano 2025, los tapetes mostraron una leve reducción de 0,2 capas promedio respecto a verano 2024 (**Figura N° 13-22**).

Respecto de la laguna La Brava, las capas se mantuvieron iguales entre verano 2019 y verano 2021, con 4,2 capas, mientras que, en verano 2022, bajó a 3,7, marcando, también, una variación total de 0,5 capas, la cual subió 0,2 capas promedio, alcanzando 3,9 capas en verano 2023. Por otro lado, en verano 2024, hubo un aumento de 1 capa promedio respecto de verano 2023, llegando a alcanzar 4,9 capas promedio. En verano 2025, los tapetes mostraron una leve reducción de 0,2 capas promedio respecto a verano 2024 (**Figura N° 13-22**). Por último, el sector Vegas de Tilopozo, se mantiene sin tapetes microbianos en la actual campaña, así como en las campañas de verano anteriores (**Figura N° 13-22**).

Figura N° 13-22. Número de capas promedio de tapetes microbianos, en los sectores Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo. Verano 2017 a 2025.

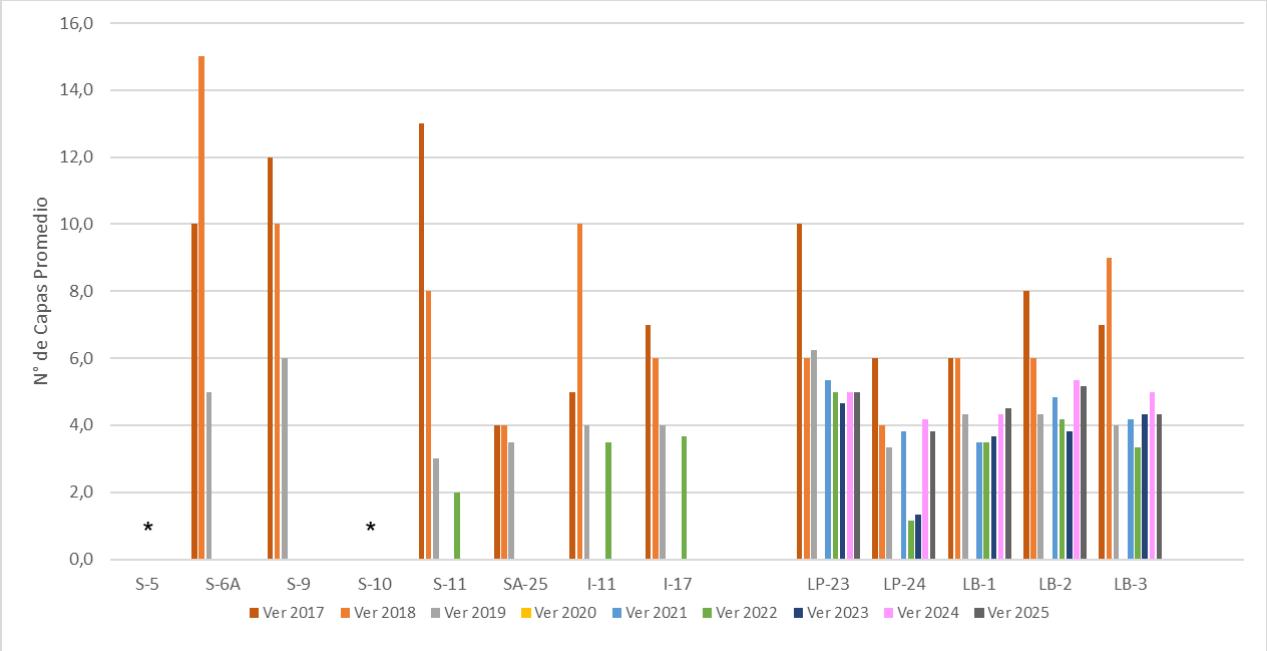


Campaña verano 2020, no se realizó producto pandemia COVID-19.
(*) Verano 2024, se monitorearon solo 8 estaciones, sin acceso al Sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos.
Fuente: Elaboración propia

Al analizar el número de capas por estación de monitoreo (**Figura N° 13-23**), se observa que en laguna La Punta, la estación LP-23 en verano 2025 no presentó cambios manteniendo las 5,0 capas promedio, que ha exhibido, como mínimo, en las anteriores campañas de verano. La estación LP-24, también mostró una disminución de 0,3 capas promedio en verano 2025, respecto de verano 2024, no obstante, sigue siendo mayor a los valores observados de 1,2 y 1,3 capas promedio en verano 2022 y 2023, respectivamente, lo cual significa una variación de 2,7 y 2,5 capas promedio respecto a verano 2022 y 2023, respectivamente. Así, el menor número de capas promedio registrado a la fecha, fue observada en verano 2022 (1,2 capas), donde hubo una disminución desde 4,0 capas en verano 2021 a 1,2 capa en verano 2022, seguida de 1,3 capas, en verano 2023, es decir, entre 2021 a 2023 hubo cerca de un 75% de reducción. Si bien en verano 2017 se anotó el mayor número de capas promedios de esta laguna, con 10 y 6 capas promedio para LP-23 y LP-24, respectivamente, la disminución se había mantenido en rangos que variaban entre 5 - 6 (LP-23) y 3 - 4 (LP-24) capas promedio hasta verano 2021, mientras que en verano 2024 y 2025, los tapetes han vuelto a mostrar un número de capas promedio en dichos rangos o sobre estos. Esta variación sugiere que hay que mantener especial atención en la evolución de los tapetes de esta laguna. Cabe destacar, además, que, al igual que en verano 2022, 2023 y 2024, la estación LP-24 no evidenció tapetes sumergidos, aunque embebidos en agua, los cuales si habían sido registrados entre verano 2017 y verano 2021.

En laguna La Brava, el número de capas que se ha mantenido sin mayores variaciones, en las cuales tanto LB-1 como LB-2, se mantuvieron en rangos vistos en anteriores veranos (~4,0 capas promedio), en la presente campaña se observa una variación en el número de capas promedio de 4,3 a 4,5 capas en LB-1 y de 5,3 a 5,2 capas en LB-2, un aumento y disminución, de 0,2 y 0,1 capas promedio, respectivamente, entre verano 2024 a 2025. Por otro lado, LB-3 que había anotado un leve aumento de este parámetro en verano 2023 a 2024, mostró una disminución en el número de capas, pasando de 5,0 a 4,3 capas promedio, una disminución de 0,7 capas, mismos valores vistos en verano 2023 (**Figura N° 13-23**). De este modo, la estación LB-1 aumentó levemente el número de capas de los tapetes, mientras que LB-2 y LB-3 mostraron disminuciones. Así, la mayor variación en el número de capas, entre periodos de verano, fue observado en LB-3.

Figura N° 13-23. Número de capas promedio de tapetes microbianos, por estación de monitoreo. Verano 2017 a 2025.



(*) Indica ausencia de tapetes microbianos en la estación.
Campaña verano 2020, no se realizó producto pandemia COVID-19.
(**)De 16 estaciones se monitorearon solo 8, ya que no se tuvo acceso al Sector Peine debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos, indicado por las gráficas faltantes para ciertas campañas de verano.
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, respecto a la morfología de los tapetes microbianos, a partir de las ocho campañas de verano llevadas a cabo, se distinguen principalmente 3 tipos: 1) Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados y pigmentados, característicos de laguna Salada y laguna La Punta; 2) Tapetes convexos, con apariencia, consistencia y textura de tipo

coriácea (semejante al cuero), los cuales predominan en laguna La Brava (LB-1); y 3) Tapetes planos, de textura superficial mucilaginosa, de consistencia blanda y granular, detectados especialmente en laguna La Brava (LB-1 y LB-2), observados en verano de 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025.

13.3.6 Estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos

A continuación, se discuten los aspectos más relevantes referidos a la estructura de pigmentación y tonalidad de tapetes microbianos según cada sector en los monitoreos semestrales de verano, realizados en 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, sólo en las zonas que hubo datos en 2025.

13.3.6.1 Sector La Punta-La Brava

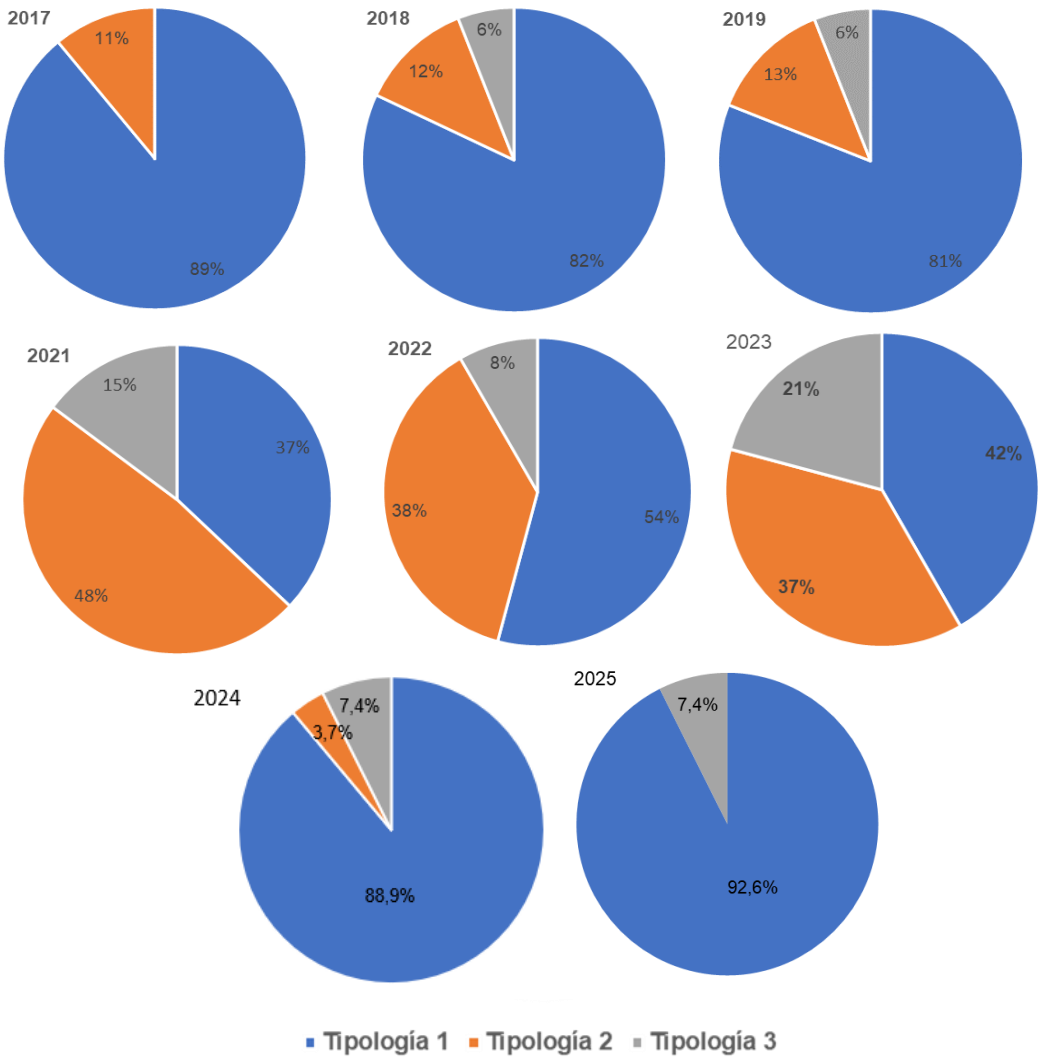
El sector La Punta-La Brava, presentó tapetes de Tipología 1 y 2 durante las campañas de verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024. Por otro lado, la Tipología 3 fue observada en todas las campañas, excepto en verano 2017. No obstante, en verano 2025, sólo presentó tapetes de Tipología 1 y 3. Durante verano 2025, hubo un aumento de 3,7% en la Tipología 1, respecto de verano 2024. Por otro lado, los tapetes con Tipología 2 disminuyeron completamente, siendo el correspondiente 3,7% que migró a Tipología 1. En el mismo sentido, se observó que la Tipología 3, para verano 2025 se mantuvo igual (7,4%, equivalente a 2 muestras de un total de 27) respecto a verano 2024.

A nivel de lagunas, la laguna La Punta, no presentó cambios respecto a verano 2024, exhibiendo tapetes de Tipología 1 y 3 en la misma proporción, con 78% (7 muestras en LP-23 y LP-24) y 22% (2 muestras en LP-24), respectivamente. Anteriormente, la Tipología 2 se había observado en verano 2023. Por otro lado, en la Laguna La Brava, las estaciones LB-1 ni LB-2 no mostraron variación en la Tipología 1, exhibiendo el 100% de las muestras con esta conformación tipológica. Por otro lado, en LB-3, la Tipología 1 aumentó 1,2 veces respecto a verano 2024, donde una muestra de Tipología 2, migró a Tipología 1. Así, se observa un aumento en la prevalencia de la Tipología 1, valores que se contraponen con la tendencia que se venía registrando en veranos anteriores (con 89% en 2017 a 37% en 2021), donde dicha Tipología se mantenía en rangos entre 37 a 89%. Las variaciones en las Tipologías 1, 2 y 3, se deberían principalmente al aumento de Tipología 1 en todas las estaciones del sector La Punta-La Brava.

De este modo, en el sector La Punta-La Brava, la disminución de tapetes tipología 1 observada desde verano 2019, se recupera, alcanzando un 92,6% en verano 2025. Esto, representa una recuperación a niveles observados en verano 2017 (89%). La Tipología 2, redujo completamente su prevalencia respecto a verano 2024 y a verano 2017. Finalmente, hay que destacar que la Tipología 3, si bien, mostraba una estabilización en su prevalencia entre verano 2018 y 2019, y luego de un aumento de 2,5 veces en verano 2021 y de 2,5 veces

respecto verano 2022, esta vez se ve reducida respecto a verano 2021, 2022 y 2023, en 2024 y 2025 está aumentada (7,4%) respecto a verano 2017 (**Figura N° 13-24**).

Figura N° 13-24. Proporción de Tipologías de Tapetes en el sector La Punta-La Brava, Verano 2017 a 2025.

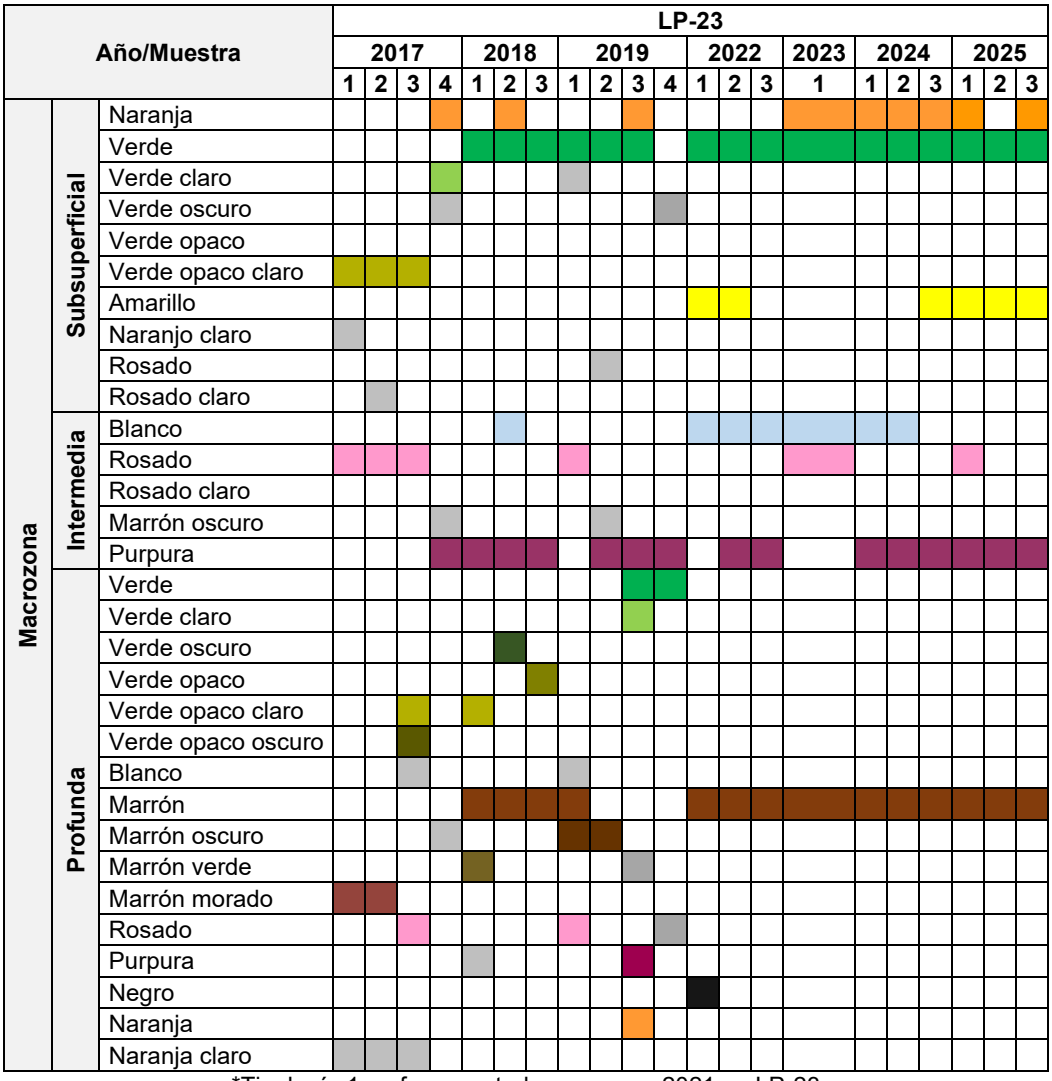


Fuente: Elaboración propia

En la laguna La Punta, los tapetes de Tipología 1 se mantuvieron sin variación respecto a verano 2024, y luego del aumento de esta tipología en todas las muestras de la estación LP-23 respecto a lo observado en la campaña verano 2023. No obstante, es similar a todas las campañas anteriores (verano 2017 a 2022), en que se había exhibido esta conformación tipológica, excepto verano 2021. Los tapetes de esta estación recuperaron la macro-zona intermedia (tonalidad púrpura y/o blanco) (**Tabla N° 13-33**). La tipología 1 también fue detectada en la estación de monitoreo LP-24, en cuatro de las muestras observadas (2 de

tapetes superficiales planos y dos de tapetes sumergidos), de igual forma que en verano 2024 y condiciéndose con anteriores campañas (verano 2017 a 2021), donde siempre había exhibido al menos una muestra con esta conformación de macro-zonas (**Tabla N° 13-34**).

Tabla N° 13-33. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-23. Campaña verano, 2017 a 2025.



*Tipología 1 no fue reportada en verano 2021 en LP-23
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-34. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Punta, estación LP-24. Campaña verano, 2017 a 2025.

Año/Muestra			LP-24													
			2017		2018	2019		2021	2024				2025			
			1	2	1	1	2	3	1-P	1-C	2-C	3-C	1-P	1-C	2-C	3-C
Macrozona	Subsuperficial	Naranja														
		Verde														
		Verde claro														
		Verde oscuro														
		Verde opaco														
		Verde opaco claro														
		Naranjo claro														
		Rosado														
		Rosado claro														
	Intermedia	Blanco														
		Rosado														
		Rosado claro														
		Marrón oscuro														
		Purpura														
	Profunda	Verde														
		Verde claro														
		Verde oscuro														
		Verde opaco														
		Verde opaco claro														
		Verde opaco oscuro														
		Blanco														
		Marrón														
		Marrón oscuro														
		Marrón verde														
		Marrón morado														
		Rosado														
		Purpura														
		Amarillo														
		Naranja														
		Naranja claro														

*Tipología 1 no fue reportada en verano 2022 ni 2023 en LP-24
Fuente: Elaboración propia

En la laguna La Brava, no se observaron cambios entre verano 2024 y 2025 en LB-1 y LB-2, mostrando la misma prevalencia de la Tipología 1. Sin embargo, en la estación LB-3 se observó un aumento en los tapetes de Tipología 1, debido a una migración de los tapetes de Tipología 2 a Tipología 1 (**Tabla N° 13-35**). Similar efecto se había observado en LB-2 (**Tabla N° 13-36**) y LB-3 (**Tabla N° 13-37**) donde hubo un aumento de Tipología 1 en verano 2024 respecto a verano 2023, donde también los tapetes de Tipología 2, recuperaron la Tipología 1. Cabe destacar, que LB-1 es una estación que se caracteriza por exhibir tapetes con Tipología 1. De igual forma que LB-1, la estación LB-2 se caracteriza por presentar tapetes con Tipología 1, siendo hallados en todas las campañas de verano anteriores (2017 a 2022), sin mayor cambio aparente. En el caso específico de LB-1 (**Tabla N° 13-35**) y LB-2 (**Tabla N° 13-36**), los tapetes recuperaron la macro-zona que había perdido, correspondiente a la

profunda (tonalidad marrón o verde claro). Los fenómenos de disminución de Tipologías (i.e. Tipología 1), podría ser indicativos de cambios en las condiciones en las que se insertan y, por consiguiente, de las capas de microorganismos que pueden disminuir y que se encuentran asociados a estas macro-zonas. Respecto a LB-3, se observó un aumento en la Tipología 1 en verano 2024, a valores similares a verano 2019 y que se había reducido en verano 2021, mostrando recuperación de la macro-zona profunda (tonalidad marrón), destacando así, que LB-3 también es una estación que se caracteriza por presentar tapetes de Tipología 1 (**Tabla N° 13-37**).

Tabla N° 13-35. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-1. Campaña verano, 2017 a 2025.

Macrozona		Año/Muestra	LB-1																													
			2017			2018				2019			2021	2022					2023	2024						2025					
			1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	2-C	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																														
		Verde																														
		Verde claro																														
		Verde oscuro																														
		Verde amarillo																														
		Verde opaco claro																														
		Amarillo																														
		Amarillo claro																														
		Rosado																														
		Marrón claro																														
	Intermedia	Blanco																														
		Rosado																														
		Rosado claro																														
		Púrpura																														
	Profunda	Verde claro																														
		Verde opaco																														
		Verde oscuro																														
		Verde opaco oscuro																														
		Blanco																														
		Marrón																														
		Marrón claro																														
		Marrón oscuro																														
		Marrón naranja																														
		Marrón naranja oscuro																														
		Amarillo																														
		Negro																														

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

Tabla N° 13-36. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-2. Campaña verano, 2017 a 2025.

Macrozona		Año/Muestra	LB-2																															
			2017			2018			2019			2021					2022						2023			2024						2025			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	1-P	3-P	1-C	2-C	1-P	2-P	1-C	2-C	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C
	Subsuperficial	Naranja																																		
		Verde																																		
		Verde claro																																		
		Verde oscuro																																		
		Verde amarillo																																		
		Verde opaco claro																																		
		Amarillo																																		
		Amarillo claro																																		
		Rosado																																		
		Marrón claro																																		
	Intermedia	Blanco																																		
		Rosado																																		
		Rosado claro																																		
		Púrpura																																		
	Profunda	Verde																																		
		Verde opaco																																		
		Verde oscuro																																		
		Verde opaco oscuro																																		
		Blanco																																		
		Marrón																																		
		Marrón claro																																		
		Marrón oscuro																																		
		Marrón naranja																																		
		Marrón naranja oscuro																																		
		Amarillo																																		
		Negro																																		

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-37. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 1 en Laguna La Brava, estación LB-3. Campaña verano, 2017 a 2025.

Año/Muestra			LB-3																											
			2017			2018			2019	2021			2022	2023				2024					2025								
			1	2	3	1	2	3	1	3-P	1-C	3-C	1-P	2-P	3-P	2-C	3-C	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C	1-P	2-P	3-P	1-C	2-C	3-C	
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																												
		Verde																												
		Verde claro																												
		Verde oscuro																												
		Verde amarillo																												
		Verde opaco claro																												
		Amarillo																												
		Amarillo claro																												
		Rosado																												
		Marrón claro																												
	Intermedia	Blanco																												
		Rosado																												
		Rosado claro																												
		Púrpura																												
	Profunda	Verde claro																												
		Verde opaco																												
		Verde oscuro																												
		Verde opaco oscuro																												
		Blanco																												
		Marrón																												
		Marrón claro																												
		Marrón oscuro																												
		Marrón naranja																												
		Marrón naranja oscuro																												
		Gris																												
		Negro																												

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

Fuente: Elaboración propia

Respecto a Tipología 2, la Laguna La Punta, había exhibido siempre este tipo de tapetes, mientras que en verano 2021 y verano 2023, fueron los cuales se hallaron más tapetes con esta tipología. No obstante, en verano 2024 y 2025 no se evidenció tapetes con esta conformación tipológica. Específicamente, en verano 2023, este tipo de tapetes se observó tanto en LP-23 como en LP-24, todas en muestras de tapetes superficiales planos, lo cual se condice con lo observado en anteriores campañas de verano, principalmente 2021. Así, entre verano 2022 y 2023, en los tapetes con esta conformación macroscópica se observa que habrían perdido la macro-zona intermedia, principalmente, de tonalidad rosada (**Tabla N° 13-38**), contribuyendo a un aumento en la prevalencia de Tipología 2, a nivel general, lo cual representó un aumento de 4 veces respecto a lo registrado en verano 2022, lo cual también se tradujo en una disminución respecto a verano 2022 de los tapetes de Tipología 1 y en consecuencia, de las comunidades microbiológicas que podrían estar habitando el tapete, especialmente, en la zona autótrofa fotosintética anoxigénica del tapete (macro-zona intermedia).

Por tanto, el hecho de no hallar tapetes de Tipología 2 y un aumento en la Tipología 1, sugiere la restauración de dichas capas que se habían perdido. Cabe destacar que en LP-24, donde, junto a los tapetes superficiales planos, también existe registro constante de tapetes sumergidos o humedecidos, los que no fueron detectados ni en verano 2023 ni en verano 2022, ya que la zona de muestreo estaba desecada, lo cual redujo completamente la cantidad de muestras a considerar en cuanto al seguimiento en la evolución de esta estación de monitoreo, por ello, es de destacar que esta estación, mantenía tapetes embebidos en agua (**Tabla N° 13-38**).

Respecto a laguna La Brava, los tapetes de Tipología 2 se habían observado sólo en una de las tres estaciones estudiadas en verano 2024, esto es en tapetes superficiales planos de la estación LB-3, mostrando valores similares a los observados en verano 2019, manteniendo, la Laguna La Brava, notables variaciones, con respecto a los anteriores veranos (2021 a 2023), donde se encontraron, en verano 2021 y 2022, 8 de 9 muestras de tapetes (89%) y en verano 2023 6 de 9 muestras de tapetes (67%) con esta tipología. Ya que en la pasada campaña verano 2024 hubo grandes variaciones (1 de 9 muestras de tapetes con Tipología 2) respecto a verano 2023, se observó una disminución de 7 a 8 veces en la prevalencia de esta tipología, al tomar en cuenta las tres estaciones. Sin embargo, en verano 2025 no hubo tapetes de Tipología 2.

Cabe destacar, que, salvo LB-3, las estaciones LB-1 y LB-2, se caracterizan por poseer, de manera constante, la Tipología 1 y también la Tipología 2, no obstante, el reducido hallazgo de estos últimos se ve representado en la recuperación de la macro-zona profunda (tonalidad marrón) y en menor de la macro-zona intermedia (tonalidades rosado y/o púrpura) (**Tabla N° 13-39**), por lo cual, existiría una variación en las comunidades microbiológicas que habitarían el tapete en la zona anoxigénica-anaerobia, correspondiente a la macro-zona profunda.

Tabla N° 13-38. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna La Punta. Campaña verano, 2017 a 2025.

Año/Muestra			2017	2018		2019	2021					2022	2023		
			LP-24	LP-23	LP-24	LP-24	LP-23			LP-24 P		LP-24 P	LP-23		LP-24 P
			3	3	2	3	1	2	3	2	3	3	2	3	1
Macrozona	Subsuperficial	Naranja													
		Verde													
		Verde claro													
		Verde oscuro													
		Verde opaco claro													
		Amarillo													
		Rosado													
	Intermedia	Rosado													
		Púrpura													
		Verde oscuro													
	Profunda	Verde oscuro													
		Verde opaco claro													
		Verde opaco oscuro													
		Marrón													
		Marrón claro													
		Púrpura													
		Gris													
		Verde													

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo
*Tipología 2 no fue reportada en verano 2024 ni verano 2025 en LP-23 y LP-24
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13-39. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 2 en Laguna La Brava. Campaña verano, 2017 a 2025.

Año/Muestra			2017	2019	2021							2022								2023							2024
			LB-1	LB-3	LB-1 P		LB-1 C		LB-2 C	LB-3 P		LB-3 C	LB-1 C	LB-2 P	LB-2 C	LB-3 P		LB-3 C			LB-1 P		LB-1 C	LB-2 P	LB-2 C	LB-3 C	LB-3 P
			2	3	1	3	1	3	3	1	2	2	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	2	1	3
Macrozona	Subsuperficial	Naranja																									
		Verde																									
		Verde claro																									
		Verde oscuro																									
		Verde opaco claro																									
		Amarillo																									
		Rosado																									
	Interme:	Rosado																									
		Púrpura																									
		Blanco																									
	Profunda	Verde oscuro																									
		Verde opaco claro																									
		Verde opaco oscuro																									
		Marrón																									
		Marrón claro																									
		Negro																									
		Rosado																									

-P: Tapete plano; -C: Tapete coriáceo

*Tipología 2 no fue reportada en verano 2024 en LB-1 ni LB-2, ni en verano 2025 en LB-1, LB-2 ni LB-3

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a Tipología 3, la laguna La Punta exhibió esta tipología en dos muestras de tapetes superficiales planos, tanto en verano 2024 y 2025, similar a lo observado en verano 2022 y 2021, donde la misma estación (LP-24) había exhibido muestras de tapetes. Por otro lado, se había observado muestras de Tipología 3 en laguna La Brava, donde tapetes de las estaciones LB-1 y LB-3 evidenciaron esta conformación macroscópica. La disminución en la prevalencia de esta tipología se debería a la recuperación de las macro-zonas intermedia (tonalidad rosada y/o púrpura) o profunda (tonalidad marrón) de tapetes que en veranos anteriores (2017-2021) habían presentado Tipología 2 o incluso 1. Dado que se había observado esta tipología en LB-1 y LB-3, se había sugerido mantener la atención en este sitio y en la posible recuperación de macro-zonas y/o reestructuración de las tipologías 2 o incluso 1, lo cual se puede observar en la presente campaña 2024 (**Tabla N° 13-40**).

Tabla N° 13-40. Caracterización de capas pigmentadas de tapetes microbianos de Tipología 3 en Lagunas La Punta y La Brava. Campaña verano, 2017 a 2025.

Año/Muestra			2021				2022		2023					2024		2025	
			LP-24 P	LP-24 C		LB-1 P	LP-24 P		LP-24 P		LB-1 P	LB-1 C	LB-3 C	LP-24 P		LP-24 P	
			1	1	2	2	1	2	2	3	3	2	1	1	2	1	2
Macrozona	Subsuperficial	Verde															
		Naranjo															
		Amarillo															
		Rosado															
		Verde claro															

*Tipología 3 no fue reportada en verano 2017 a 2019 en Laguna La Punta y Laguna La Brava
Fuente: Elaboración propia

13.3.6.2 Sector Tilopozo

Este sector ha registrado presencia de tapetes microbianos, en el punto de muestreo TB-2, sólo en la campaña invierno 2016, motivo por el cual fueron ingresadas como estaciones adicionales al monitoreo. En este sector no se detectó la presencia de tapetes microbianos en verano 2025, al igual que en reportes anteriores (verano 2017 a 2025).

13.3.6.3 Sector Peine

En el sector Peine, se observó en todas las campañas de verano (2017 a 2022), las tipologías 1, 2 y 3, de las cuales, la Tipología 1 fue la más frecuente, excepto por verano 2019, donde predominó la Tipología 2. En estos tapetes, se observaron mayormente las tonalidades verde y naranjo en la macrozona Subsuperficial, las tonalidades rosado y púrpura en la macrozona Intermedia y marrón en la macrozona Profunda. En todas las campañas, se observó tapetes de morfología plana.

No se entrega mayor análisis de la evolución de sector de Peine, dado que no hay información desde verano 2023 en adelante que permita hacerlo.

13.3.6.4 Aspectos generales

Las diferentes tonalidades observadas en los tapetes se corresponden con diferentes grupos funcionales y comunidades microbianas que habitan estos ambientes y la estratificación responde a una organización dinámica entre estas distintas comunidades las cuales se benefician unas a otras. Este ordenamiento va ligado, principalmente, a la radiación solar, por lo que los organismos que realizan fotosíntesis (*i.e*. cianobacterias, microalgas, diatomeas) deben estar más expuestos a dicha radiación, por lo que se disponen principalmente en la parte superior de los tapetes (Stal, 2000).

La coloración verdosa es clásica de organismos fotosintéticos debido a la presencia de clorofila y/o bacterioclorofila (Madigan *et al*., 2009). Por tanto, el ordenamiento de las tonalidades observadas en este monitoreo (verano 2025), y aproximado a lo descrito por Rodríguez-Aranda y Sanz-Montero, 2015, se corresponden con: i) verde y/o naranjo en la macro-zona Subsuperficial, ii) rosado y/o púrpura en la macro-zona Intermedia, y iii) marrón y/o verde claro en la macro-zona Profunda. La coloración verde, indicaría la presencia de organismos fotosintéticos oxigénicos tales como microalgas, diatomeas y cianobacterias, en este contexto, la coloración naranja, puede deberse a una producción de carotenoides que sirven como protección a la excesiva radiación UV detectada en el Salar de Atacama y que pueden ser producidos por organismos como las microalgas (Guedes *et al.,* 2011).

En la macro-zona Intermedia, se pueden observar tonalidades de color rosado o púrpura, lo cual se correspondería a bacterias púrpuras sulfúreas o bacterias rojas sulfúreas *(i.e.* autótrofas fotosintéticas anoxigénicas), las cuales tienen un metabolismo estrechamente ligado al ciclo del azufre ya que, a diferencia de los organismos fotosintéticos oxigénicos, estas bacterias producen fotosíntesis, pero no requieren agua, sino que azufre para realizar dicho proceso (Madigan *et al*., 2009, Gerardi y Lytle, 2015; Rogozin *et al.,* 2016). Estas bacterias, no necesitan de un ambiente totalmente aerobio-oxigénico, por lo que se ubican en la mitad de la estratificación de capas (Madigan et al., 2009; Gerardi y Lytle, 2015). Similarmente, se encuentran las bacterias verdes del azufre, las cuales realizan fotosíntesis, sin oxígeno, sino que ocupan azufre y es por eso por lo que se les puede ubicar en una parte más profunda del tapete microbiano (Gerardi y Lytle, 2015).

En las capas profundas, se pueden observar tonalidades más oscuras, como marrón o púrpura e inclusive negro, lo que correspondería a bacterias anoxigénicas anaerobias (i.e. sulfatorreductoras) y muy posiblemente a microrganismos productores de metano (metanogénicas) los cuales pertenecerían al Dominio *Arquea* (Dorador *et al.,* 2010).

Cabe mencionar que, si bien se estudia la tipología, el número de capas y espesor de los tapetes, no necesariamente la tipología se asocia o correlaciona directamente con el número de capas, sino más bien, con la coloración que exhiben los tapetes, los cuales representan la funcionalidad de las comunidades, las cuales, a su vez, se asocian con las macrozonas de estas estructuras. En ese contexto, si se observan capas verdes y/o naranja (macrozona

Subsuperficial), seguido de capas rosada y/o púrpura (macrozona Intermedia) y luego negro y/o café (macrozona Profunda), entonces se habla de Tipología 1. Si el tapete exhibe sólo dos macrozonas, entonces correspondería a Tipología 2, y si sólo exhibe una, entonces sería Tipología 3. Si bien, las capas pueden variar, mientras exista la presencia de, al menos, una capa representante de alguna macrozona, entonces se establece la presencia de ésta. Por ejemplo, un tapete puede tener 3 capas, cada una correspondiente a una macrozona, y ser considerado Tipología 1, mientras que otro tapete, puede tener 6 capas, pero pertenecientes a dos macrozonas, pues entonces, sería considerado Tipología 2.

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia y sus tipologías de tapetes microbianos, se podrían atribuir los cambios a las fluctuaciones de las variables conductividad, la salinidad, oxígeno disuelto y la turbiedad en las lagunas. Estas fluctuaciones, derivadas de las variaciones precipitación-evaporación propias del Salar de Atacama, provocaría diferencias en las conductividades y salinidades y consecuentemente el oxígeno disuelto disponible y la turbiedad en la columna de agua, las que son función de la época del año y del sector, afectando en su conjunto la diversidad de tipologías de los tapetes microbianos.

13.3.7 Presencia de Microbialitos y Evaporitas en los Sistemas

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, para periodos de verano 2017 a 2025 (**Tabla N° 13-41**) y en base a observaciones macroscópicas desde el borde lagunar, se sugiere la presencia de microbialitos en el sector Peine, en la estación I-11 (para verano 2017 a 2021) y en el sector La Punta-La Brava, en la estación LP-23 y en las estaciones LB-1 y LB-3 (para verano 2017 a 2025). Según lo observado entre periodos de verano, se mantiene la presencia de microbialitos en la estación LB-1, en tanto, se mantiene la presencia de posibles microbialitos en la estación LB-3 en los periodos de verano 2021 y 2022.

Respecto a las evaporitas en este sector, se sigue consignando la presencia de posibles evaporitas en la estación LP-24 (Laguna La Punta). Estos resultados solamente sugieren la presencia de estas estructuras (evaporitas, microbialitos) ya que la denominación de microbialitos o evaporitas, requiere de análisis específicos de la estructura interna y composición de éstas.

Tabla N° 13-41. Registro de Microbialitos y Evaporitas en las estaciones de monitoreo. Campaña verano, 2017 a 2025.

Punto de Monitoreo	Registro visual																	
	Microbialito									Evaporita								
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
S-5	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	-	-	-	Pandemia COVID-19	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso	Sin acceso
S-6A	-	-	-							-	-	-						
S-9	-	-	-							-	-	-						
SA-25	-	-	-							-	-	-						
S-10	-	-	-							-	-	-						
S-11	-	-	-			-				-	-	-			-			
I-11	+	+	+			+				-	-	-			-			
I-17	-	-	-			-				-	-	-			-			
LP-23	+	+	+		+	+	+	+	+	-	-	-		-	-	-	-	-
LP-24	+	-	-		-	-	-	-	-	+	+	+		+	+	+	+	+
LB-1	+	+	+		+	+	+	+	+	-	-	-		-	-	-	-	-
LB-2	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
LB-3	-	-	-		+	+	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
TB-1	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
TB-2	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
TB-3	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-

(+) Presencia, (-) No detección

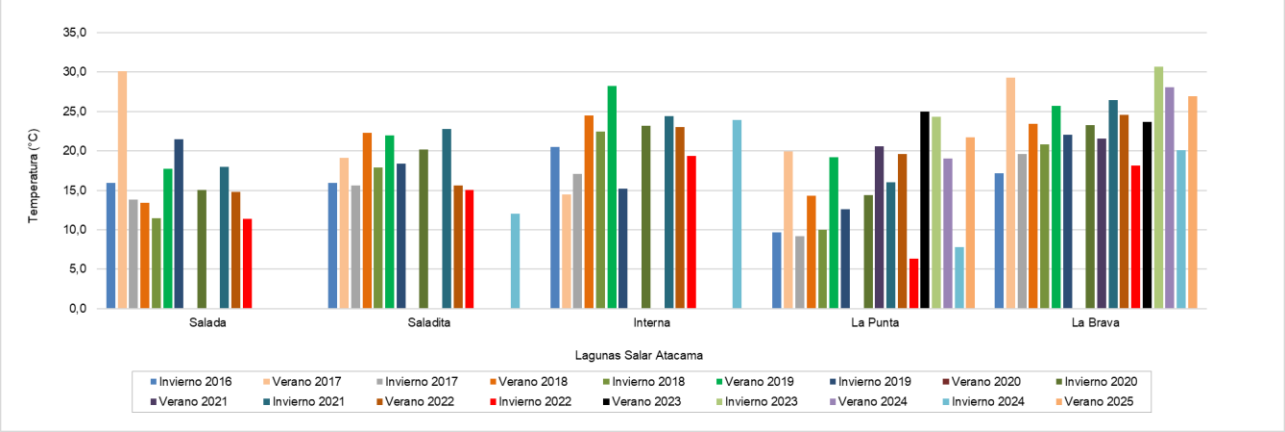
13.3.8 Evolución de Parámetros Físicos y Químicos (2016-2025)

A continuación, se describe la evolución histórica de la calidad de agua y sedimentos de algunas variables de importancia para los tapetes microbianos y por sector (Peine y la Punta-La Brava). Por otra parte, cabe mencionar que en el periodo de verano 2020 no se realizó el monitoreo debido a la pandemia COVID-19 y en el periodo invierno 2021 y en verano 2023 y 2024 no se pudo acceder a Peine debido al periodo reproductivo de los flamencos en el sector, en verano 2022 y 2025 no se accedió a las estaciones de Peine S-9 y SA-25, por la presencia de flamencos.

- *Temperatura*

En relación con la temperatura promedio registrada en periodos invierno y verano, el valor máximo se observó en invierno 2023, con un valor de 30,7 °C en la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2022 con 6,3 °C en la laguna La Punta, sector La Punta-La Brava. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna La Brava y en la laguna Interna y los menores en la laguna La Punta y laguna Salada (**Figura N° 13-25**). Cabe señalar que, el registro de temperatura del agua es variable durante el día, dependiendo de la hora en que se realiza la medición.

Figura N° 13-25. Variación promedio de temperatura (°C) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025.

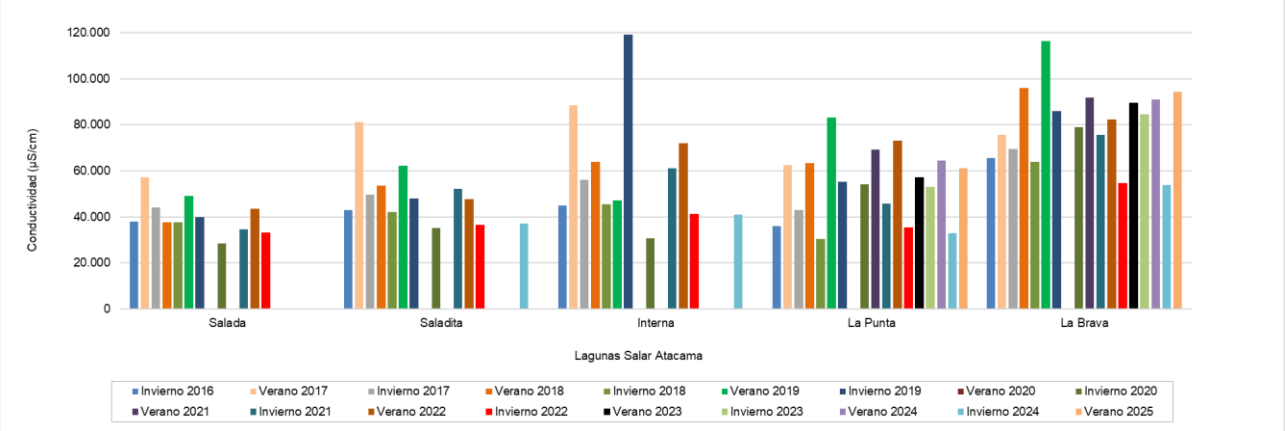


Fuente: Elaboración propia

- *Conductividad*

Para la conductividad registrada en periodos invierno y verano, el valor promedio máximo fue observado en invierno 2019, con un valor de 119.100 µS/cm en la laguna Interna, sector Peine. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2020 con 28.335 µS/cm en la laguna Salada, sector Peine. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna La Brava, La Punta y laguna Interna y los menores en la laguna Salada (**Figura N° 13-26**).

Figura N° 13-26. Variación promedio de la conductividad (µS/cm) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025.



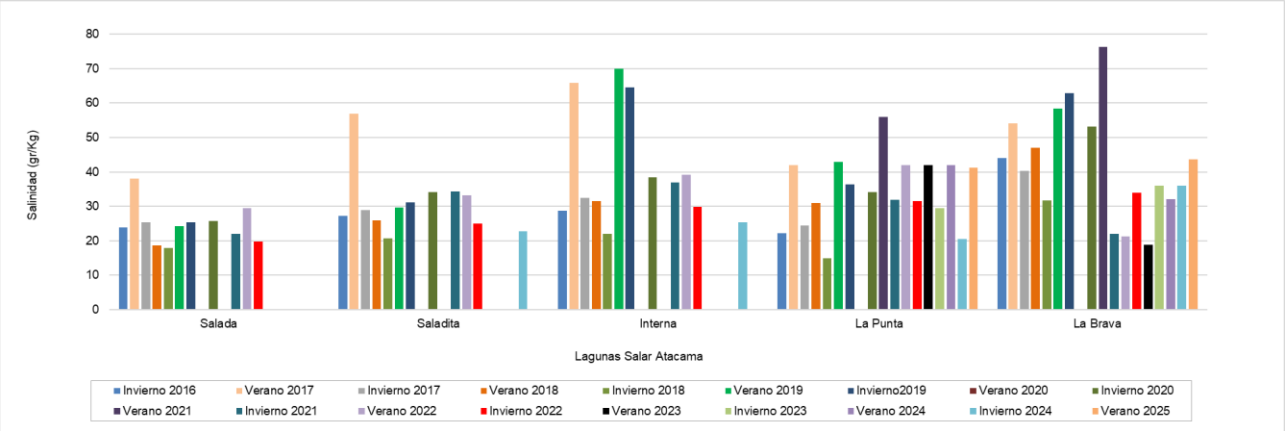
Fuente: Elaboración propia

- *Salinidad*

En relación con la salinidad registrada en periodos invierno y verano, el valor promedio máximo fue observado en verano 2021, con un valor de 76,3 gr/Kg en la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2018 con 15,0 gr/Kg la laguna La Punta, sector La Punta-La Brava. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna La Brava y los menores en la laguna Salada (**Figura N° 13-27**). Los valores obtenidos para la salinidad son coherentes con los obtenidos para la conductividad, ambos están correlacionados.

En relación con la salinidad, se sabe que la fluctuación de la salinidad afecta la diversidad bacteriana, las tasas de fotosíntesis, además del consumo de oxígeno disponible en el cuerpo de agua. La presencia de tapetes en ambientes con salinidades más altas puede sugerir una adaptación a esta variable por parte de los microorganismos, y puede estar relacionado con el cambio en la diversidad y la función de sus comunidades microbianas (Farias *et al.* 2017).

Figura N° 13-27. Variación promedio de la salinidad (gr/Kg) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025.

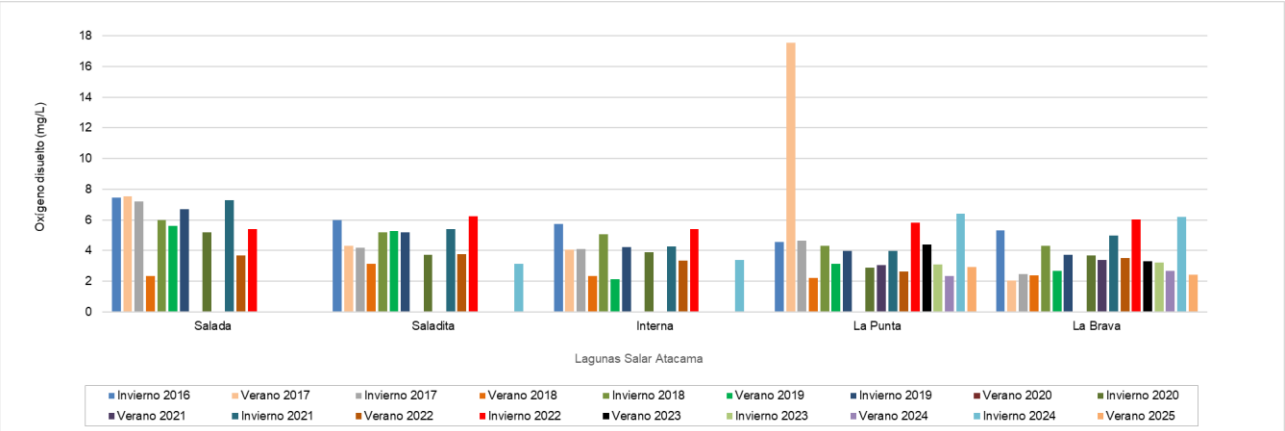


Fuente: Elaboración propia.

- *Oxígeno disuelto*

Respecto al oxígeno disuelto registrado en periodos invierno y verano, el valor promedio máximo fue observado en verano 2017, con un valor de 17,6 mg/L en la laguna La Punta, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en verano 2017 con en 2,1 mg/L la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna Salada y los menores en la laguna La Brava (**Figura N° 13-28**). Esto se condice con los registros de salinidad y conductividad, en el sector La Brava donde se observan los mayores registros para estas variables y los menores registros de oxígeno disuelto, esto se explica debido a que en ambientes con mayor salinidad-conductividad el oxígeno disuelto presenta una menor solubilidad. Por ende, menor disponibilidad de oxígeno disuelto para la biota acuática.

Figura N° 13-28. Variación promedio de oxígeno disuelto (mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025.

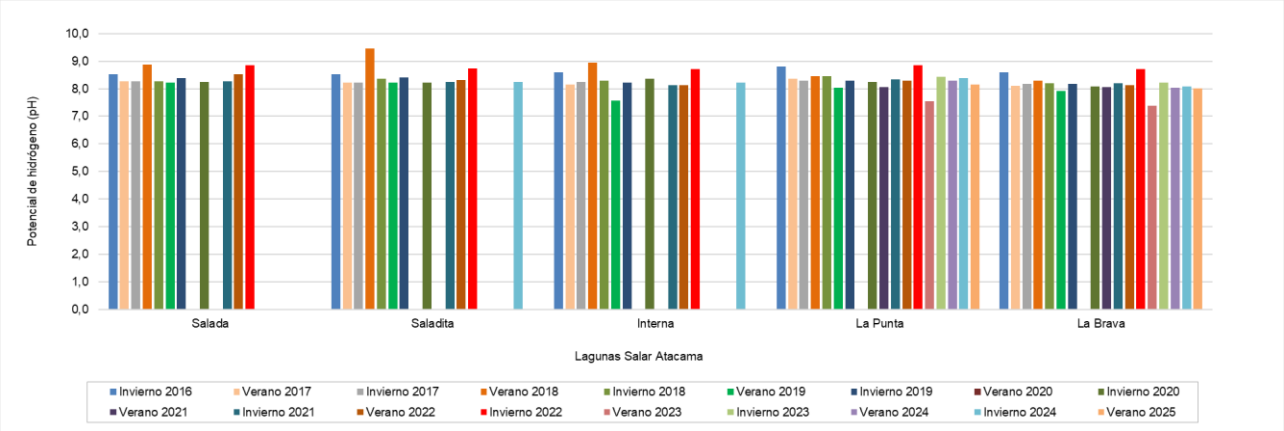


Fuente: Elaboración propia.

- *pH*

Para el pH registrado en periodos invierno y verano, se observó un valor promedio máximo en verano 2018, con un valor de 9,5 unidades en la laguna Saladita, sector Peine. Mientras que, el mínimo fue detectado en verano 2023 con un valor de 7,4 unidades la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en la laguna Saladita y los menores en la laguna La Brava (**Figura N° 13-29**). Entre sectores se mantuvieron registros constantes de pH, manteniéndose en valores de rangos de alcalinidad (8,2 y 8,5 unidades en promedio por sector) los que califican como moderadamente alcalinos según Hounslow (1995).

Figura N° 13-29. Variación promedio de potencial de hidrógeno (pH) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025.

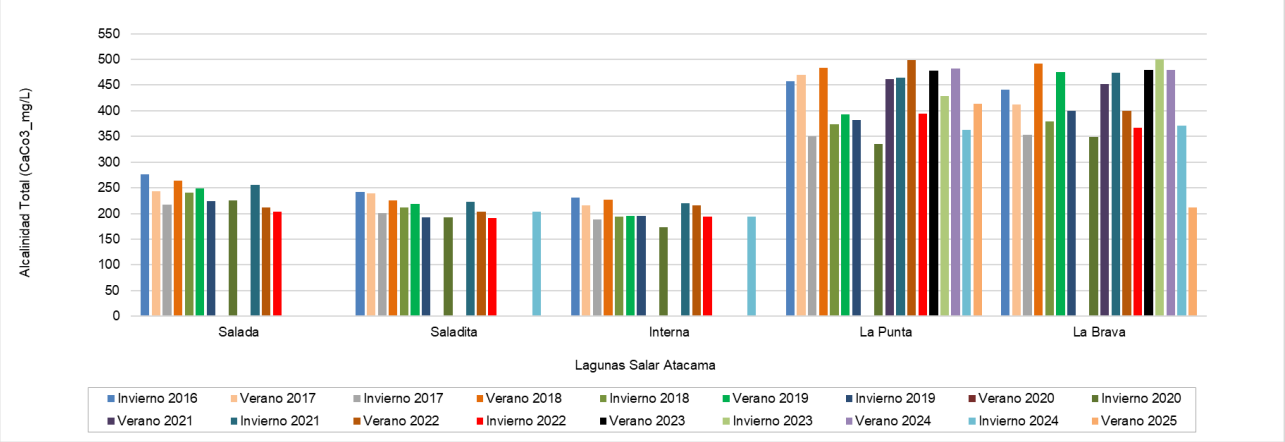


Fuente: Elaboración propia.

- *Alcalinidad Total*

Para la alcalinidad registrada en periodos invierno y verano, se observó un valor promedio máximo en invierno 2023, con un valor de 500 mg/L en la laguna La Brava, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2020 con un valor de 174 mg/L en la laguna Interna, sector Peine. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en las lagunas La Punta y La Brava y los menores en la laguna Saladita (**Figura N° 13-30**). Entre sectores el sector Peine presentó menores registros. La alcalinidad en este tipo de ecosistemas hipersalinos contribuye a la precipitación de carbonatos por parte de los microrganismos y modela el equilibrio bicarbonato-carbonato en las aguas (Risacher, Alonso & Salazar 1999; Glunk et al, 2010).

Figura N° 13-30. Variación promedio de la alcalinidad (CaCO3_mg/L) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025.

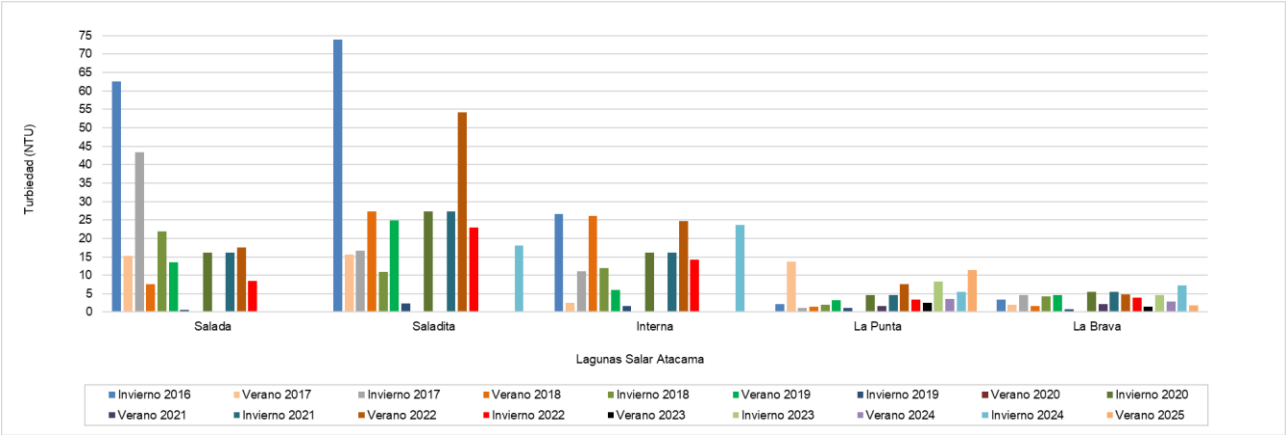


Fuente: Elaboración propia.

- *Turbiedad*

La turbiedad registrada en periodos invierno y verano, presentó un valor promedio máximo en invierno 2016, con un valor de 73,9 NTU en la laguna Saladita, sector Peine. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2019 con un valor de 0,6 NTU en la laguna Interna, sector Peine. En general, entre sectores los mayores registros invierno-verano fueron detectados en las lagunas de Peine, en orden de importancia Saladita-Salada-Interna y los menores y con similares registros en las lagunas de La Punta-La Brava (**Figura N° 13-31**). La turbiedad afecta la penetración de luz e irradiación en la columna de agua. La reducción considerable de la disponibilidad de luz para los organismos fotosintéticos sumergidos puede inhibir su crecimiento (Demergasso *et al.* 2003).

Figura N° 13-31. Variación promedio de la turbiedad (NTU) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025.



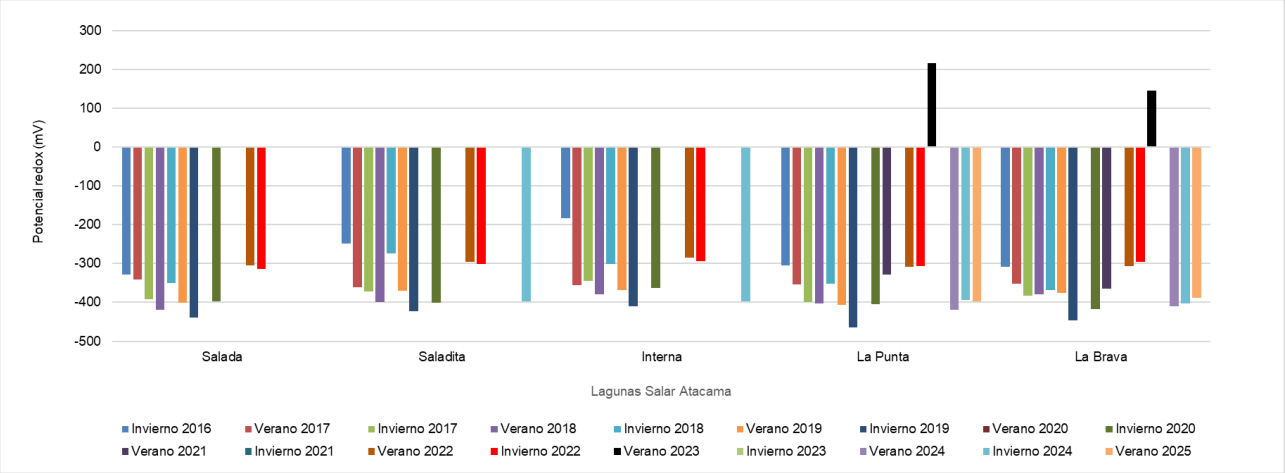
Fuente: Elaboración propia.

- *Potencial redox (ORP)*

Para el potencial redox (ORP) en periodos invierno y verano, se observó que el valor promedio máximo se registró en verano 2023, con un valor de 217 mV en la laguna La Punta, sector La Punta-La Brava. Mientras que, el mínimo fue detectado en invierno 2019 con un valor de -464 mV en la laguna La Punta, sector La Punta-La Brava. En general, entre sectores presentaron valores negativos y similares de potencial redox, considerados para ambientes de características reductoras. Sin embargo, en la campaña verano 2023, algunos sectores presentaron valores de ambientes oxigénicos, específicamente en las lagunas La Punta y La Brava (**Figura N° 13-32**).

El potencial redox con valores negativos es un indicador de ambientes de características reductoras y anoxigénicas, o sea propicio para el establecimiento de las macrozonas Intermedia y Profunda, que presentan principalmente grupos de bacterias y microrganismos tipo bacterias rojas sulfúreas, bacterias verdes no sulfúreas y sulfobacterias oxidantes no coloreadas en la macrozona Intermedia y de bacterias verdes sulfúreas (autótrofas fotosintéticas) y bacterias sulfurreductoras (anaerobias) en la macrozona Intermedia siguiendo la metodología propuesta en el presente informe tomada de Rodríguez-Aranda y Sanz-Montero, (2015).

Figura N° 13-32. Variación promedio de potencial redox (mV) en lagunas del Salar de Atacama. Invierno-Verano 2016-2025.



Fuente: Elaboración propia.

13.4 En relación con Suelo o Sustrato

A continuación, se analizan los resultados obtenidos en el monitoreo semestral de invierno 2024 (M17) y verano 2025 (M18), para el subcomponente ambiental suelo – sustrato.

Se separa la discusión de los resultados por sectores, de acuerdo con el siguiente detalle:

- Sector La Punta – La Brava: Puntos S 3; S4; S5 (La Punta) y S 6 (La Brava)
- Sector Peine: Puntos S 10; S 11; S 12 y S 14.
- Sector Tilopozo: Puntos S 1; S 2; S 7; S 8; S 9 y S 13.

Además, se presenta la evolución de los parámetros estudiados entre los monitoreos de invierno, (monitoreo M1, M3, M5, M7, M9, M13, M15 y el actual M17), así como entre los monitoreos de verano (M2, M4, M6, M10, M12, M14, M16 y el actual M18). Cabe señalar, que la campaña estival 2020 (M8) no pudo ser realizada para este componente debido a las restricciones por efecto de la situación sanitaria Covid-19 a nivel nacional, al igual que la campaña invernal 2021 (M11), cancelada por razones de seguridad por motivos internos de la compañía.

13.4.1 Análisis de evolución de resultados Sector La Punta - La Brava

En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presenta el detalle de resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros evaluados para suelo, y sus rangos de medición, presentando información comparada con los 18 monitoreos realizados, tanto de invierno como de verano.

13.4.1.1 Conductividad Eléctrica y Salinidad Sector La Punta - La Brava

Para el sector **La Punta - La Brava**, en la **Figura N° 13-33** se presenta la evolución de conductividad eléctrica y salinidad para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-34** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

De manera general se observan alzas en la conductividad eléctrica en la mayoría de los puntos, fenómeno que es consistente en ambas temporadas. En invierno, se destaca el punto S 6 que presenta aumentos significativos respecto al anterior monitoreo (M15), con alzas de 490% en S 6-1 y 329% en S 6-2. En aquel punto los incrementos se ven atenuados durante la temporada estival, tal como se evidencia en la Figura N° 3-2, no obstante, en los valores de conductividad eléctrica para el Monitoreo de Verano 2025 (M18), las muestras S 3-1, S 4-2 y S 5-1 presentan aumentos de 2 a 3 veces por sobre los anteriores máximos históricos.

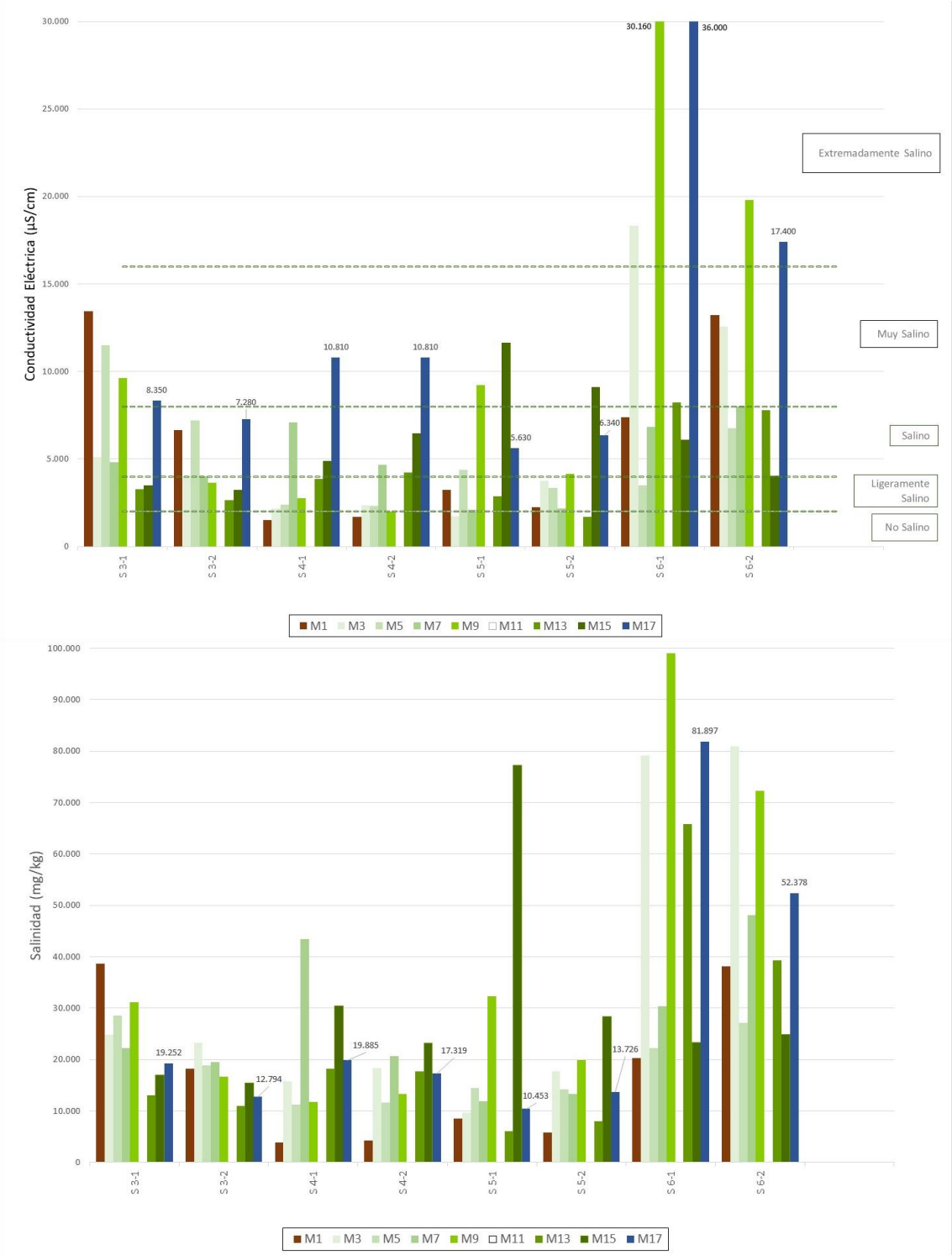
Cabe indicar que, para el monitoreo de conductividad eléctrica, se produce un cambio de laboratorio entre M16 (ALS) y M18 (ANAM), lo que puede influir en la variación de los datos presentados. Mas aun, estas alzas importantes entre un monitoreo y el siguiente no se pueden relacionar con variaciones en el nivel freático en cada punto o nivel de humedad de cada muestra.

De la misma manera se observa una tendencia general al alza en la salinidad, pero dentro de los rangos históricos observados. La mayor concentración de sales solubles en el sector La Punta - La Brava la exhibe S 6-1 (81.897 mg/kg en invierno y 40.038 mg/kg en verano). De manera contrastante, se destaca el punto 5, el cual presenta la menor concentración de sales en la temporada de invierno (S 5-1 10.453 mg/kg), disminuyendo un 86% respecto del anterior muestreo M15; y en la temporada estival la muestra 5-2 presentan valores por debajo de los mínimos del periodo de seguimiento de verano junto a otras dos muestras (S 3-2, S 4-1).

Los niveles de conductividad eléctrica y salinidad registrados son consistentes con las características químicas de suelos ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos.

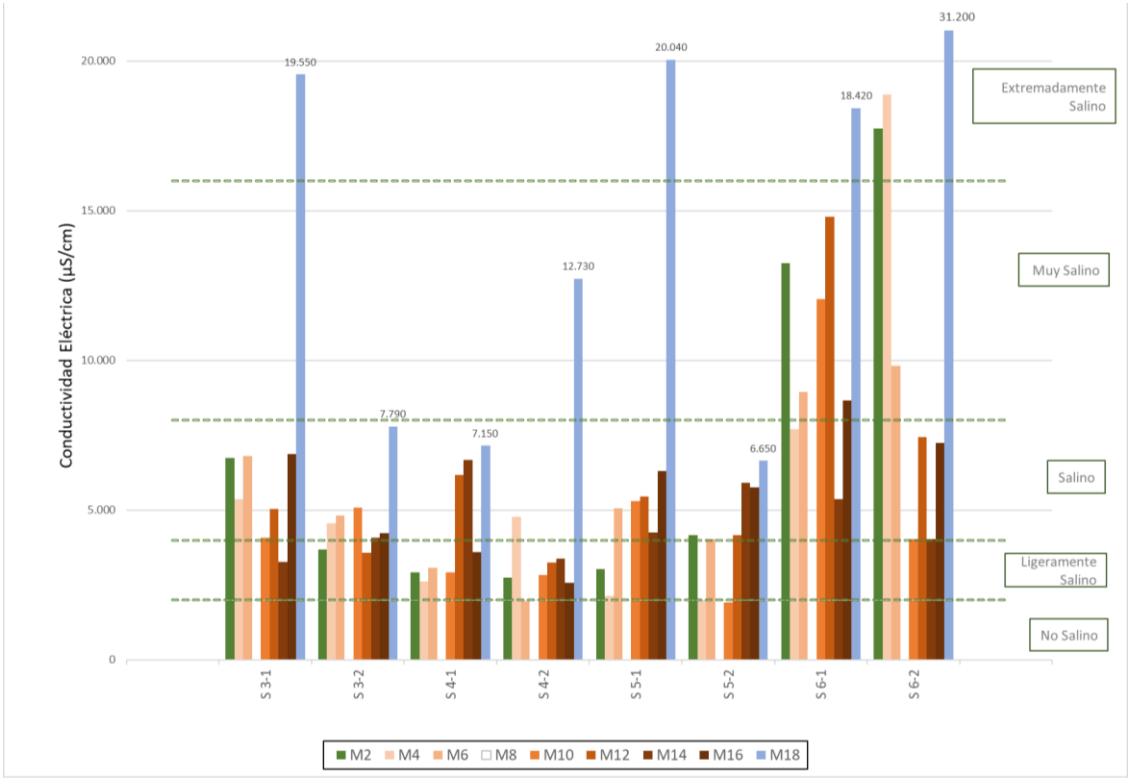
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable, tanto para los presentes monitoreos (M17 y M18) como para los anteriores (M1 a M16).

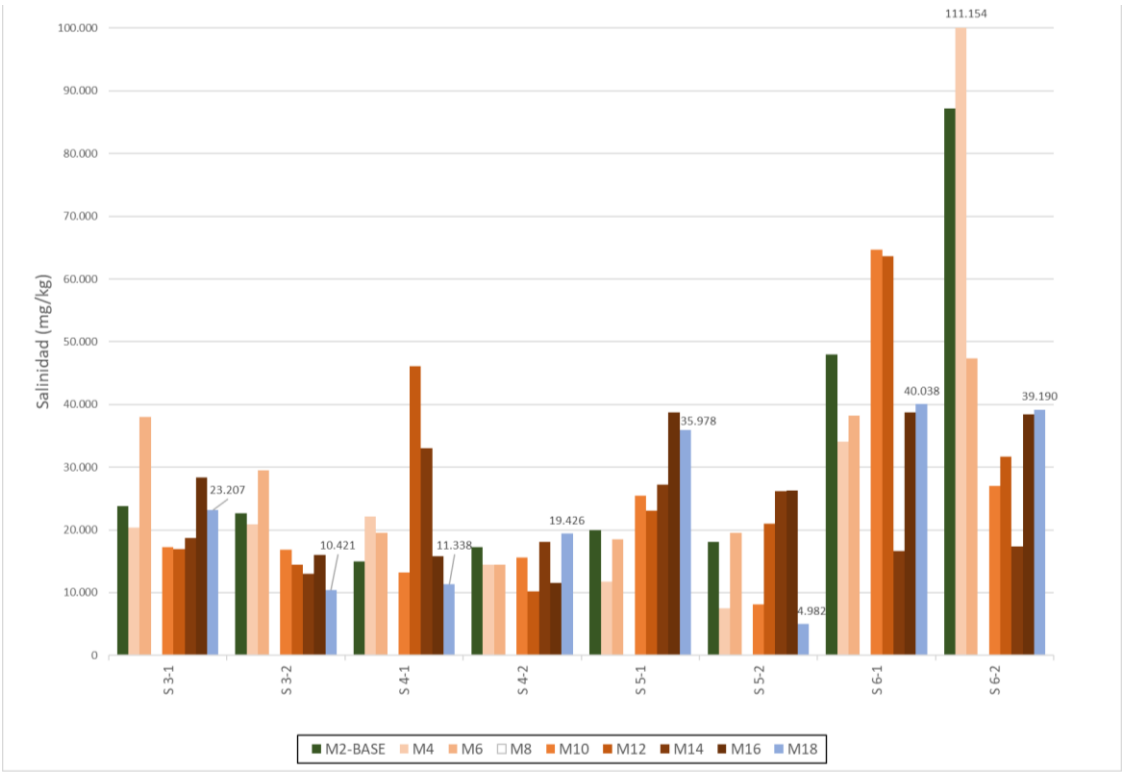
Figura N° 13-33. Resultados Conductividad Eléctrica y Salinidad Campaña Invierno, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-34. Resultados Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.





Fuente: Elaboración Propia.

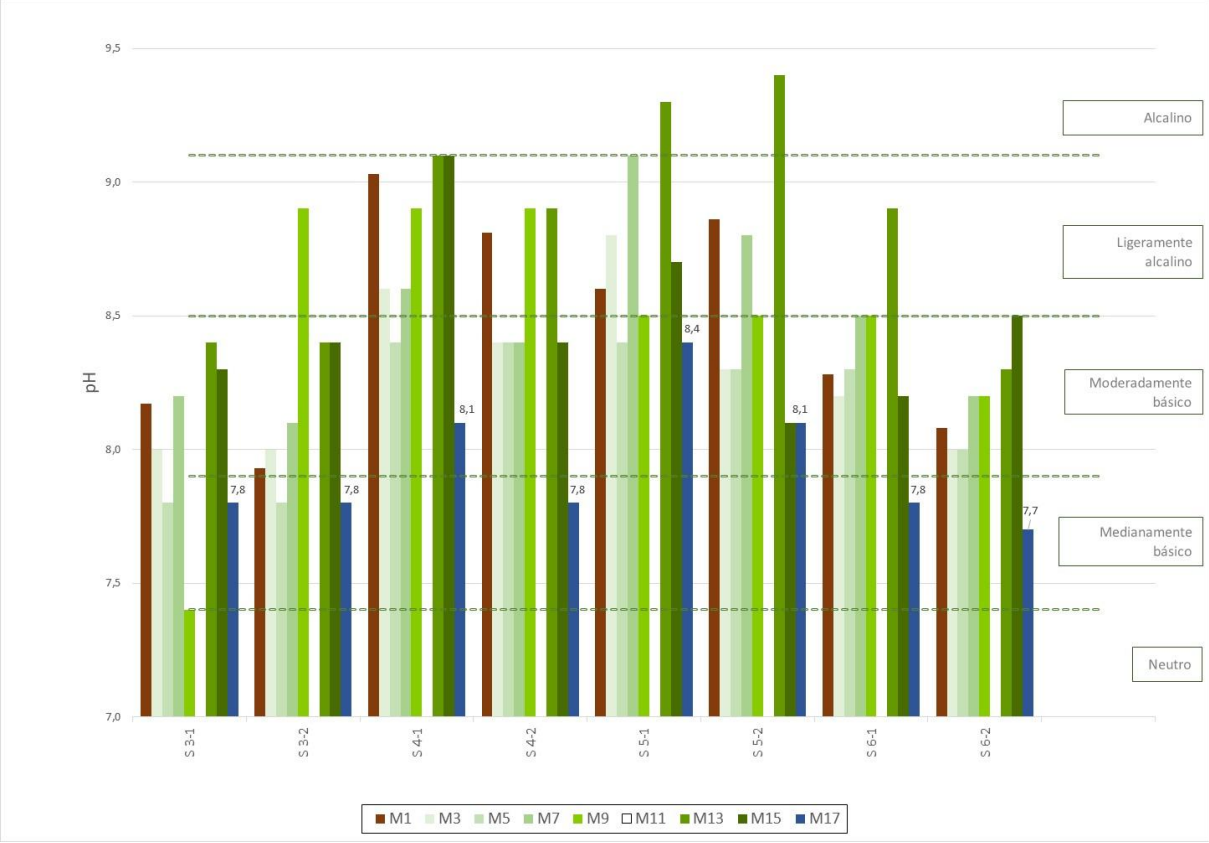
13.4.1.2 Nivel de pH Sector La Punta – La Brava

Para el sector **La Punta - La Brava**, en la **Figura N° 13-35** se presenta la evolución de pH en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-36** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

Los valores se observan muy estables en comparación con la tendencia de los valores de anteriores monitoreos, tanto de invierno como de verano, y presentan una variabilidad muy baja entre diferentes monitoreos. Tanto el monitoreo de invierno (M17) como el de verano (M18) se presentan dentro de los rangos usuales de variación histórica para todos los monitoreos.

En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-35. Resultados pH Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-36. Resultados pH Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.1.3 Materia Orgánica Sector La Punta La Brava

Para el sector **La Punta - La Brava**, en la **Figura N° 13-37** se presenta la evolución de Materia Orgánica en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-38** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

Para el monitoreo invernal tres muestras presentan mayores valores que los máximos registrados de anteriores monitoreos para cada muestra, como ocurre en S 4-1 (aumento de 6% sobre el máximo anterior), S 4-2 (30 % de aumento) y S 5-2 (17% de aumento). En el monitoreo de verano estos puntos muestran incrementos con monitoreos previos, pero sus valores están dentro de los rangos registrados históricamente. El resto de las muestras se presentan dentro de los rangos de variación de los monitoreos en el periodo de seguimiento.

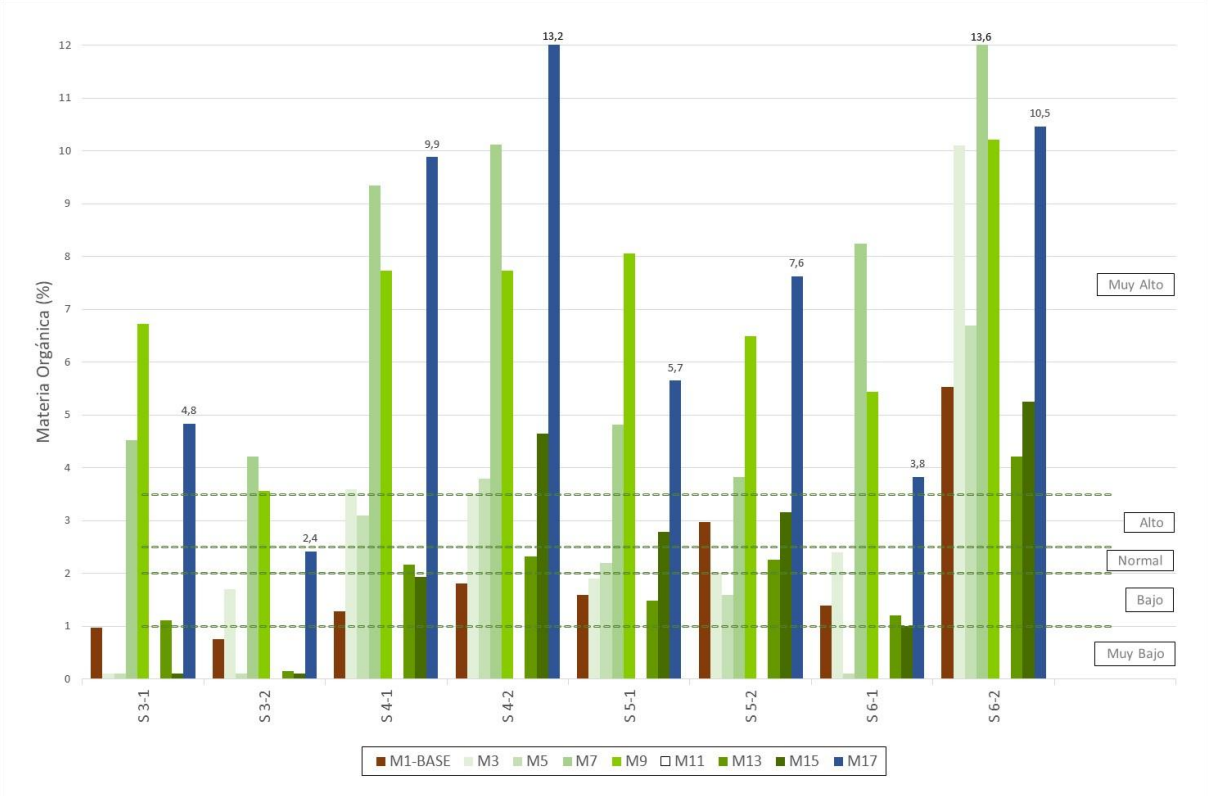
No es posible establecer una relación directa entre cobertura vegetal en superficie y niveles de materia orgánica como ocurre claramente en los otros sectores, pero se describe presencia

de restos vegetales y acumulación orgánica en los perfiles muestreados, lo que se puede correlacionar con los resultados obtenidos. Además, se presentan diferencias en los perfiles muestreados, que se explican parcialmente en la heterogeneidad natural del material parental de los suelos caracterizados. Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un cambio tendencial en Materia orgánica, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el re-transporte de material parental, con contenidos diferenciales de materia orgánica, desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

En definitiva, los contenidos de materia orgánica descritos en M17 y M18 en los cuatro puntos del sector de La Punta – La Brava se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M14).

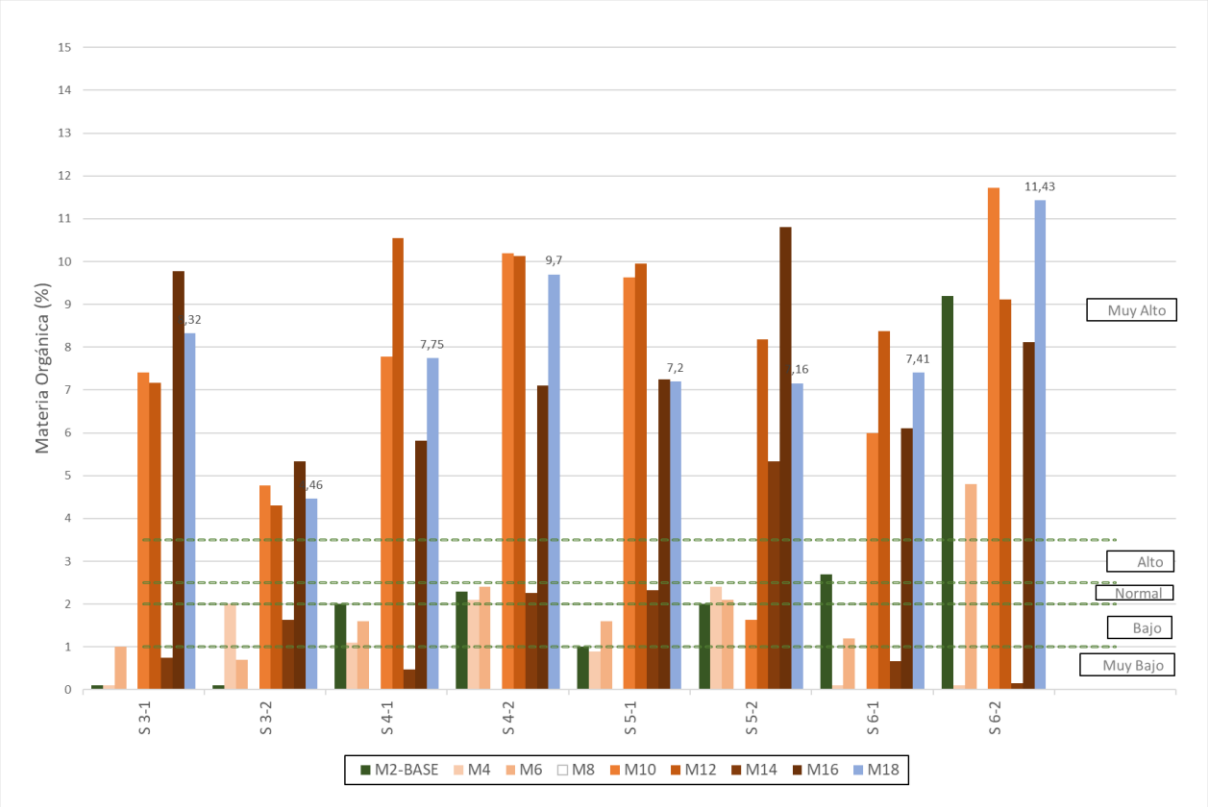
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-37. Materia Orgánica Campaña Invierno, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-38. Materia Orgánica Campaña Verano, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.1.4 Nutrientes Sector La Punta La Brava (Nitrógeno, Fósforo y Potasio disponibles)

Para el sector **La Punta - La Brava**, en la **Figura N° 13-39** se presenta la evolución de nitrógeno disponible en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-40** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

En el monitoreo de invierno (M17) todas las muestras indican contenidos de nitrógeno en el rango medio de variación en el periodo de seguimiento de monitoreos de invierno. Si el análisis se practica entre el actual monitoreo y el monitoreo de invierno inmediatamente anterior (M15) es posible constatar una baja en los valores, con porcentajes que oscilan entre un 50% a un 83% de disminución de los valores en M17. El monitoreo de verano M18 arroja resultados similares, observándose reducciones en el nitrógeno disponible de hasta 52% (S 5-2) respecto al monitoreo anterior de verano.

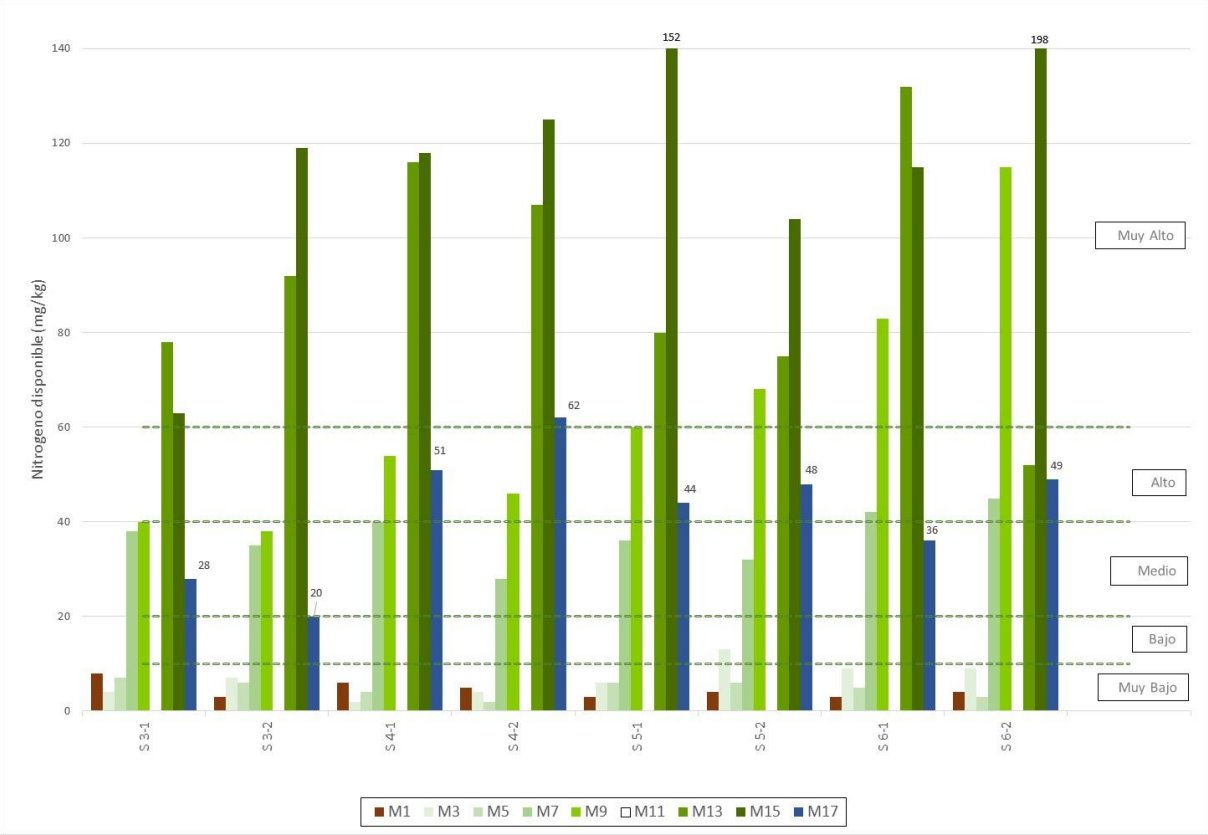
Si bien se observa en ambas temporadas, en invierno es posible apreciar con mayor claridad que los valores del actual monitoreo (M17) se encuentran más cercanos a la tendencia de

comportamiento de monitoreos de invierno como M7 y M9, que a la de M13 y M15. Se requiere continuar el seguimiento en el tiempo para determinar el rango de variación natural de los datos.

Los contenidos de nitrógeno descritos en M17 y M18 en los cuatro puntos del sector de La Punta – La Brava se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M16). Los valores de Nitrógeno disponible para M17 son mayores que en M18 en todos los puntos de muestreo, fenómeno que se explica sólo parcialmente desde la variabilidad natural del material parental de los suelos caracterizados. Otras causas potenciales de variación en el nivel de nitrógeno disponible son la ocurrencia de lluvias (aporte de nitrógeno atmosférico al suelo), fijación no simbiótica de nitrógeno (actividad de bacterias y algas verde-azules), fijación simbiótica de nitrógeno (dependiente de la relación entre leguminosas y bacterias fijadoras de nitrógeno), y la mineralización de restos de vegetales y animales (dependiente de la humedad, temperatura, pH y presencia de micorrizas en el suelo).

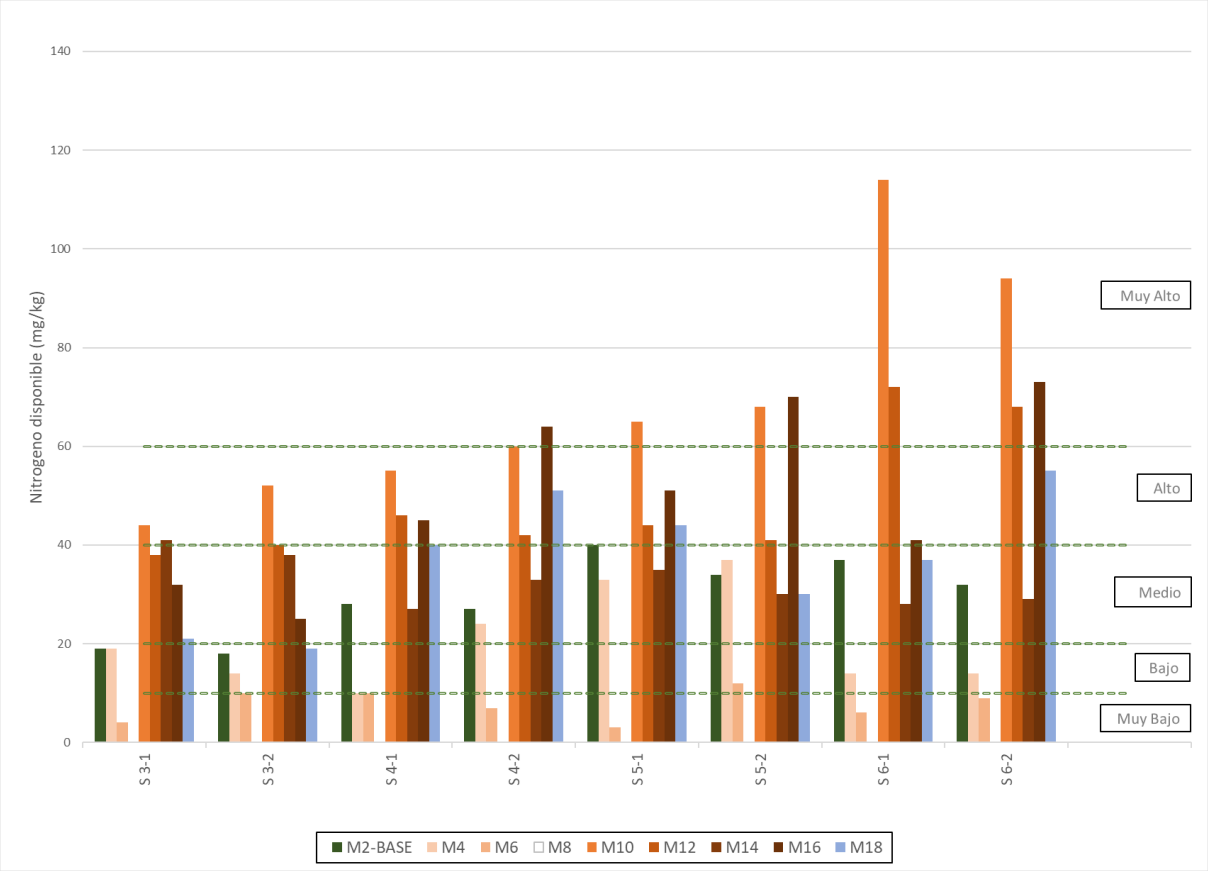
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-39. Nitrógeno disponible Campaña Invierno, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-40. Nitrógeno disponible Campaña Verano, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura N° 13-41**, se muestra la concentración de fósforo disponible en el sector de La Punta – La Brava, para todos los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-42** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

El monitoreo invernal de M17 ha revelado un incremento significativo en los niveles de fósforo en varias muestras, superando los registros máximos históricos. Específicamente, en cuatro de las ocho muestras analizadas (S 3-1, S 3-2, S 4-1 y S 5-2), los valores excedieron los valores máximos registrados durante el período de seguimiento previo. En el caso del punto S 3, la muestra S 3-2 presentó un valor 726% superior al registro máximo anterior, lo que indica un aumento muy importante, mientras que la muestra S 3-1 mostró un valor 142% por encima del registro máximo anterior, también un incremento importante. Dado este incremento, especialmente en S 3-2, es posible que estas lecturas representen una variación atípica en la serie de datos, por lo que se debe esperar los resultados de próximos monitoreos para determinar la tendencia de estos.

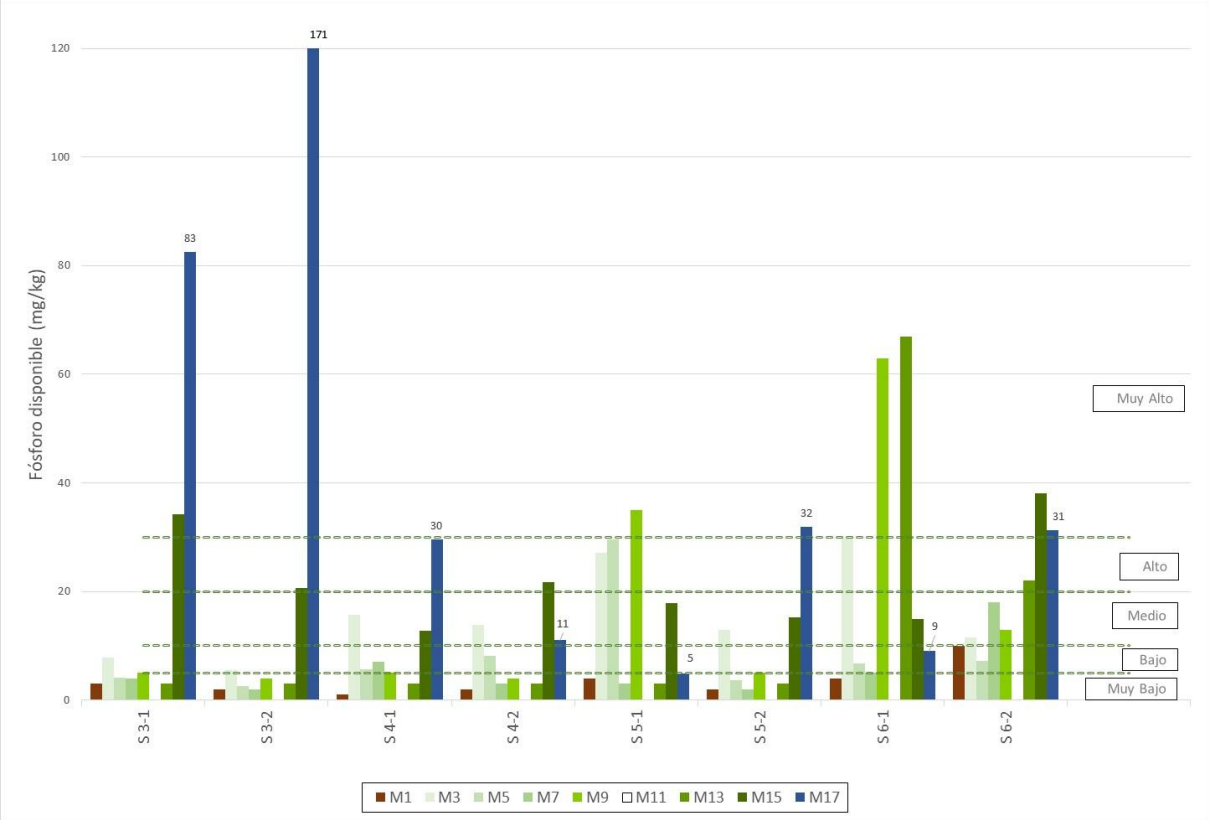
En general los valores de fósforo disponible en el monitoreo de verano M18 se presentan dentro de la tendencia histórica, con solo dos muestras con valores bajo los valores mínimos históricos, como la muestra S 3-2 (baja 37%) y S 6-2 (baja 8%). Los valores de M18 son

menores en todos los casos que en M16. Se aprecian diversos valores de M14 y M16 muy por sobre los niveles del resto de monitoreos, los que, dada su importante incremento por sobre otros registros, pueden considerarse valores extremos en la serie histórica de datos.

Variaciones de este tipo se explican parcialmente por la variabilidad del material parental de los suelos caracterizados. Los tipos de arcillas condicionan la disponibilidad del potasio en el suelo, por lo que variaciones en el material parental, pueden provocar cambios significativos en la disponibilidad de este nutriente. Altos niveles de humedad y de materia orgánica se relacionan con mayores niveles de disponibilidad de potasio en el suelo. Futuros monitoreos podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en los niveles de potasio disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones, como el re-transporte de material parental con contenidos diferenciales de potasio desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

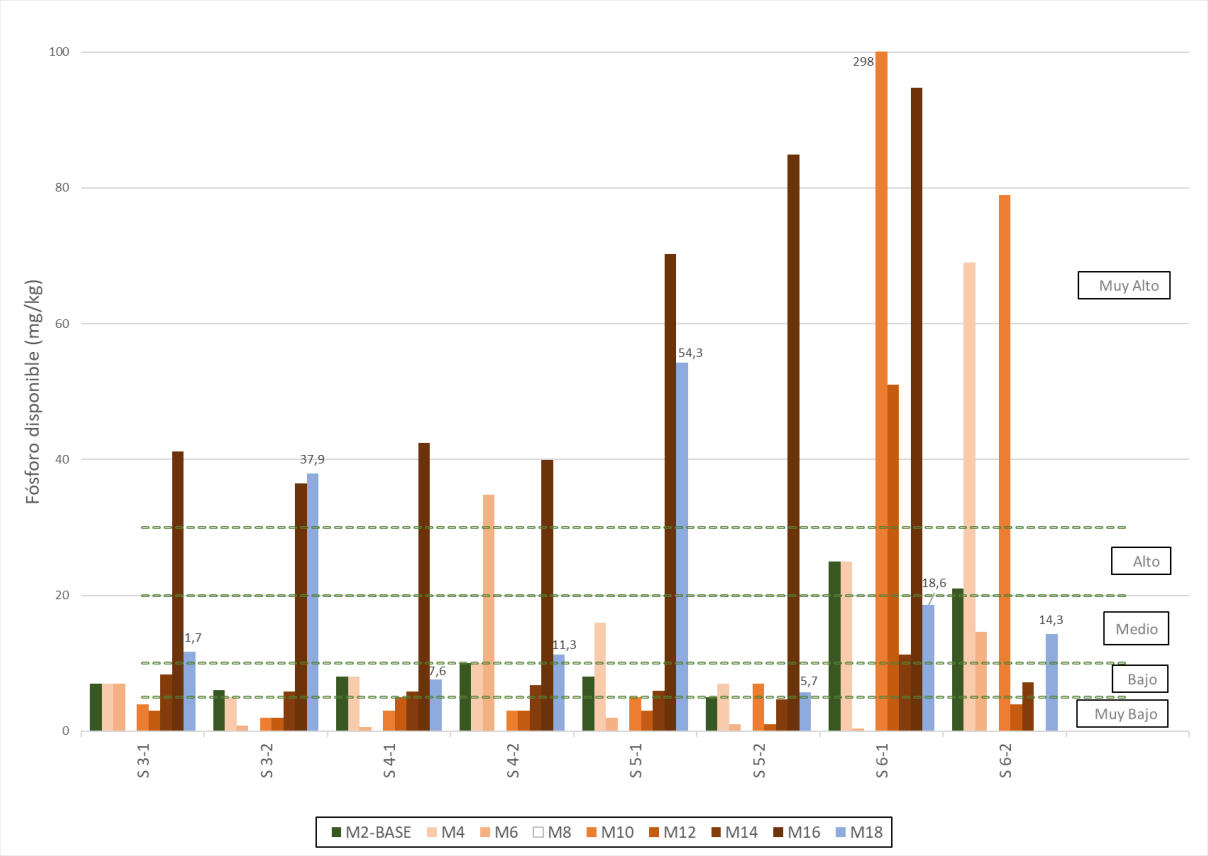
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-41. Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-42. Fósforo disponible Campañas Verano Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia. Muestra S 6-2 para M16 sin datos desde laboratorio.

La **Figura N° 13-43** gráfica la concentración de potasio disponible en el sector de La Punta – La Brava, para todos los monitoreos de invierno disponibles, en tanto, en la **Figura N° 13-44** se muestra para todos los monitoreos de verano disponibles.

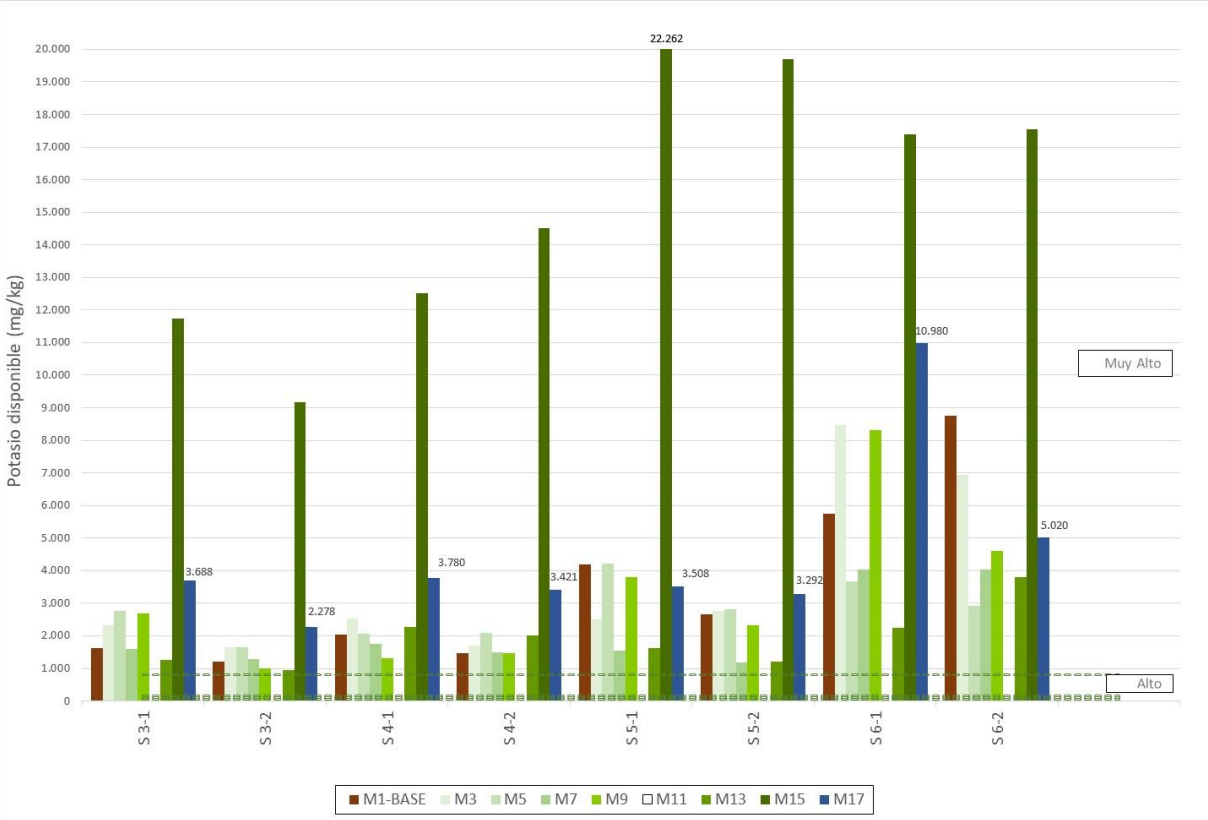
En el monitoreo realizado en invierno M17, todas las muestras se presentan dentro del rango de variación histórico, con valores que se presentan en el rango alto del periodo total de seguimiento. Se aprecian valores de M15 muy por sobre los niveles del resto de monitoreos, los que, dado su importante incremento por sobre otros registros, por lo que es necesario nuevos monitoreos para determinar el rango de variación natural del sistema.

Del mismo modo, los valores del monitoreo estival M18 se presentan dentro de la tendencia histórica, con solo dos muestras con valores bajo los valores mínimos históricos, como la muestra S 3-2 (baja 37% respecto a mínimos anteriores) y S 6-2 (baja 8%). Los valores de M18 son menores en todos los casos que en M16. Se aprecian diversos valores de M14 y M16 muy por sobre los niveles del resto de monitoreos, los que, dada su importante incremento por sobre otros registros, pueden considerarse valores extremos en la serie histórica de datos.

Al igual que el fósforo, la disponibilidad de potasio en el suelo está influenciada en parte por las diferencias en el material parental que origina el suelo, ya que el tipo de arcilla presente afecta directamente su retención. Además, una mayor humedad y materia orgánica suelen correlacionarse con una mayor disponibilidad de este nutriente. Monitoreos futuros serán cruciales para determinar si existe una tendencia al alza en los niveles de potasio, lo que podría indicar otros factores como el arrastre de material parental rico en potasio desde zonas más elevadas debido a lluvias intensas previas.

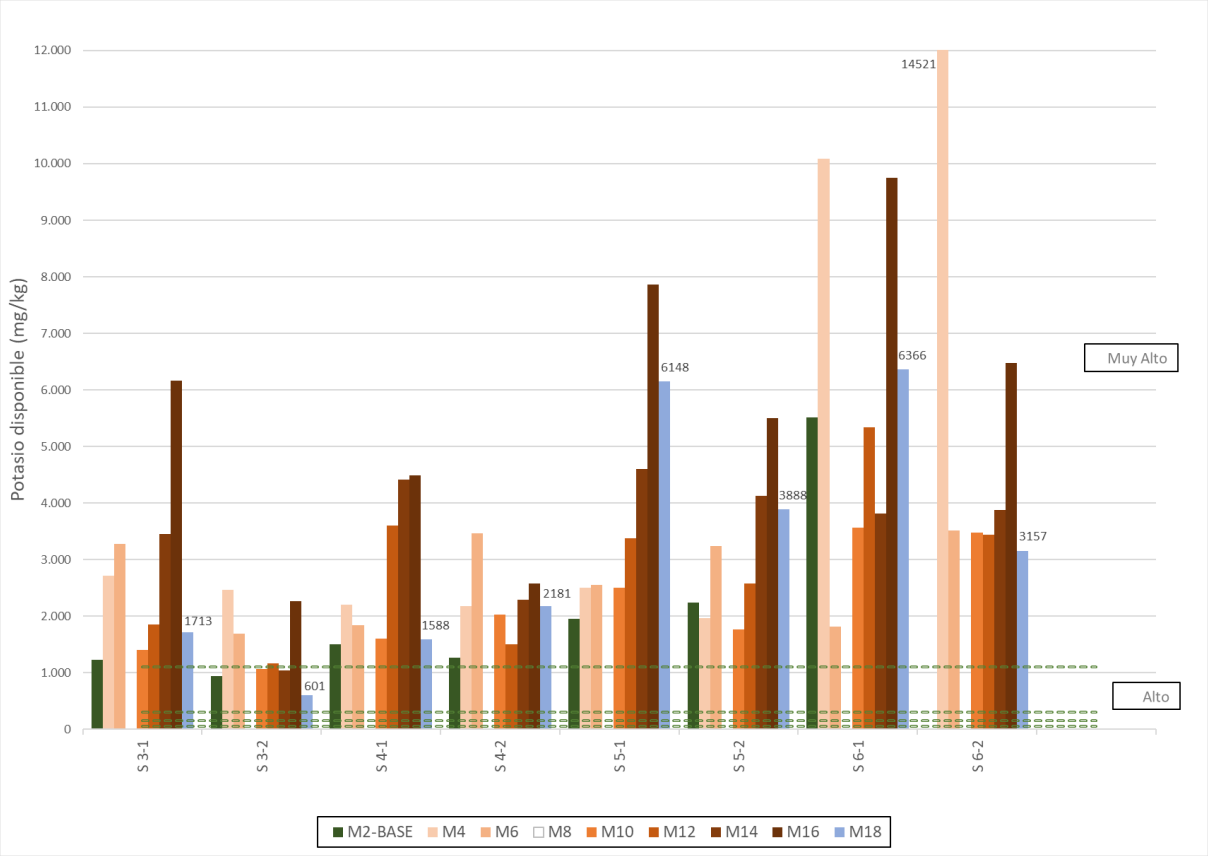
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-43. Potasio disponible Campañas Invierno Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-44. Potasio disponible Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.1.5 Conductividad Hidráulica y Textura Sector La Punta - La Brava

En la serie de datos temporales de conductividad hidráulica para el sector de **La Punta - La Brava** que se indica en la **Figura N° 13-45** y en la **Figura N° 13-46** para los monitoreos de invierno y verano respectivamente

En primer lugar, las muestras colectadas para el muestreo invernal M17 presentan valores de conductividad hidráulica dentro del rango de variación del periodo de seguimiento de monitoreos de invierno, principalmente en la parte baja de dicho rango. Si el análisis se practica entre el actual monitoreo y el monitoreo de invierno inmediatamente anterior (M15), se presenta una gran dispersión de datos, como aumentos en las muestras S 4-1 (sube 3439% entre M15 y M17) y S 5-2 (sube 825%); así como también descensos importantes como en S 6-2 (baja 99% entre M15 y M17) o S 3-2 (baja-92%).

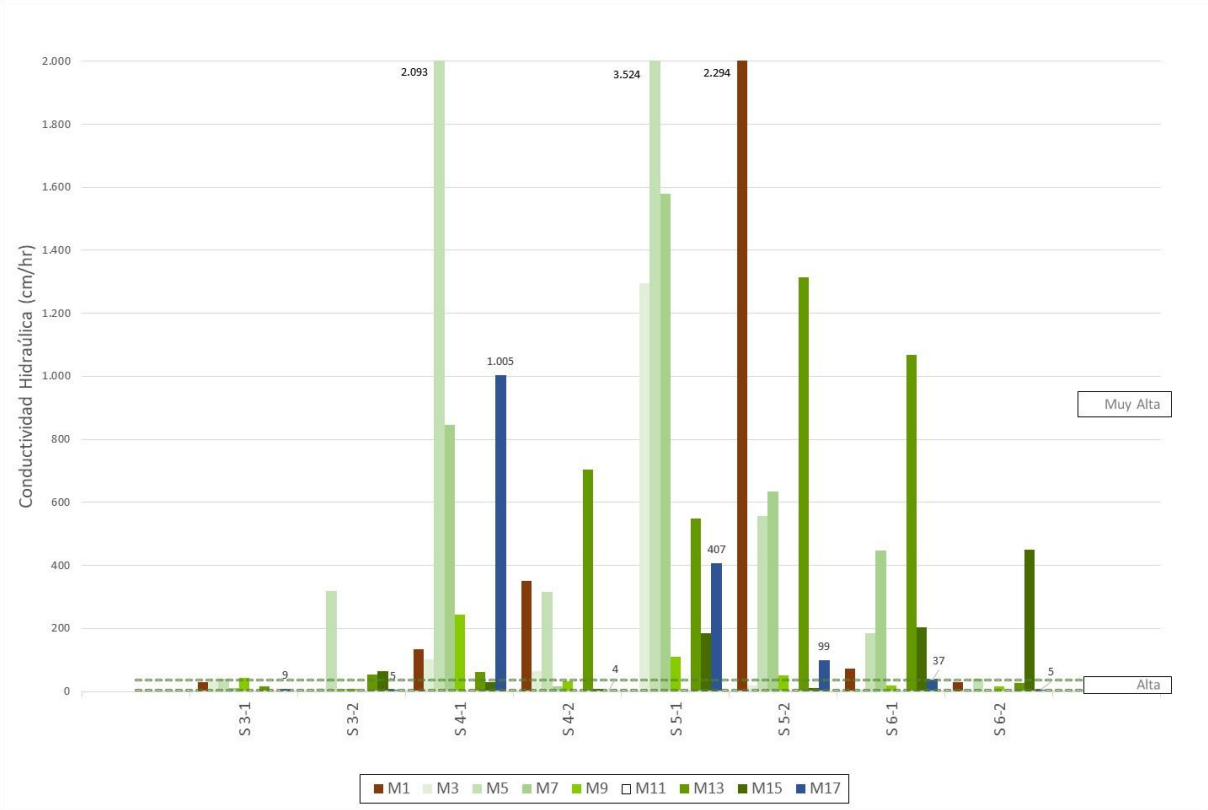
Por su parte el monitoreo estival M18 revela que dos de las ocho muestras presentan niveles mayores que los valores máximos usuales de los muestreos de verano anteriores (M2 a M16), como la muestra S 6-1, que aumenta 12% y la muestra S 6-2, que aumenta 486% respecto a

máximos anteriores. El punto S 5-1 muestra valores por debajo de mínimos históricos de anteriores monitoreos de verano, con una baja de 88%.

Dado que la conductividad hidráulica depende de las características de suelo, en conjunto con condiciones de compactación, es que se espera una variación natural entre las muestras. En los monitoreos desarrollados no se consignan intervenciones antrópicas sobre la compactación que incidan en estos resultados. Es necesario seguir evaluando la serie histórica de datos para identificar tendencias y robustecer el análisis de dichos datos, dado que en general, para el sector La Punta – La Brava, este parámetro reporta gran variabilidad en el tiempo.

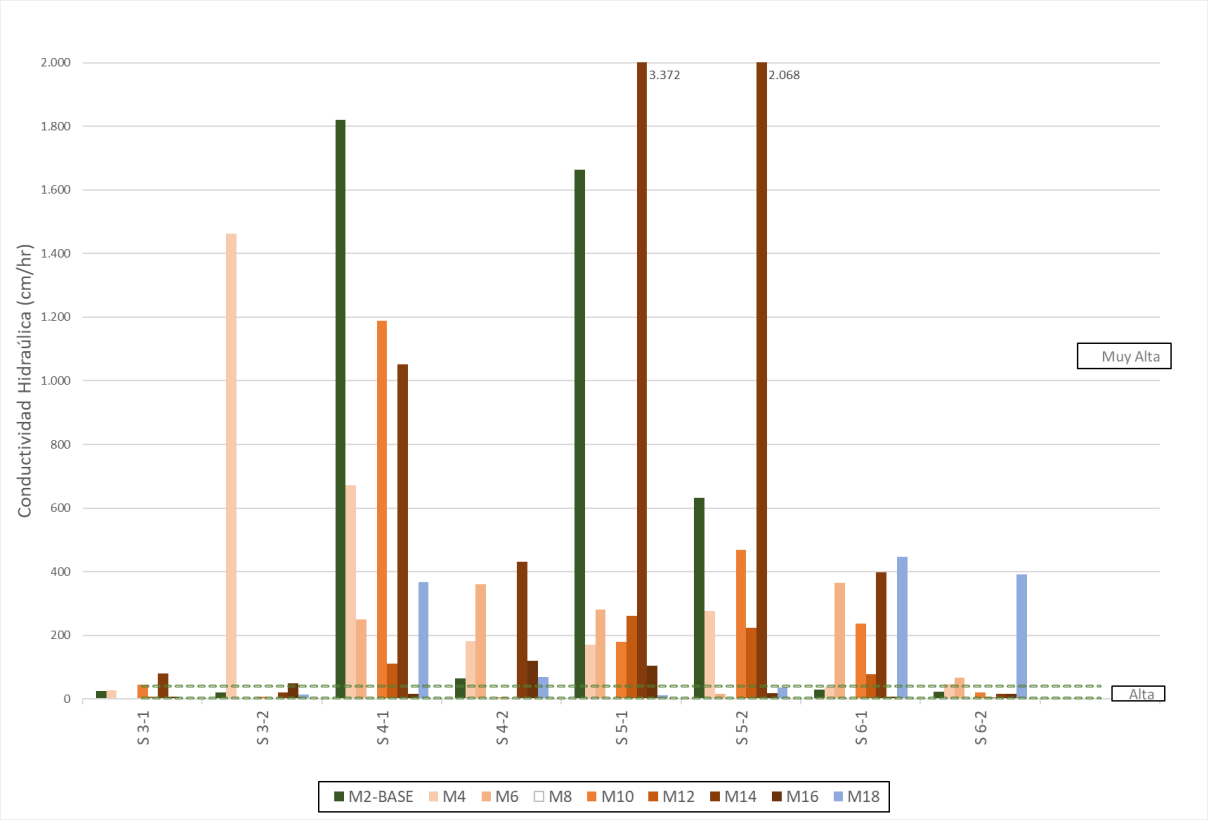
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-45. Cond. Hidráulica Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-46. Cond. Hidráulica Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

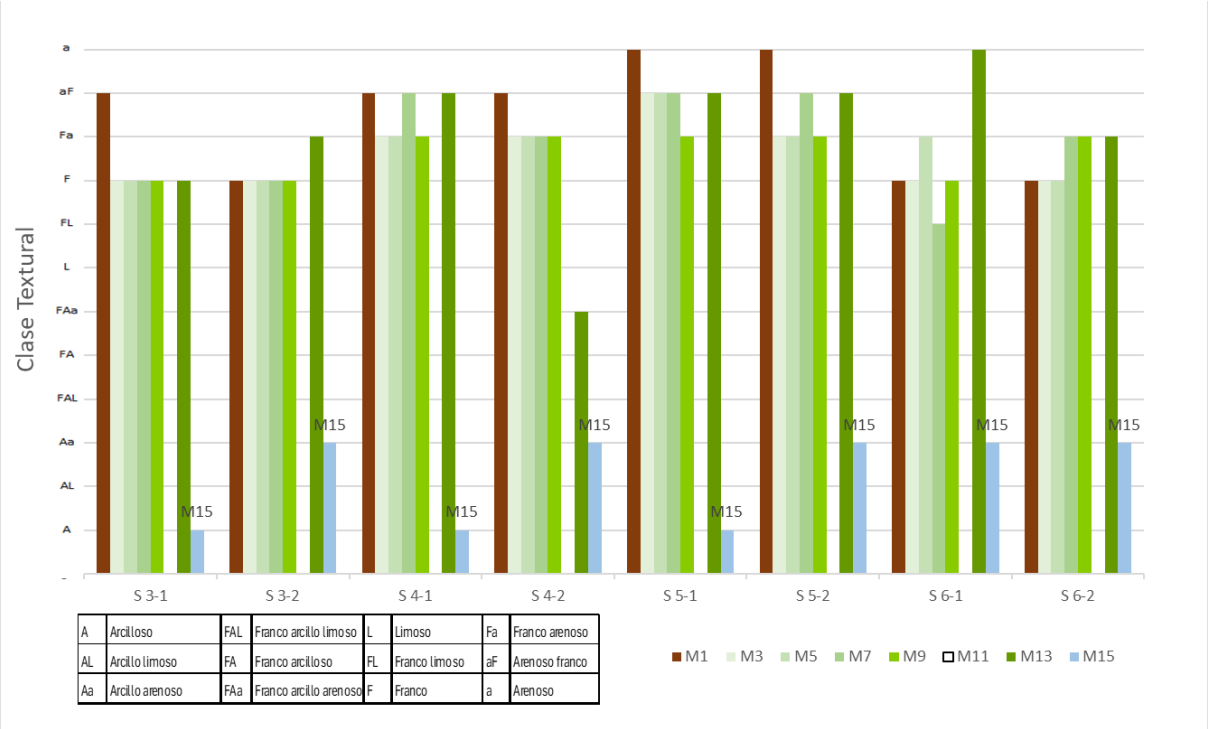
En la **Figura N° 13-47** y **Figura N° 13-48** se muestran los datos de clases texturales registrados en los monitoreos de invierno y verano respectivamente, para el sector de La Punta-La Brava.

En ambos monitoreos (M17 y M18) se aprecia un cambio hacia texturas más gruesas que en los registros anteriores (M15 y M16), acercándose a los valores más comunes de los registros históricos, lo que se expresa principalmente en rangos de texturas areno francosas y arenosas (gruesas).

Es necesario complementar con más datos a la serie temporal para proponer causas complementarias que expliquen estas variaciones, como por ejemplo el re-transporte de material parental con clases texturales diferenciales, desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

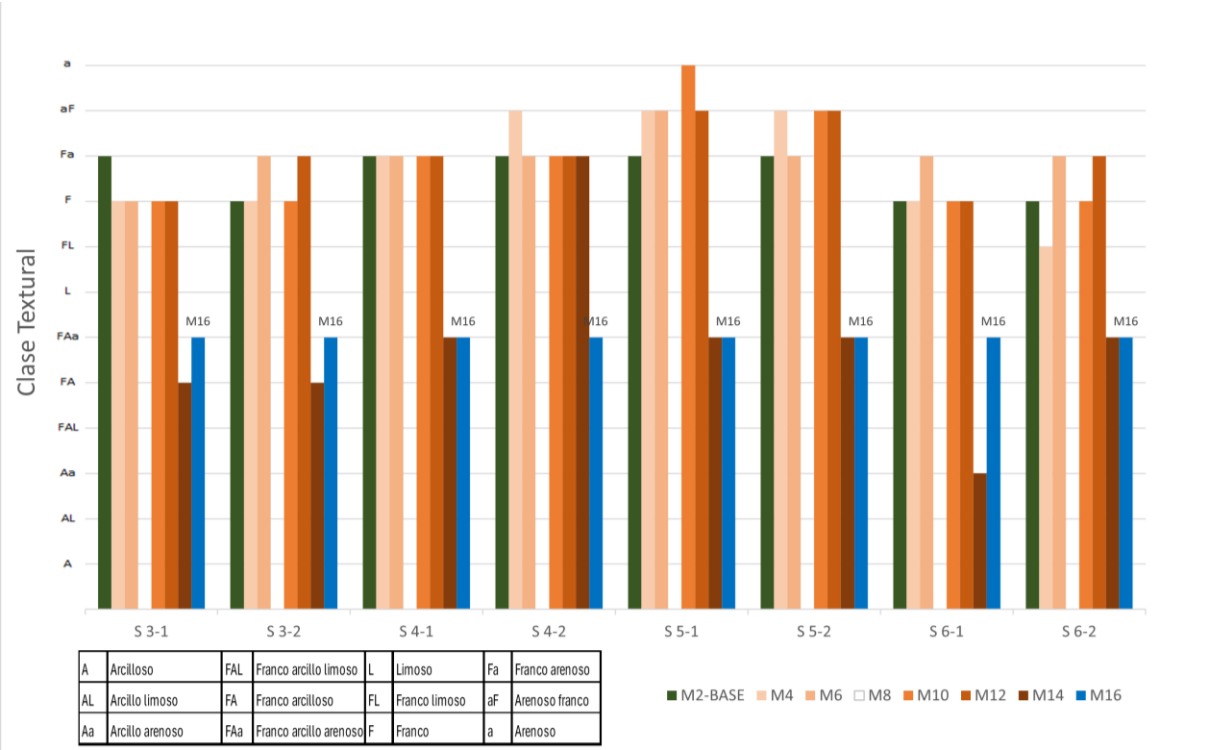
Figura N° 13-47. Textura Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.



A	Arcilloso	FAL	Franco arcillo limoso	L	Limoso	Fa	Franco arenoso
AL	Arcillo limoso	FA	Franco arcilloso	FL	Franco limoso	aF	Arenoso franco
Aa	Arcillo arenoso	FAa	Franco arcillo arenoso	F	Franco	a	Arenoso

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-48. Textura Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.



A	Arcilloso	FAL	Franco arcillo limoso	L	Limoso	Fa	Franco arenoso
AL	Arcillo limoso	FA	Franco arcilloso	FL	Franco limoso	aF	Arenoso franco
Aa	Arcillo arenoso	FAa	Franco arcillo arenoso	F	Franco	a	Arenoso

Fuente: Elaboración Propia.

13.4.1.6 Humedad y Nivel Freático Sector La Punta - La Brava

La serie de datos de humedad para el sector **La Punta – La Brava** representados en la **Figura N° 13-49** (invierno 2024) y **Figura N° 13-50** (verano 2025) se presenta dentro del rango de variaciones históricas para este parámetro, con una gran consistencia de resultados al interior de cada muestra.

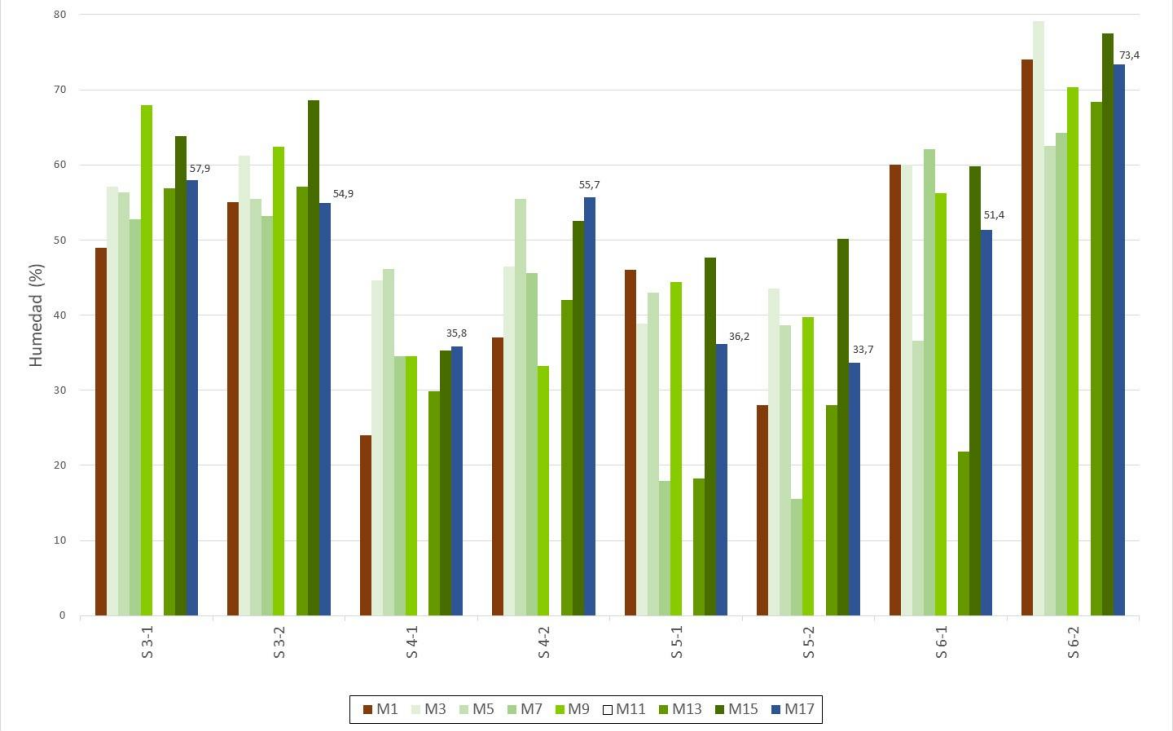
En la mayoría de las muestras del monitoreo invernal M17 se aprecia baja variabilidad entre M15 y M17, salvo los casos de las muestras S 3-2, S 5-1 y S 5-2. El menor valor para este monitoreo se presenta en S 5-2, con 33,7% de humedad, mientras que el mayor registro se evidencia en S 6-2, con 73,4% de humedad.

No es posible establecer una tendencia clara entre la humedad y el nivel freático, por ejemplo, para el monitoreo estival M18 en el punto S 5, el nivel freático sube, pero la humedad de la muestra S 5-2 baja de manera importante, de manera opuesta a lo que se registra en el punto S 6, donde el nivel freático baja de manera importante, pero la humedad de suelo de la muestra S 6-2 es la más alta registrada en este monitoreo. De esta forma se realza la necesidad de seguir evaluando estos parámetros en el tiempo para identificar el rango de variación natural de los suelos del área de estudio

Los contenidos de humedad descritos en M17 y M18 en los cuatro puntos del sector de La Punta – La Brava se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M16), y con variaciones muy bajas entre los distintos monitoreos.

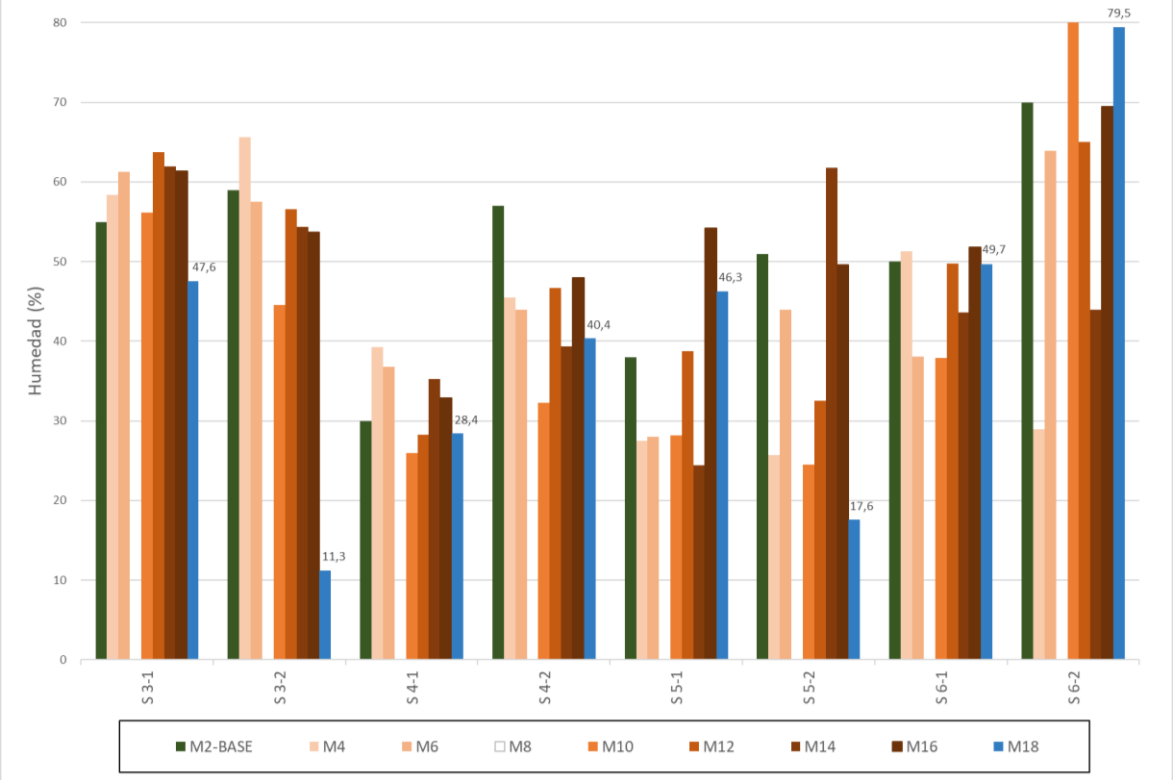
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-49. Humedad Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-50. Humedad Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

En el sector de **La Punta - La Brava** se registró el **Nivel Freático** al momento de la toma de muestras, tanto para el monitoreo de invierno M17 como para el de verano M18. Al comparar con todos los monitoreos de invierno (**Figura N° 13-51**) y de verano (**Figura N° 13-52**) se aprecia que, en general, los resultados se presentan dentro del rango de variaciones históricas para este parámetro. Se destaca el punto S 5 como el más próximo a la superficie (10 cm en invierno y 19 cm en verano) y al punto S 6 como el más profundo (43 cm en invierno y 67 cm en verano). Se puede decir que los niveles freáticos registrados son los esperables para puntos de muestreo ubicados en el entorno inmediato a humedales salinos.

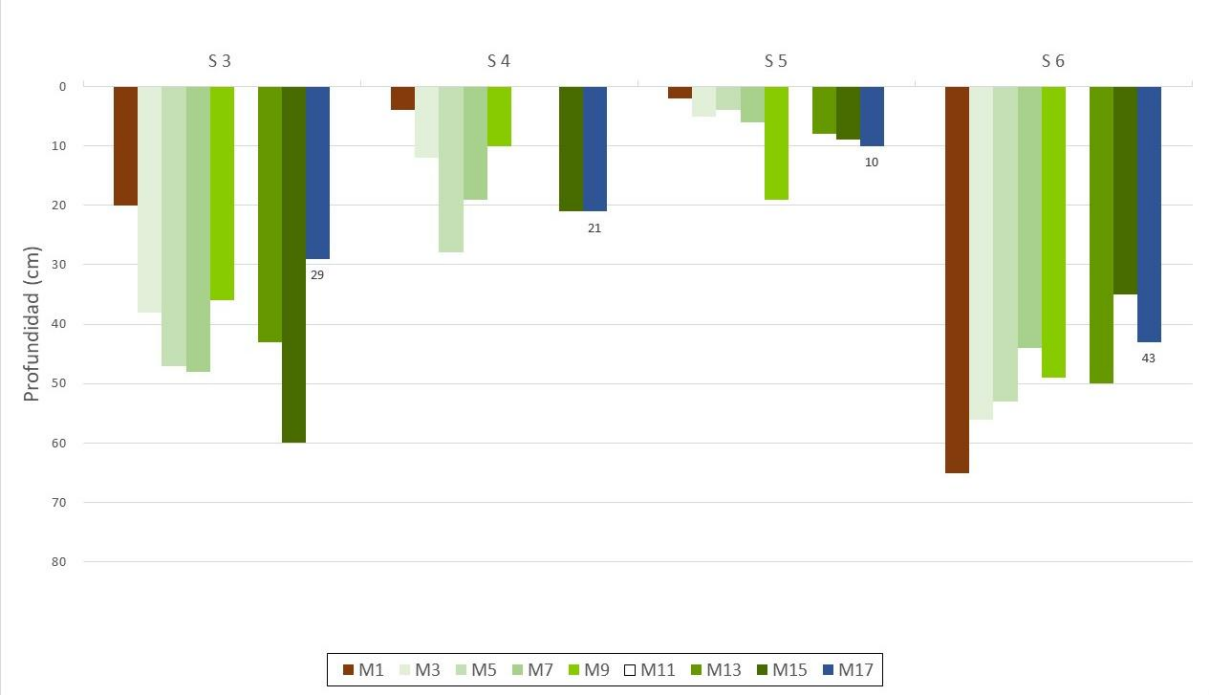
En definitiva, los contenidos de humedad descritos en M17 y M18 en los cuatro puntos del sector de La Punta – La Brava se presentan dentro del margen de variación en el periodo de seguimiento (M1 a M16), y con variaciones muy bajas entre los distintos monitoreos.

Los registros corresponden a lo descrito al momento de la toma de muestra para cada monitoreo. Los casos en que no aparecen datos corresponden en realidad a niveles freáticos más profundos que los alcanzados por la excavación realizada durante la campaña de toma de muestras para monitoreo de suelo.

Es necesario aclarar que la metodología y los resultados aquí indicados para registrar el nivel freático del perfil del suelo no forma parte de los compromisos ante la SMA.

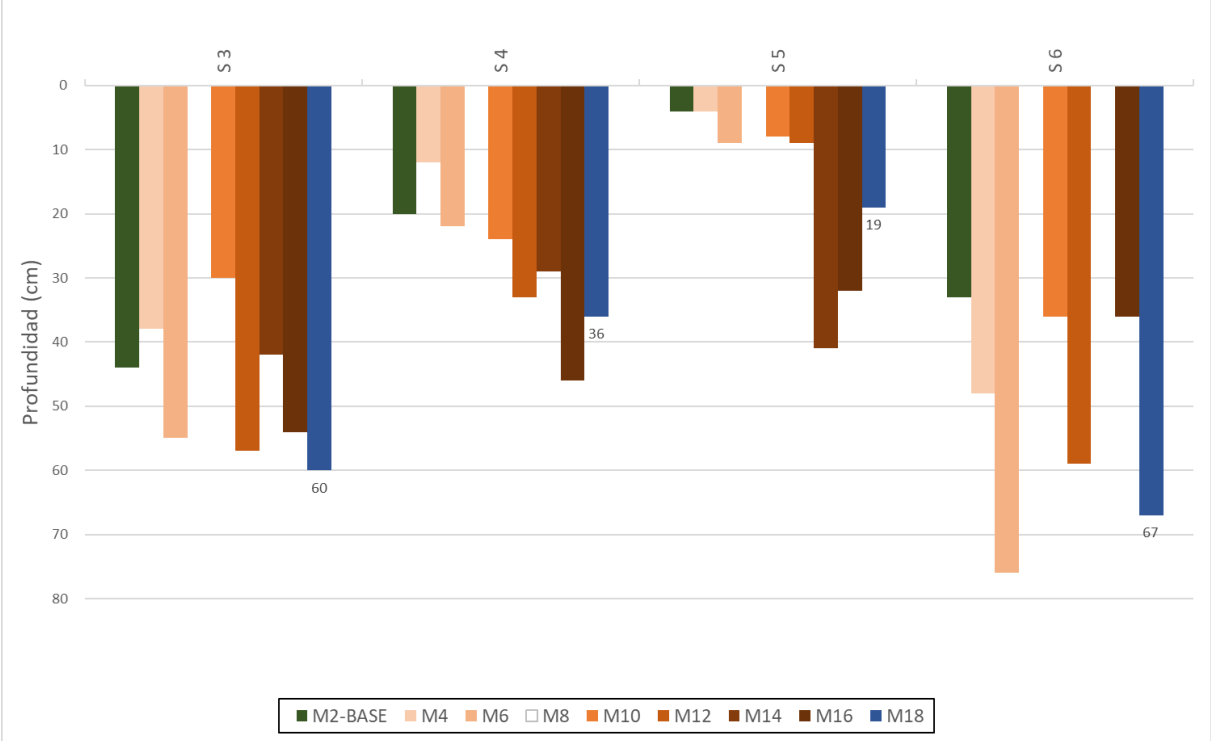
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-51. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-52. Nivel Freático Campañas Verano, Sector La Punta – La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.2 Análisis de evolución de resultados Sector Peine

En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presenta el detalle de resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros evaluados para suelo, y sus rangos de medición, presentando información comparada con los 18 monitoreos realizados (M1 a M18), tanto de invierno como de verano.

13.4.2.1 Conductividad Eléctrica y Salinidad Sector Peine

Para el sector **Peine**, en la **Figura N° 13-53** y **Figura N° 13-54** se presenta la evolución de conductividad eléctrica y salinidad para los monitoreos de invierno y verano respectivamente.

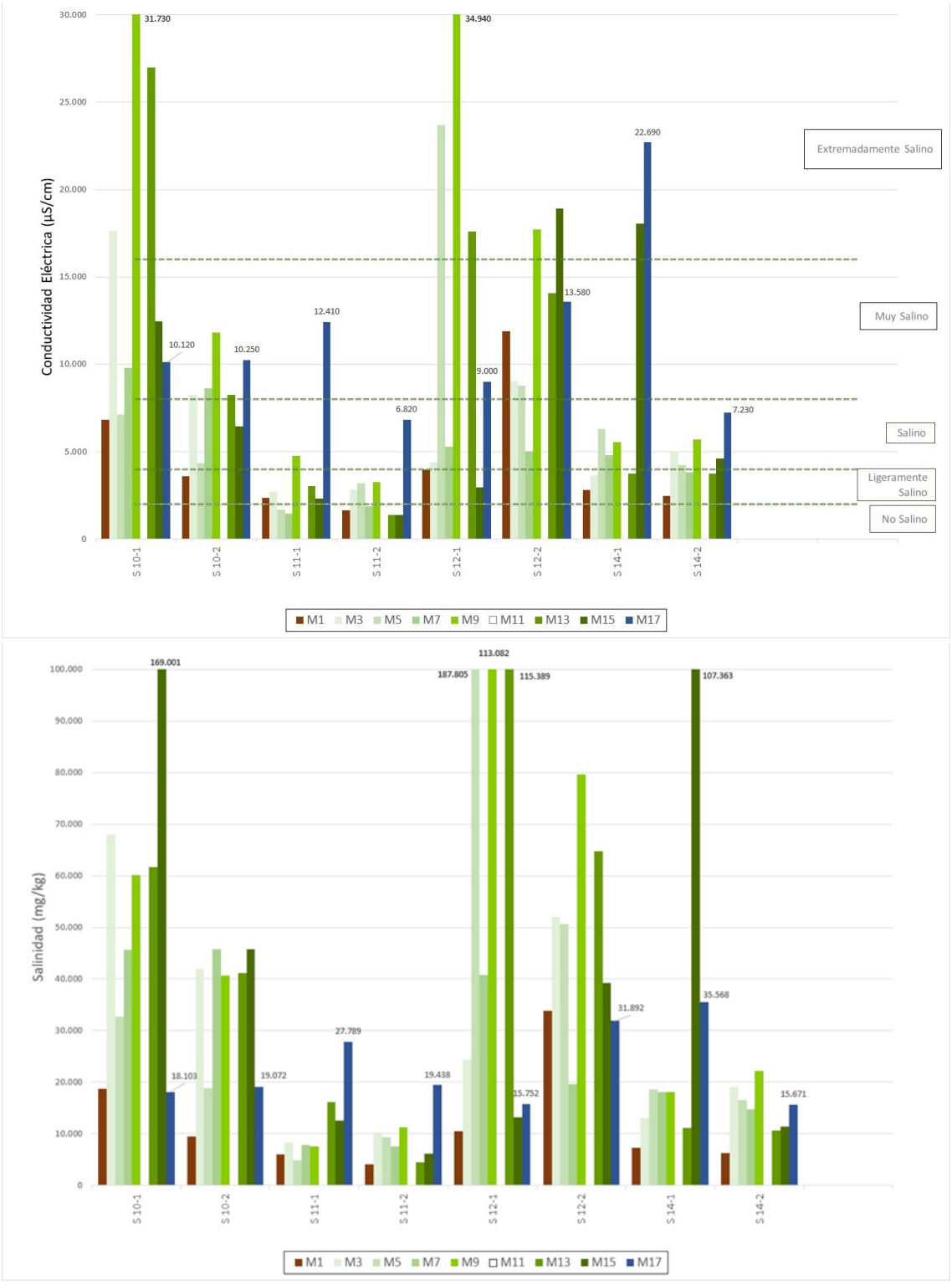
Los datos del monitoreo de invierno M17 señalan que en cuatro muestras correspondientes a dos puntos se superan los máximos históricos de conductividad eléctrica (S 11-1 y S 11-2, S 14-1 y S 14-2), siendo la muestra S 14-1 la única con un nivel extremadamente salino. Consistentemente, para el monitoreo estival M18, en los mismos dos puntos se presentan valores por sobre el rango de variación histórica, con el punto S 14 con aumentos de 2% y 36% y S 11, con aumentos de 195% y 157% por sobre los máximos anteriores en monitoreos de verano, para el primer y segundo horizonte.

En el monitoreo invernal M18 se identifican tres puntos con valores de salinidad dentro de los rangos de variación histórica de anteriores monitoreos para cada muestra, (S 10, S 12 y S 14). El punto S 11 presenta valores por sobre los máximos históricos, y con aumentos respecto al anterior monitoreo M15 (alzas de 122% en S 11-1 y 214% en S 11-2). Estos incrementos entre un monitoreo y el siguiente no se pueden relacionar con el nivel de humedad de cada muestra, ya que no hay diferencias importantes en este aspecto, o con variaciones en el nivel freático, ya que se presenta un alza desde 48 cm en M15 a 21 cm en M17.

En general, en el sector Peine para salinidad la campaña estival M18 entrega valores dentro y fuera de la variación histórica de cada horizonte, con dos muestras por sobre el rango, como S 11-1 (6 % sobre máximos históricos de verano) y S 11-2 (60% sobre máximos). Cuatro de las ocho muestras (S 10-1 y 2, S 12-2 y S 14-2) presentan resultados por debajo del rango de variación histórico de verano, con la muestra S 10-1, que baja a un 29% del anterior valor histórico.

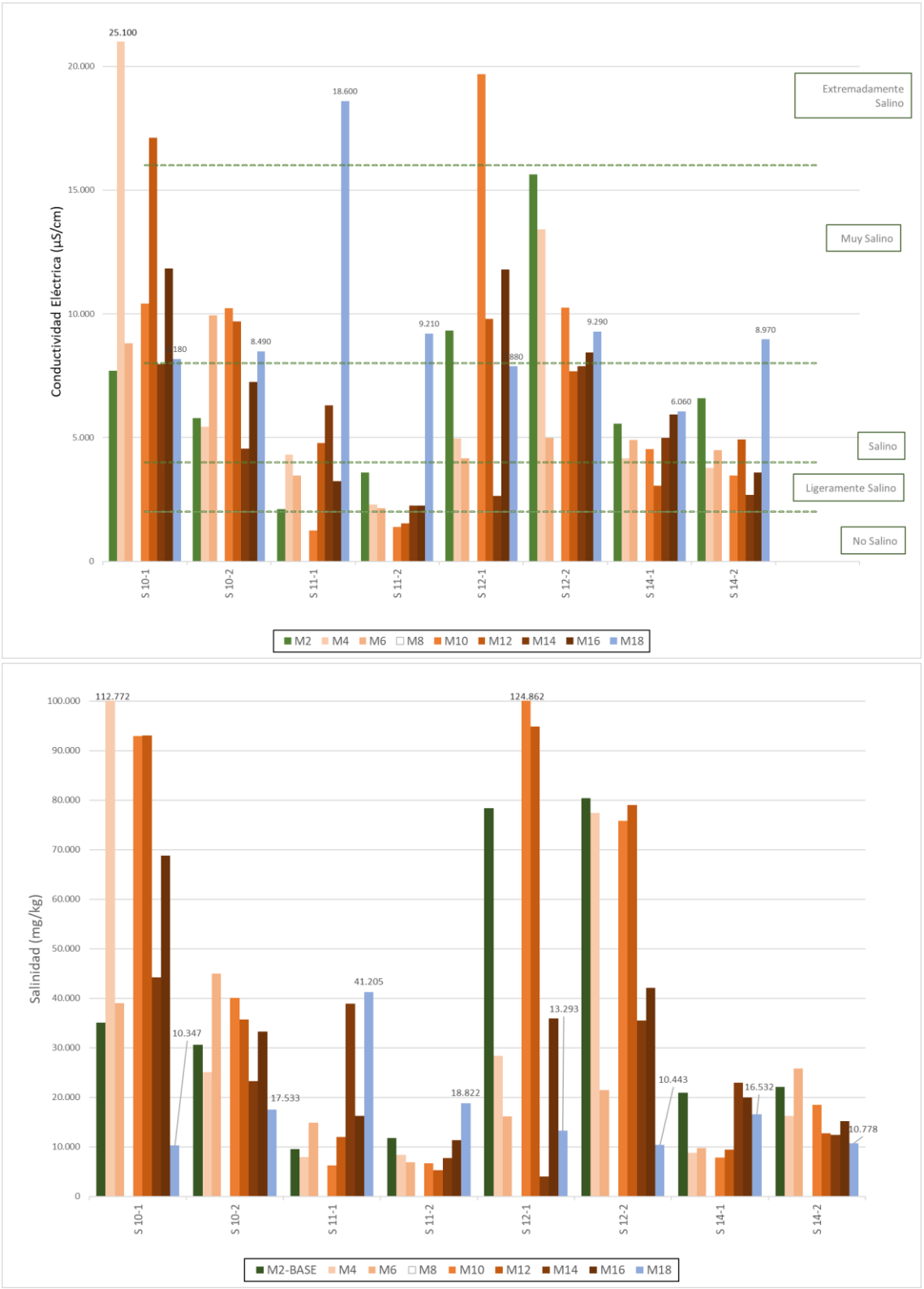
Los niveles de conductividad eléctrica y salinidad registrados son consistentes con las características químicas de suelos ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos. En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para estas variables.

Figura N° 13-53. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Invierno, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-54. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.2.2 Nivel de pH Sector Peine

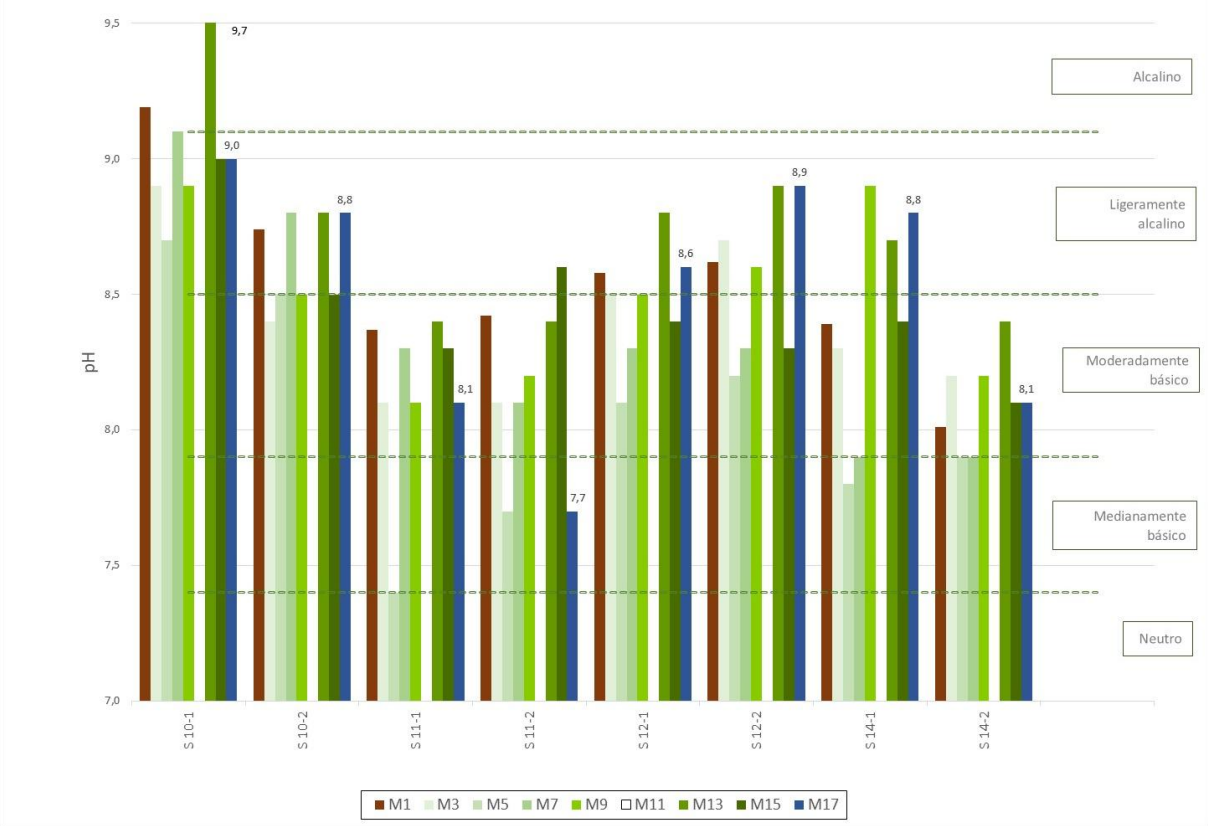
Para el sector **Peine**, en la **Figura N° 13-55** se presenta la evolución de pH en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-56** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

Los valores se observan muy estables en comparación con la tendencia de los valores de anteriores monitoreos, tanto de invierno M17 como de verano M18, y presentan una variabilidad muy baja entre diferentes monitoreos. Tanto el monitoreo de invierno (M17) como el de verano (M18) se presentan dentro de los rangos usuales de variación histórica para todos los monitoreos para cada punto en particular. Cabe mencionar que para el monitoreo de pH, se produce un cambio de laboratorio entre M16 (ALS) y M18 (ANAM).

Se puede señalar que los suelos descritos tienen pH normales para las posiciones que ocupan, en la cercanía de cuerpos lagunares salinos.

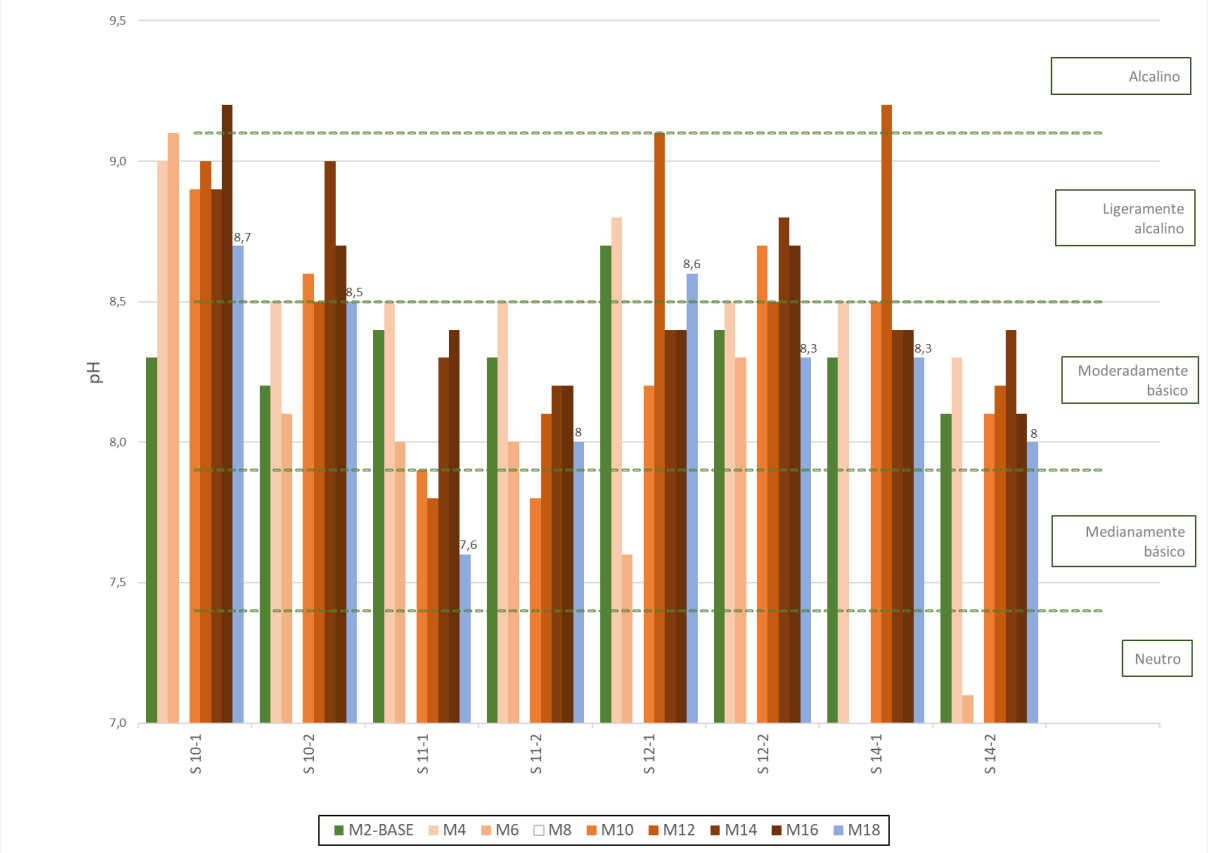
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-55. Resultados pH Campañas Invierno, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-56. Resultados pH Campañas Verano, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.2.3 Materia Orgánica Sector Peine

Para el sector **Peine**, en la **Figura N° 13-57** se presenta la evolución de Materia Orgánica en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-58** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

En el monitoreo de invierno M17 todos los puntos se presentan dentro de los valores registrados en el periodo de seguimiento (M1 a M15), y con valores más alineados con los resultados de los monitoreos M7 y M9.

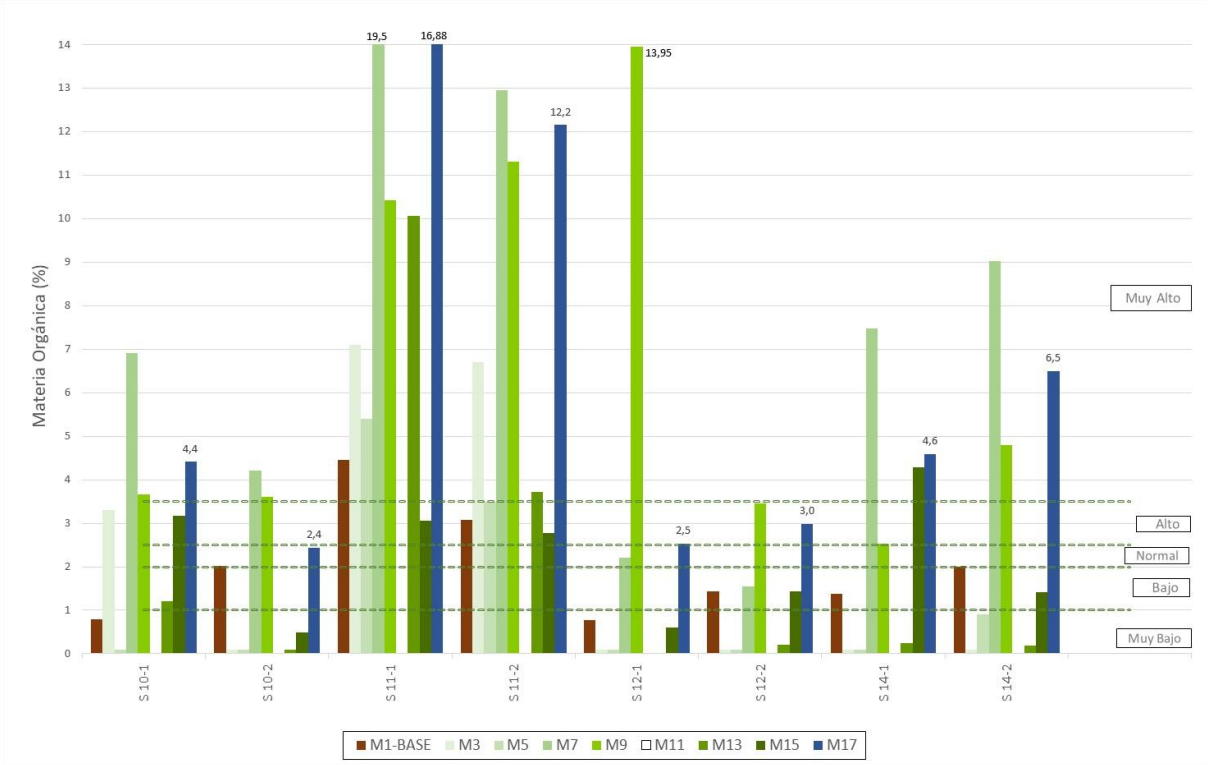
En general, los valores de materia orgánica en M18 se presentan en el rango alto de la variación histórica de los monitoreos de verano, con solo las muestras S 11-1 y S 11-2 con valores por sobre los máximos históricos de verano (28% y 40% de aumento respectivamente). Respecto al anterior monitoreo de verano (M16), en M18 se presentan cuatro muestras que aumentan y cuatro muestras que disminuyen su contenido de materia orgánica. En general, el valor del actual monitoreo estival (M18) presenta valores similares a los monitoreos M10, M12

y M16, pero con valores muy superiores al valor de M2 (primer monitoreo de verano) y M4 y M6. Los mayores valores de materia orgánica se asocian al punto S 11, que se explica por la mayor cobertura vegetal que presenta.

Los cambios experimentados entre periodos de monitoreo no tienen una explicación integral con respecto a los cambios en las formaciones vegetales u otras modificaciones en el área de estudio. No es posible establecer una relación directa entre la cobertura vegetal en superficie y los niveles de materia orgánica como ocurre muy claramente en los otros sectores, pero la existencia de restos vegetales y acumulación orgánica en los perfiles muestreados, si se puede correlacionar con los resultados obtenidos.

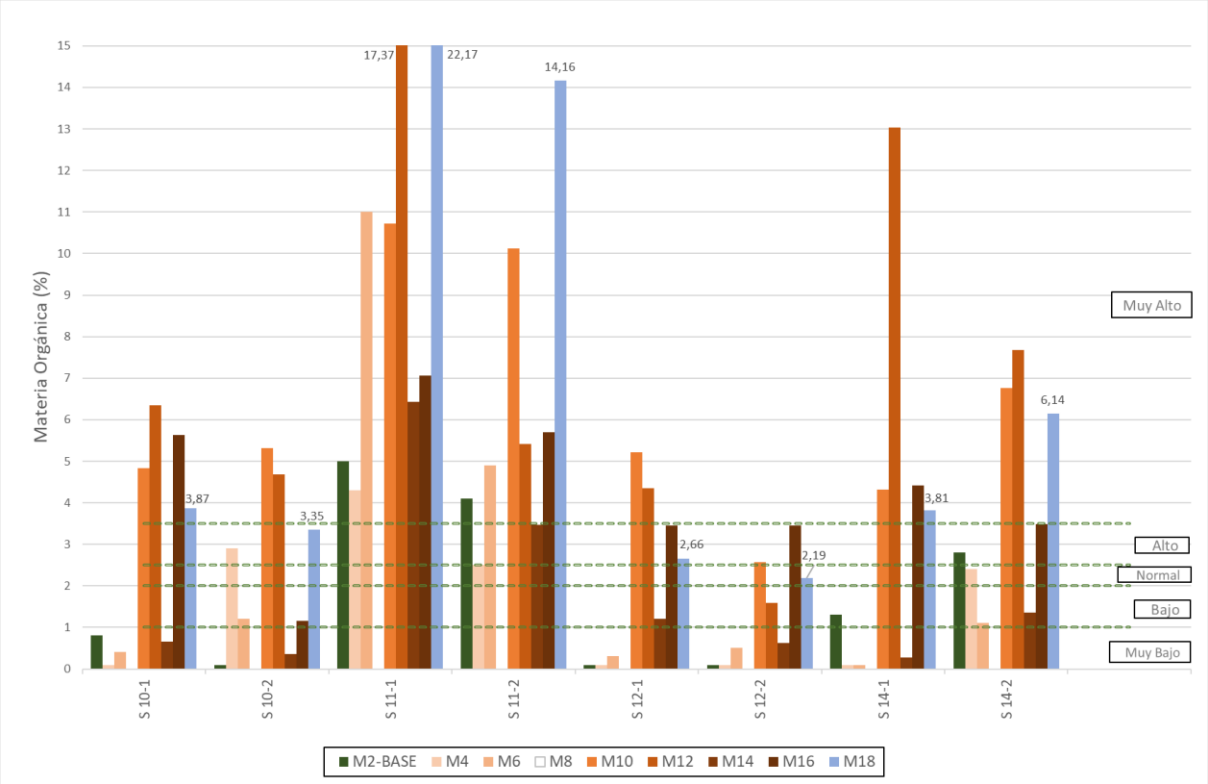
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-57. Resultados Materia Orgánica Campañas Invierno, Sector Peine



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-58. Resultados Materia Orgánica Campañas Verano, Sector Peine



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.2.4 Nutrientes Sector Peine (Nitrógeno, Fósforo y Potasio disponibles)

Para el sector **Peine**, en la **Figura N° 13-59** y **Figura N° 13-60** se presenta la evolución de nitrógeno disponible en suelo para los monitoreos de invierno y de verano respectivamente.

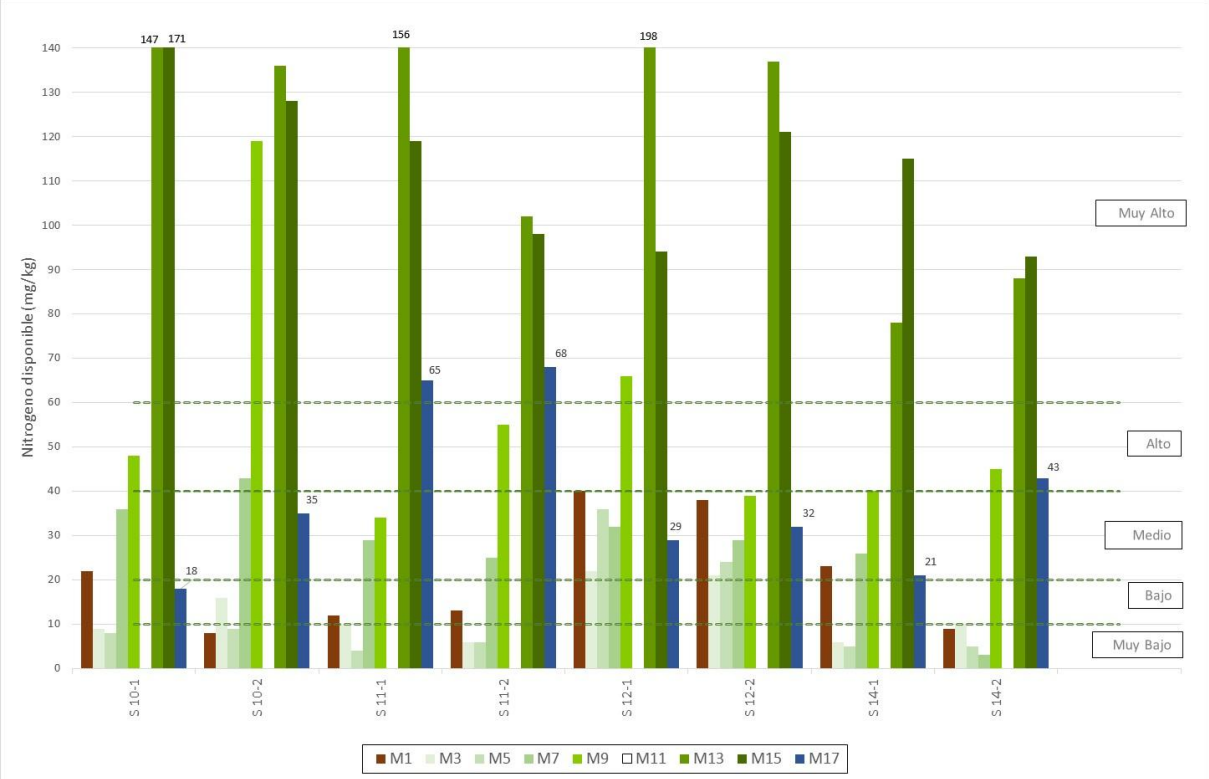
Todas las muestras en M17 indican contenidos de nitrógeno en el rango medio de variación en el periodo de seguimiento de monitoreos de invierno. Si el análisis se practica entre el actual monitoreo y los monitoreos de invierno inmediatamente anterior (M13 y M15) es posible constatar una baja importante en los valores, con porcentajes que oscilan entre un 31% a un 89% de disminución respecto de los valores en M17. Es posible apreciar que los valores del actual monitoreo M17 se encuentran más cercanos a la tendencia de comportamiento de monitoreos de invierno como M7 y M9, que a la de M13 y M15. Se requiere continuar el seguimiento en el tiempo para terminar de definir la dispersión observada.

De manera similar, en el monitoreo de verano M18 las muestras evidencian en general valores dentro de la variación histórica para cada punto. Las muestras S 11-1 y S 11-2 muestran valores mayores que los máximos históricos de monitoreos de verano, con aumentos de 25%

y 4% respectivamente. Se aprecian valores en anteriores monitoreos más alejados de la tendencia principal de datos, diferencias que deben evaluarse en una serie de tiempo más larga, para identificar el rango de variación natural de los suelos del área de estudio.

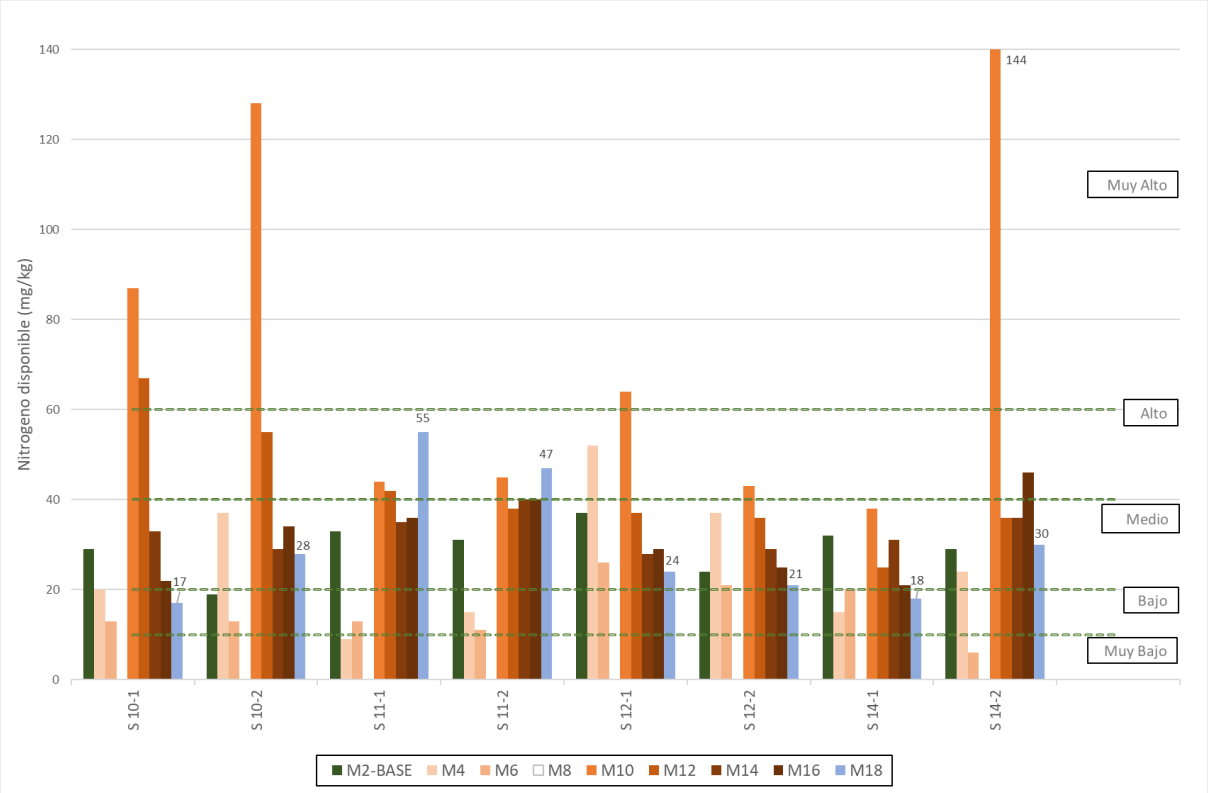
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-59. Resultados Nitrógeno disponible Campañas Invierno, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-60. Resultados Nitrógeno disponible Campañas Verano, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura N° 13-61** y **Figura N° 13-62**, se muestra la concentración de fósforo disponible en el sector de Peine, para todos los monitoreos de invierno y de verano respectivamente.

En cuatro de las ocho muestras de fósforo para el monitoreo de invierno M17 (S 11-1 y 11-2; S 14-1 y S 14-2), el valor es más alto que los registros máximos en el período de seguimiento. Especial mención recibe la muestra S 14-2, con un valor de 402% por sobre el valor máximo anterior, junto con la muestra S 11-1, que presenta un valor de 433% por sobre el anterior registro máximo. Estos incrementos muy por sobre los valores máximos históricos pueden considerarse una variación extrema respecto de la serie de datos durante el periodo de seguimiento. Se debe esperar al siguiente monitoreo para poder evaluar como continúan los registros.

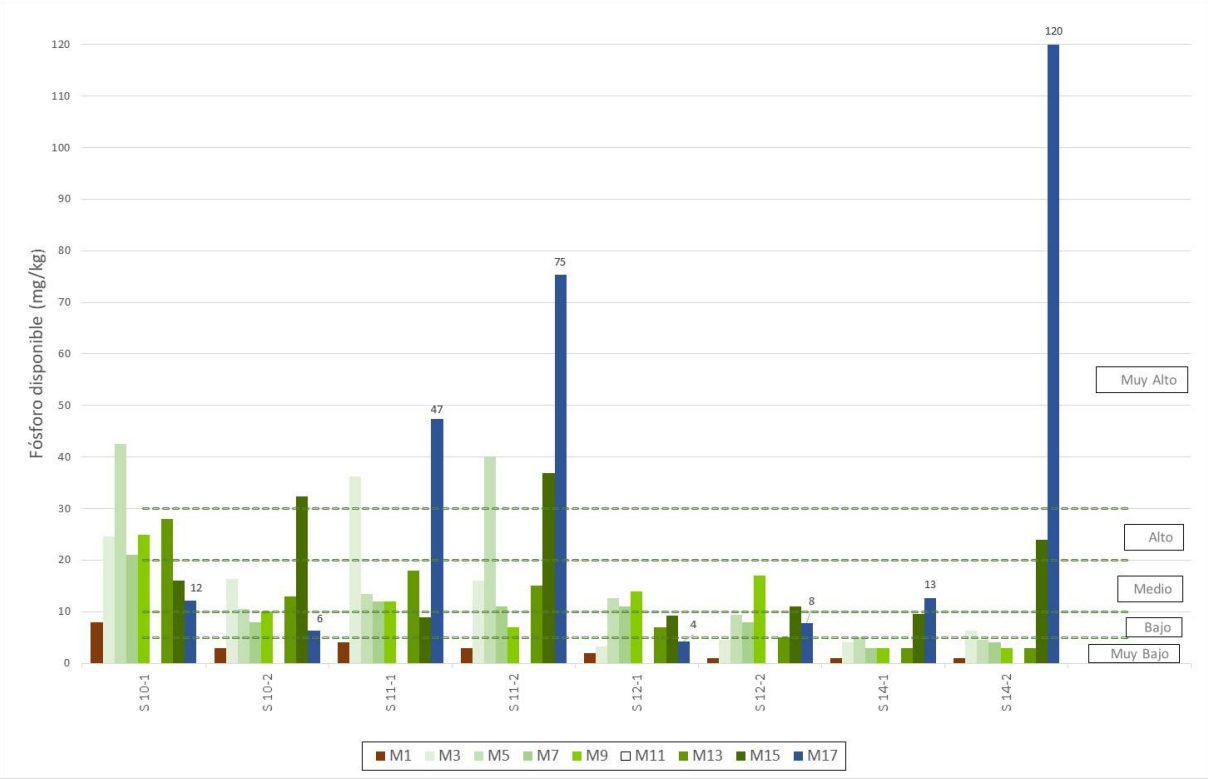
Salvo el caso de la muestra S 14-1, que se presenta por sobre los valores máximos, todas las demás muestras en M18 se presentan dentro del rango de los monitoreos de verano para cada muestra. Al comparar M18 respecto al anterior monitoreo (M16), se presenta una baja en seis de las siete muestras comparadas (en M16 la muestra S11-2 no tiene resultado), y solo en la muestra S 14-1 presenta un alza de 24% en M18. Se presenta una alta variabilidad entre M14, M16 y el actual M18, con puntos como S10 y S 12, donde los valores de M18 se asimilan a los valores de M14 y en S 11 y S 14, donde los valores se asimilan a M16. Se aprecian valores

más alejados de la tendencia principal de los datos, con diferencias entre monitoreos que deben evaluarse en una serie de tiempo más larga, para identificar el rango de variación natural de los suelos del área de estudio.

La variabilidad que presentan los datos puede explicarse parcialmente por la variabilidad del material parental de los suelos caracterizados. Además, los niveles de fósforo disponible varían con los niveles de pH (mayor alcalinidad mayor disponibilidad de fósforo), materia orgánica del suelo (mayor proporción de materia orgánica se asocia a mayor disponibilidad de fósforo) y niveles de humedad del suelo (mayor humedad se asocia a mayor disponibilidad de fósforo). Monitoreos posteriores podrían confirmar o descartar un aumento tendencial en Fósforo disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones como el re-transporte de material parental con contenidos diferenciales de fósforo desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

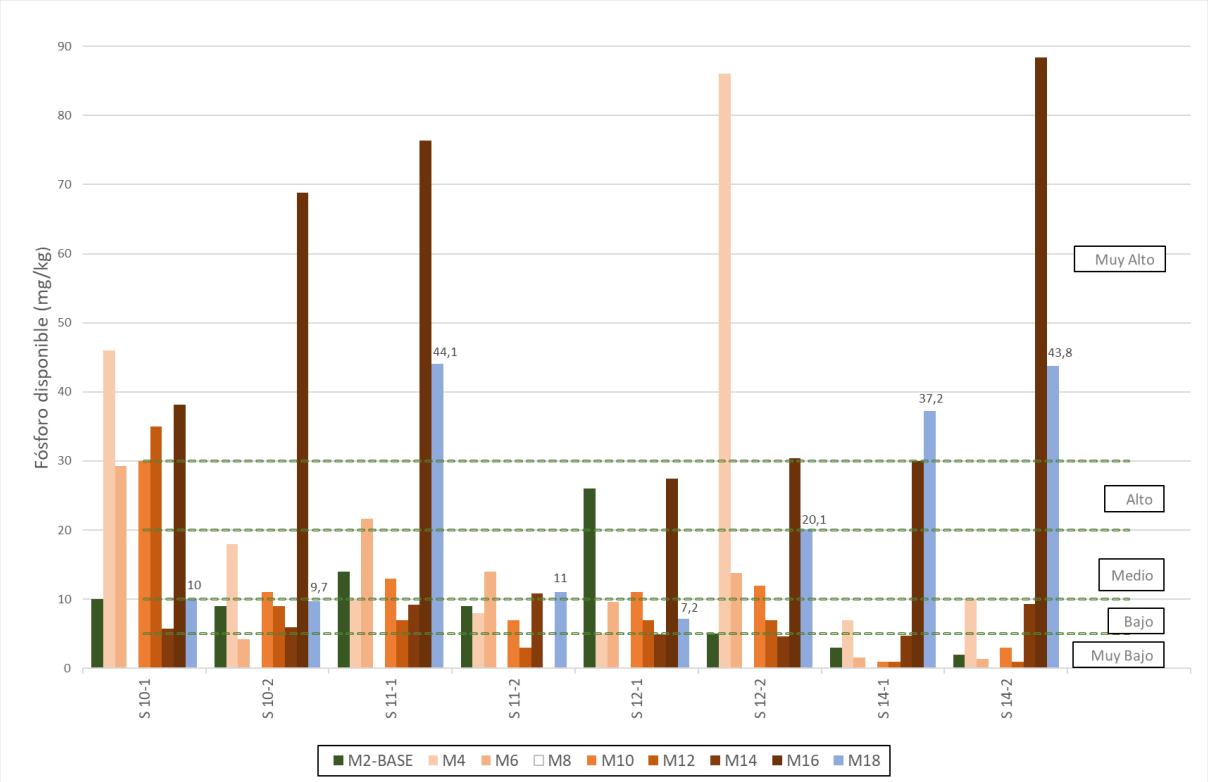
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-61. Resultados Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-62. Resultados Fósforo disponible Campañas Verano, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia. Muestra S 11-2 para M16 sin datos desde laboratorio.

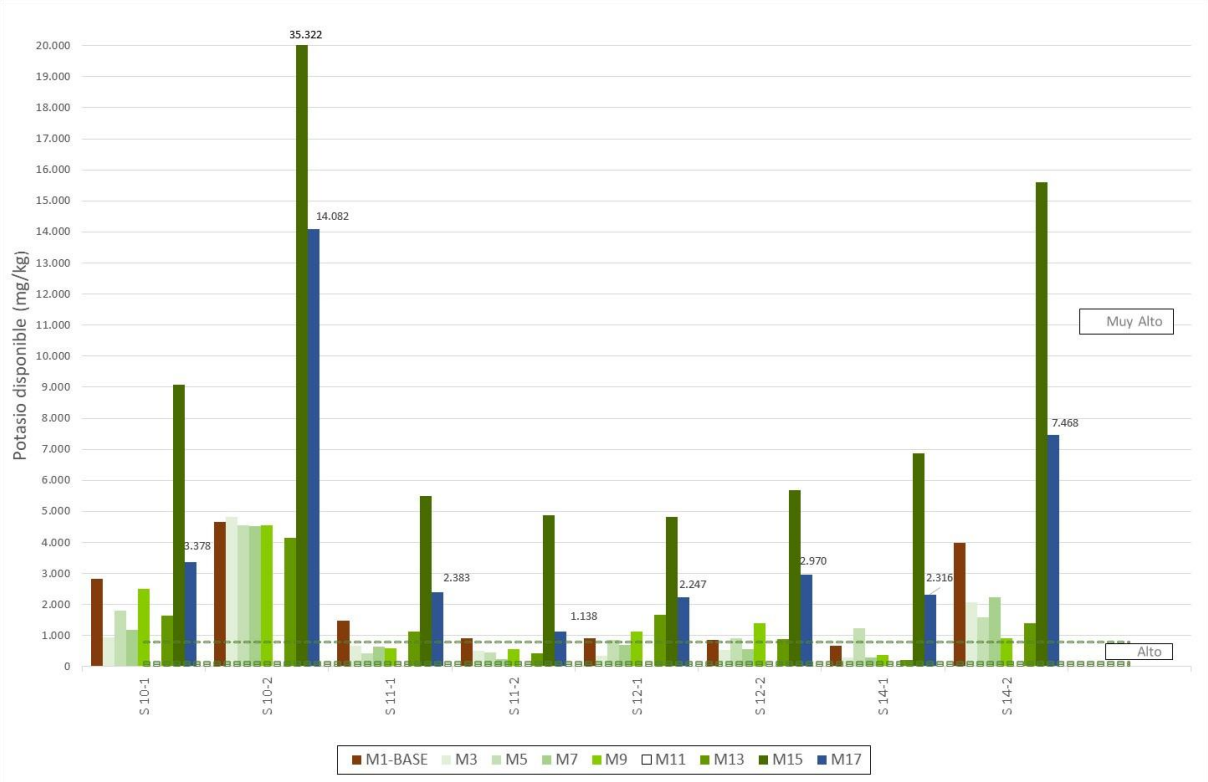
La **Figura N° 13-63** grafica la concentración de potasio disponible en el sector de **Peine**, para todos los monitoreos de invierno, en tanto, en la **Figura N° 13-64** se muestra para todos los monitoreos de verano.

Todas las muestras en M17 se presentan dentro del rango de variación para los monitoreos de invierno, con valores en el rango alto del periodo total de seguimiento. En todos los puntos el valor de M17 corresponde al segundo valor más alto en la serie histórica de monitoreos de invierno, por debajo de M15. El valor de potasio disponible en M15 presenta valores muy por sobre los niveles del resto de monitoreos, por lo que pueden considerarse valores altos de dispersión en la serie histórica de datos.

En general, en M18 los valores se presentan dentro de la tendencia histórica de monitoreos de verano, solo con la muestra S 12-1, que baja 19% respecto al mínimo histórico. Los valores de M18 se asimilan en general a los valores que se presentan en M14 y M16.

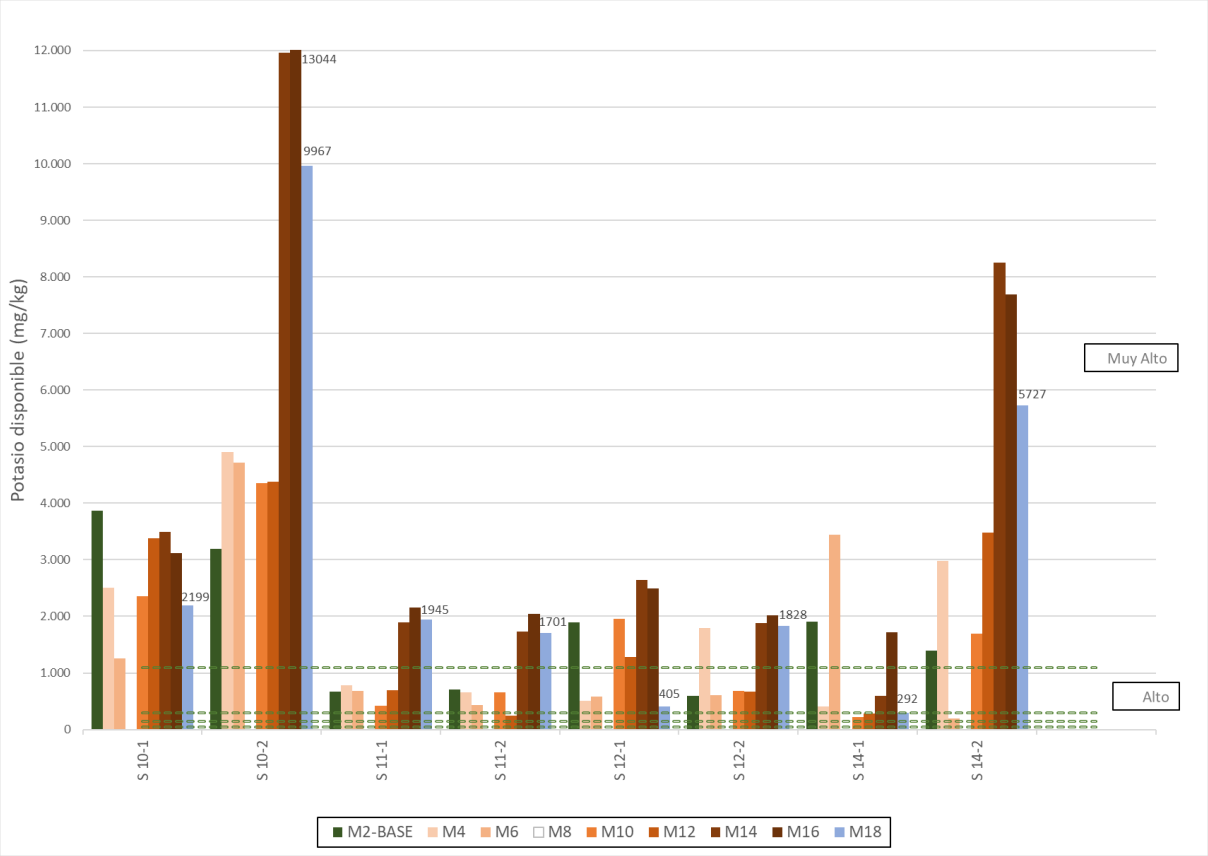
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-63. Resultados Potasio disponible Campañas Invierno, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-64. Resultados Potasio disponible Campañas Verano, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.2.5 Conductividad Hidráulica y Textura Sector Peine

En la serie de datos temporales para conductividad hidráulica en el sector de **Peine,** se indica en la **Figura N° 13-65** y **Figura N° 13-66** para los monitoreos de invierno y verano respectivamente.

En el monitoreo de invierno M17, seis de las ocho muestras presentan valores de conductividad hidráulica dentro del rango de variación del periodo de seguimiento de monitoreos de invierno, principalmente en la parte baja de dicho rango, con dos muestras por sobre los máximos del periodo de seguimiento (S 10-1 y S 14-1). Es necesario seguir evaluando la serie histórica de datos para poder identificar las dispersiones observadas y ajustar el análisis de dichos datos, dado que en general, para el sector Peine, este parámetro reporta gran variabilidad en el tiempo.

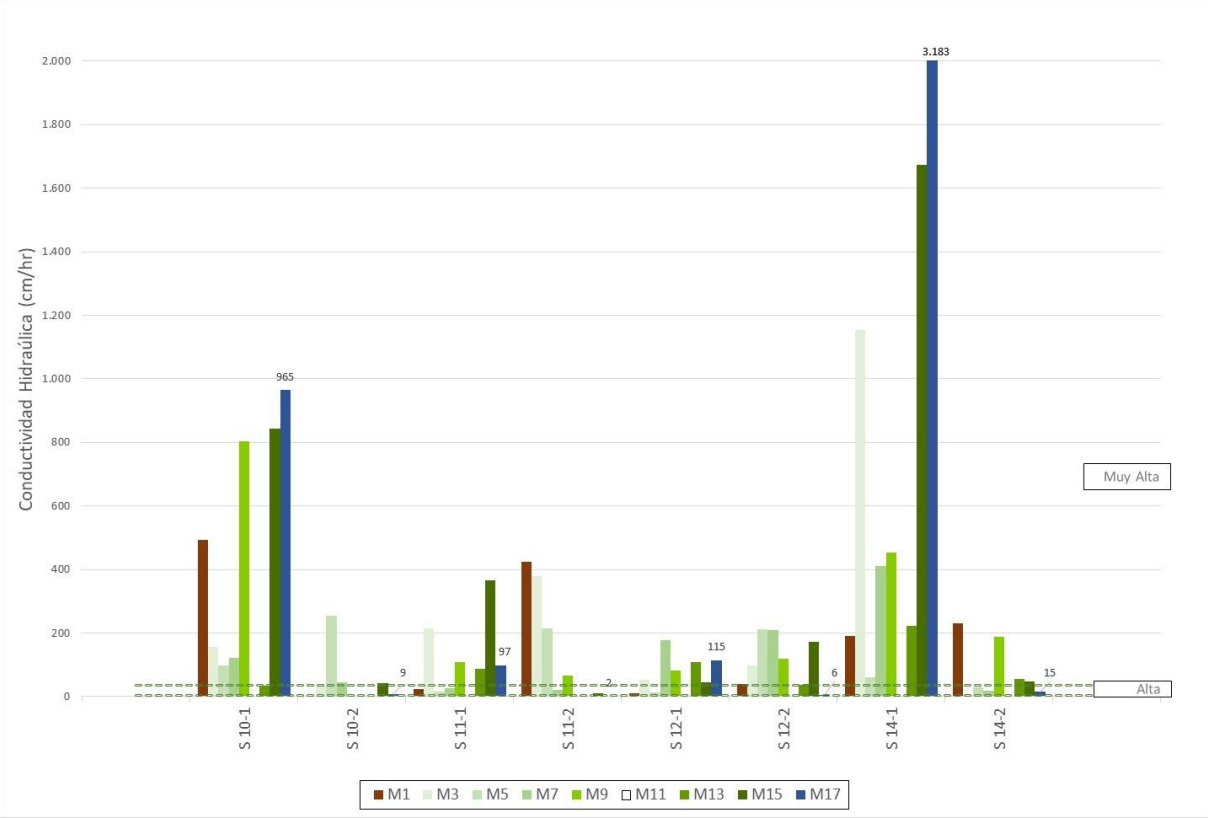
En la serie de datos temporales del monitoreo de verano, se aprecia que siete de las ocho muestras en M18 presentan valores de conductividad hidráulica dentro del rango de variación

del periodo de seguimiento, y una muestra por sobre los máximos del periodo de seguimiento (S 14-2). Es necesario seguir evaluando la serie histórica de datos para poder identificar tendencias y ajustar el análisis de dichos datos, dado que en general, para el sector Peine, este parámetro reporta gran variabilidad en el tiempo.

Conductividades hidráulicas muy altas deberían estar asociadas a texturas gruesas a muy gruesas, lo que no es evidenciable claramente en este monitoreo, por lo que no es posible asociar las diferencias en la conductividad hidráulica a la textura. Dado que la conductividad hidráulica depende de las características de suelo, en conjunto con condiciones de compactación, es que se espera una variación natural entre las muestras. En los monitoreos desarrollados no se consignan intervenciones antrópicas sobre la compactación que incidan en estos resultados.

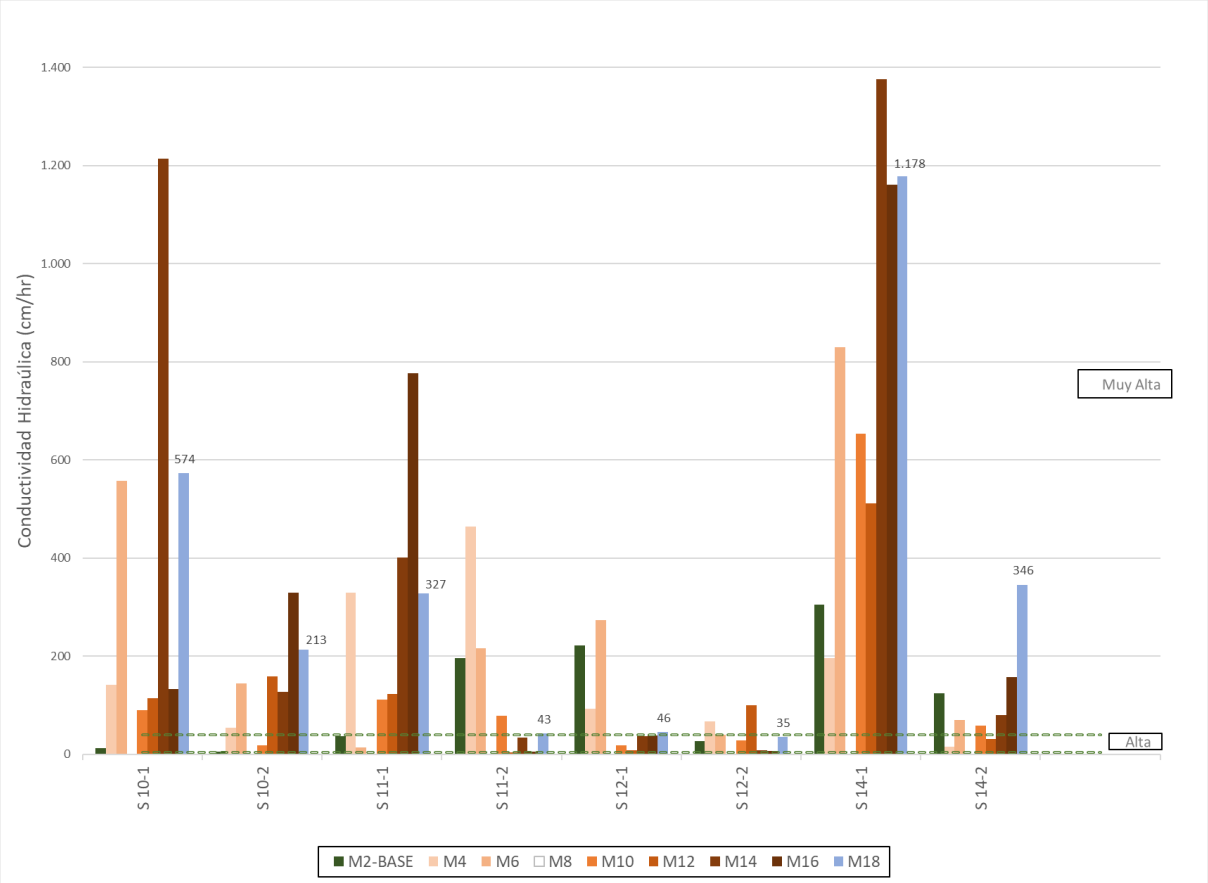
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-65. Conductividad Hidráulica Campañas Invierno, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-66. Conductividad Hidráulica Campañas Verano, Sector Peine.



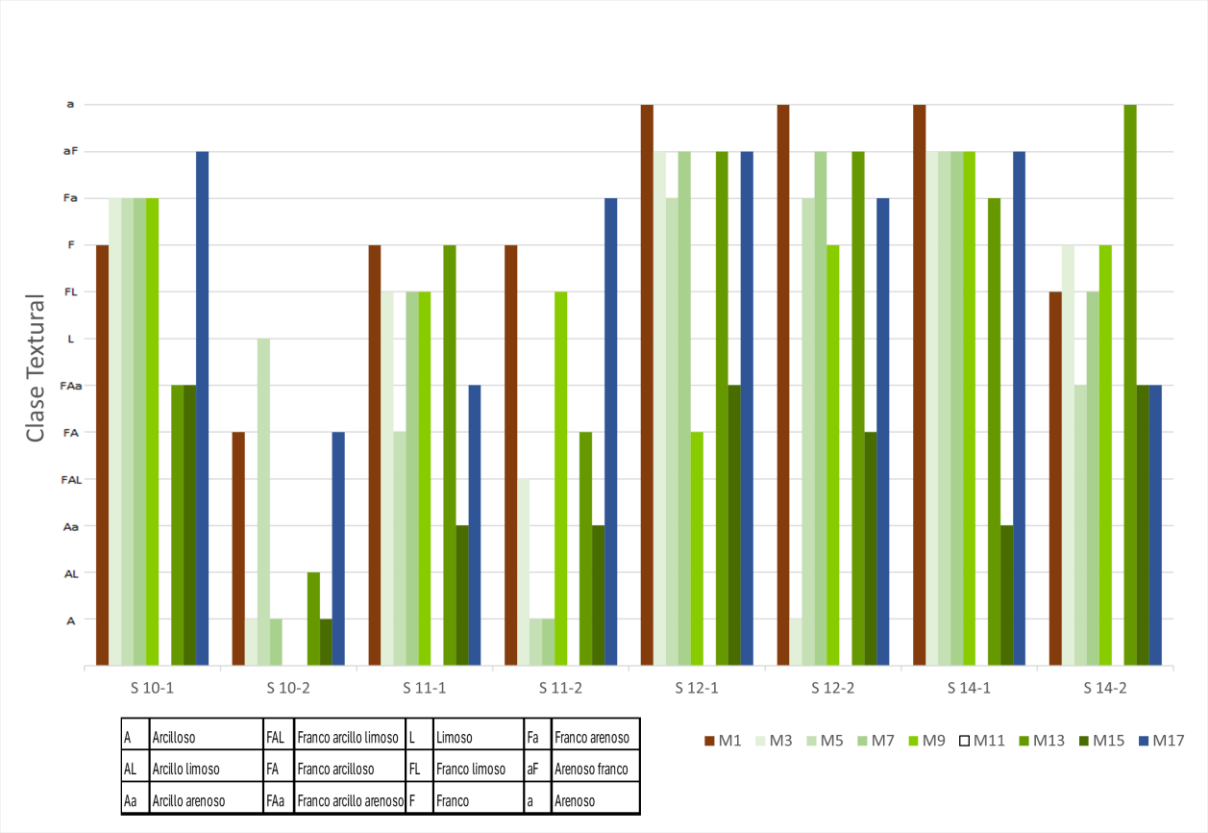
Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura N° 13-67** y **Figura N° 13-68** se muestran los datos de clases texturales registrados en los monitoreos de invierno y verano respectivamente, para el sector de Peine.

De manera general, en invierno y verano, se observa una transición hacia texturas más gruesas, pero en rangos cercanos a los valores modales de la serie histórica de datos. Es necesario complementar con más información a la serie temporal para proponer causas que expliquen estas variaciones, como por ejemplo el re-transporte de material parental con clases texturales diferenciales desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores, junto con diferencias en materiales de origen.

En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

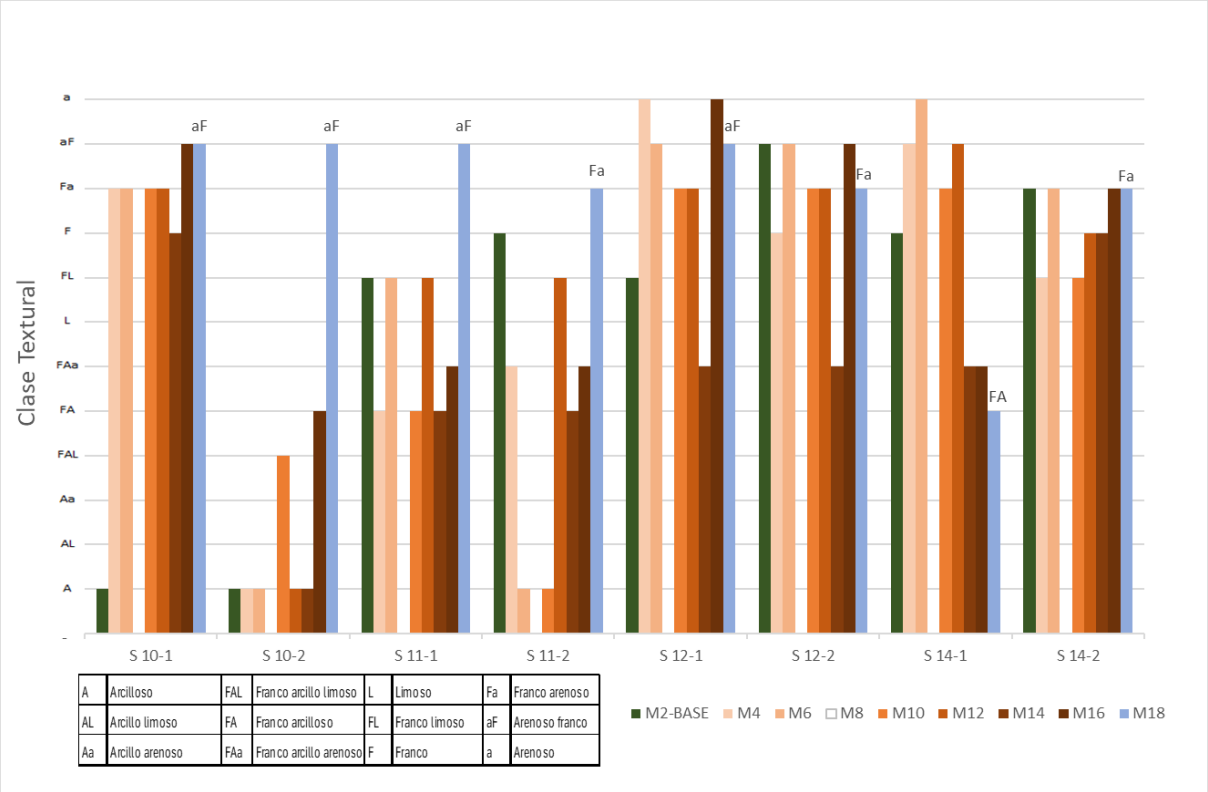
Figura N° 13-67. Textura Campañas Invierno, Sector Peine.



A	Arcilloso	FAL	Franco arcillo limoso	L	Limoso	Fa	Franco arenoso
AL	Arcillo limoso	FA	Franco arcilloso	FL	Franco limoso	aF	Arenoso franco
Aa	Arcillo arenoso	FAa	Franco arcillo arenoso	F	Franco	a	Arenoso

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-68. Textura Campañas Verano, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

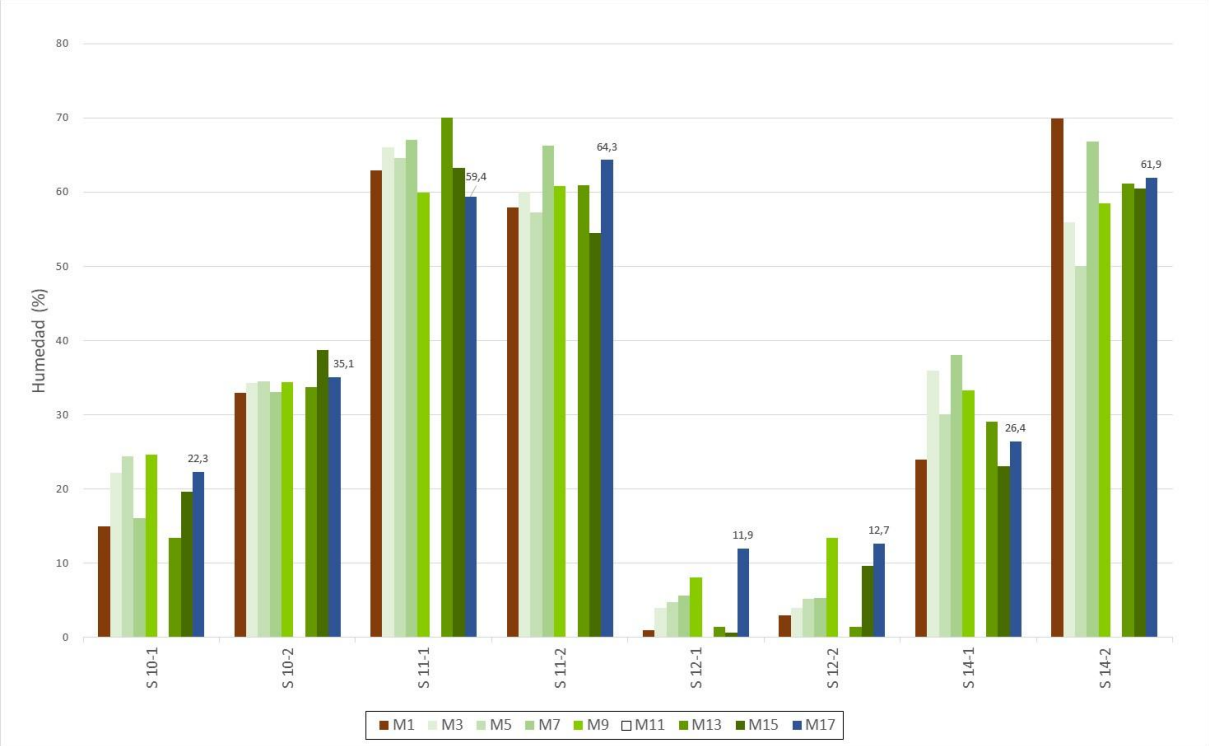
13.4.2.6 Humedad y Nivel Freático Sector Peine

En la serie de datos temporales de humedad representados en la **Figura N° 13-69** (invierno) y **Figura N° 13-70** (verano) se aprecia que, en general, los resultados de los monitoreos de invierno y de verano se presentan dentro del rango de variaciones históricas para este parámetro, con una gran consistencia de resultados al interior de cada muestra.

Tanto en los monitoreos de invierno como de verano, las texturas más gruesas y la ausencia de nivel freático (o nivel muy profundo) explican el bajo contenido de humedad del punto S 10 y S 12, junto con la posición más alta en la cuenca del punto S 12. En los puntos S 11 y S 14, la presencia de nivel freático y de texturas más finas explican razonablemente los porcentajes de humedad de los suelos, lo que es altamente representativo de suelos ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos con nivel freático presente.

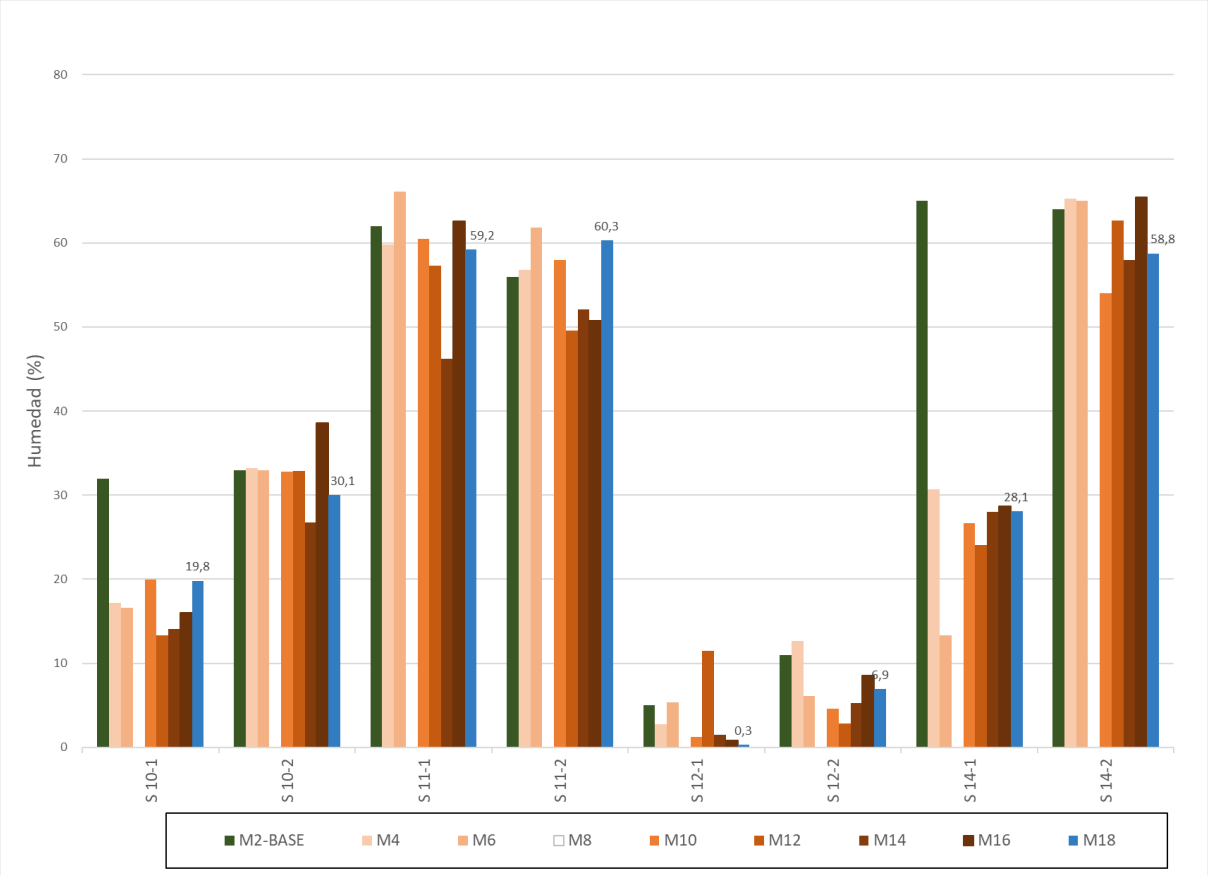
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-69. Humedad Campañas Invierno, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-70. Humedad Campañas Verano, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia.

Al momento de la toma de muestras de suelo en el sector de **Peine**, se registró el **Nivel Freático,** tanto para el monitoreo de verano e invierno. El registro histórico se muestra en la **Figura N° 13-71** y **Figura N° 13-72** respectivamente.

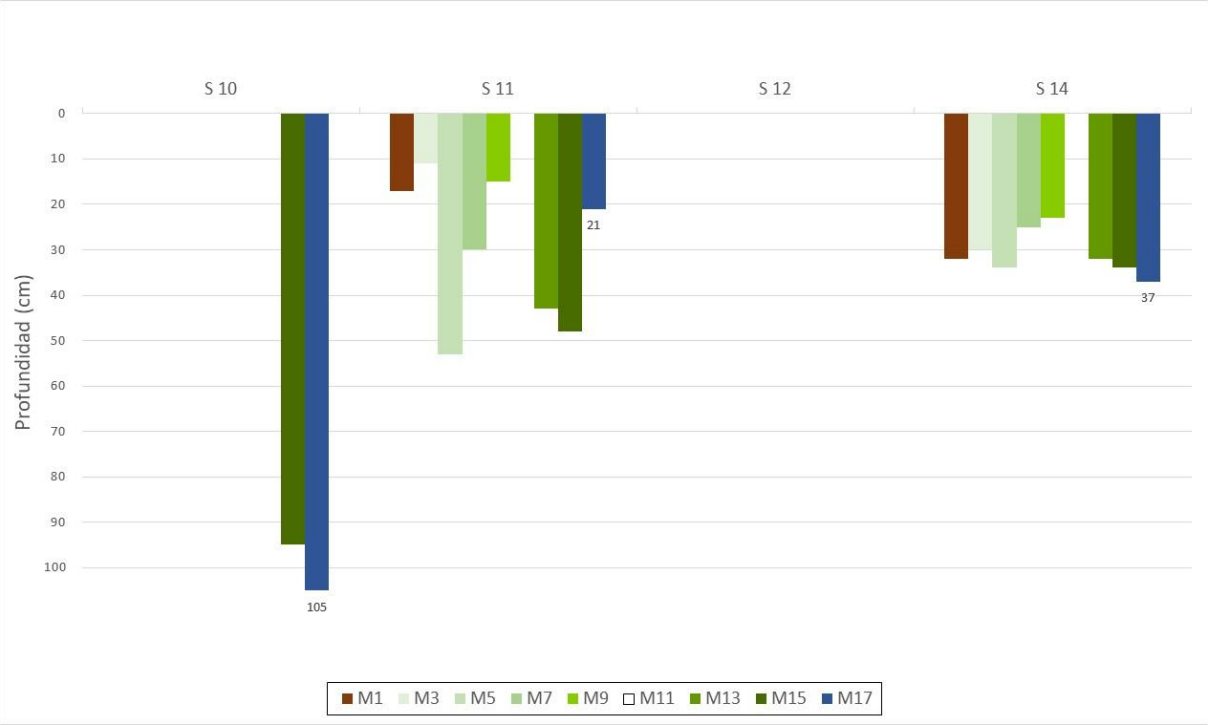
La tendencia general de monitoreos de invierno y de verano muestra que los puntos S 11 y S 14 presentan los niveles freáticos más altos, y S 10 muestran los valores más profundos, aunque con menos registros. Por el contrario, el punto S 12 no presenta nivel freático ni ahora, ni en anteriores monitoreos. No se registran incrementos o disminuciones considerables en la profundidad del nivel freático, ya los valores registrados durante ambos monitoreos actuales se encuentran dentro de los rangos históricos observados.

Los niveles freáticos registrados son los esperables para puntos de muestreo ubicados en el entorno inmediato a humedales salinos. Los registros corresponden a lo descrito al momento de la toma de muestra para cada monitoreo. Los casos en que no aparecen datos corresponden a niveles freáticos más profundos que los alcanzados por la excavación realizada durante la campaña de toma de muestras para monitoreo de suelo.

Es necesario aclarar que **tanto la metodología como los valores aquí indicados para registrar el nivel freático del perfil del suelo no forman parte de los compromisos ante la SMA**, sin embargo, se presenta el dato respectivo para tener conocimiento agregado del sistema.

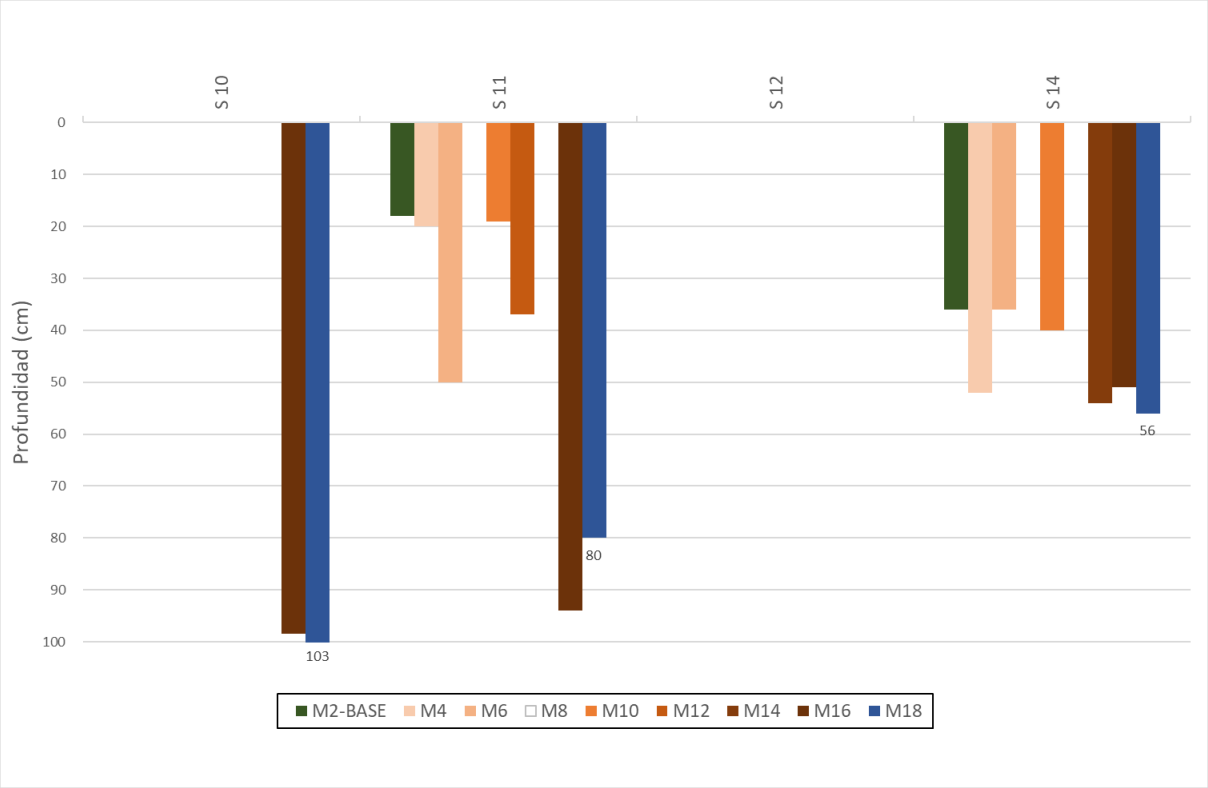
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-71. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia. Monitoreos sin datos corresponden a ausencia de nivel freático.

Figura N° 13-72. Nivel Freático Campañas Verano, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia. Monitoreos sin datos corresponden a ausencia de nivel freático.

13.4.3 Análisis de evolución de resultados Sector Tilopozo

En el Anexo 2 Suelos o Sustrato, se presenta el detalle de resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros evaluados para suelo, y sus rangos de medición, presentando información comparada con los 18 monitoreos realizados, tanto de invierno como de verano.

13.4.3.1 Conductividad Eléctrica y Salinidad Sector Tilopozo

Para el sector de **Tilopozo**, en la **Figura N° 13-73** se presenta la evolución de conductividad eléctrica y salinidad para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-74** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

En el monitoreo de invierno (M17) 6 de las 12 muestras se presentan con valores de conductividad eléctrica por sobre los máximos históricos (S 1-1, S 7-1 y 7-2, S 8-1, S 9-1 y S 9-2). El nivel más alto de conductividad eléctrica en el presente sector lo reflejó la muestra S 7-1, con 33.400 µS/cm, a diferencia de la muestra S 8-2, con el valor más bajo de conductividad eléctrica, con 1.975 µS/cm, para el actual periodo de seguimiento.

Para el monitoreo de verano M18 es posible identificar siete muestras por sobre los máximos históricos para la misma serie temporal (S 7-1, además de S 8, S 9 y S 13 en ambos horizontes). Las muestras restantes se muestran dentro del rango de los anteriores monitoreos de verano.

Cabe indicar que, para el monitoreo de conductividad eléctrica, se produce un cambio de laboratorio entre M16 (ALS) y M18 (ANAM).

Por su parte, en el parámetro de salinidad, en el monitoreo de invierno M17, la mayor parte de las muestras se observan dentro de los rangos históricos de variación de los anteriores monitoreos de invierno registrados; con solo dos muestras que presentan valores por sobre los máximos históricos, como la muestra S 8-1 (3% sobre el anterior valor máximo) y S 9-2 (0,3% de aumento).

En la serie de datos temporales del monitoreo estival, en M18 se aprecia que dos muestras (S 8-1 y S 9-1) presentan niveles de salinidad ligeramente mayores a los máximos históricos de los muestreos de verano anteriores (M2 a M16). Seis muestras (S 1-1 y 2, S 2-1 y 2, S 9-2 y S 13-2) se presentan por debajo del rango de los monitoreos de verano anteriores. La muestra S 1-1 se presenta muy por debajo de los anteriores valores de verano, con 7.119 mg/kg, que es un 25% del menor valor registrado anteriormente en monitoreos de verano.

Resulta notorio que puntos ubicados en la proximidad del núcleo del salar (S 1 y S 2) presentan valores más bajos de salinidad y conductividad eléctrica que aquellos puntos ubicados en zonas de vega, con mayores niveles de humedad y mayor cobertura vegetal (S 7 y S 8). Esto puede deberse a los materiales de origen, dado que en general son valores consistentes con anteriores registros.

Los niveles de conductividad eléctrica y salinidad registrados son representativos de las características químicas de suelos ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos.

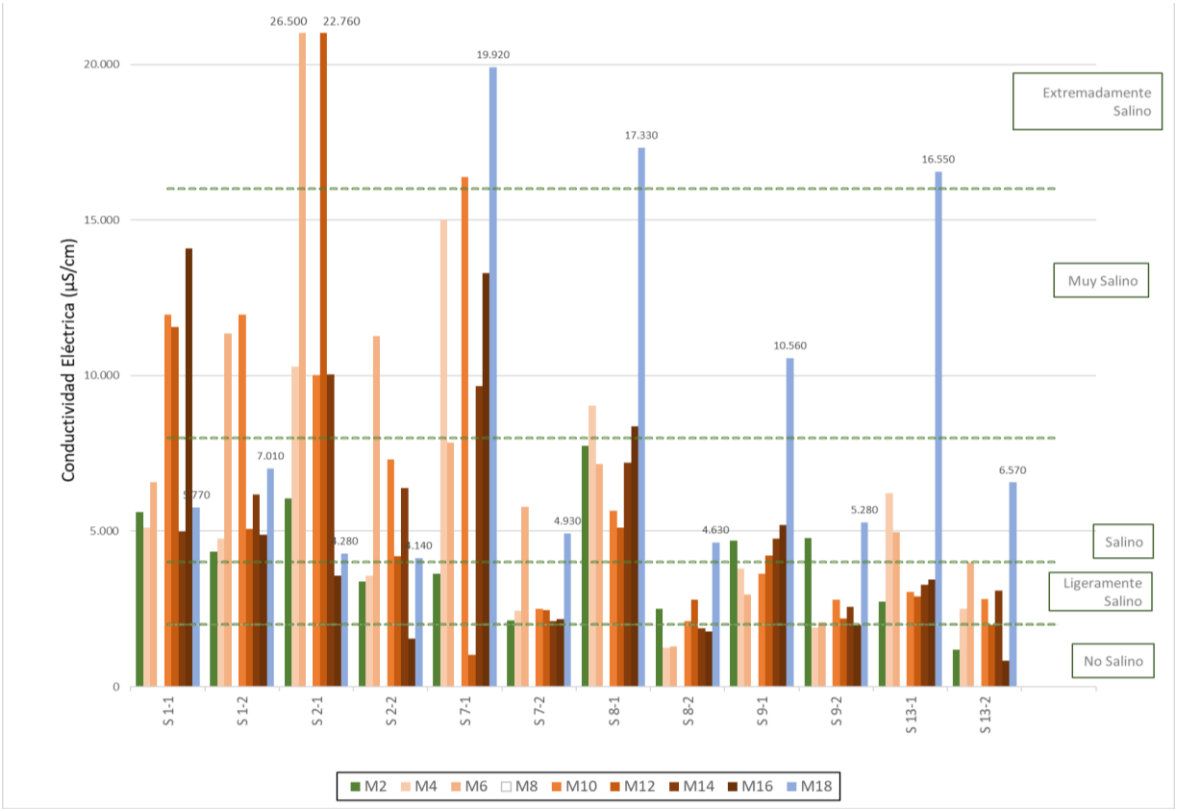
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato**, se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para estas variables, tanto para los presentes monitoreos (M17 y M18) como para los anteriores (M1 a M16).

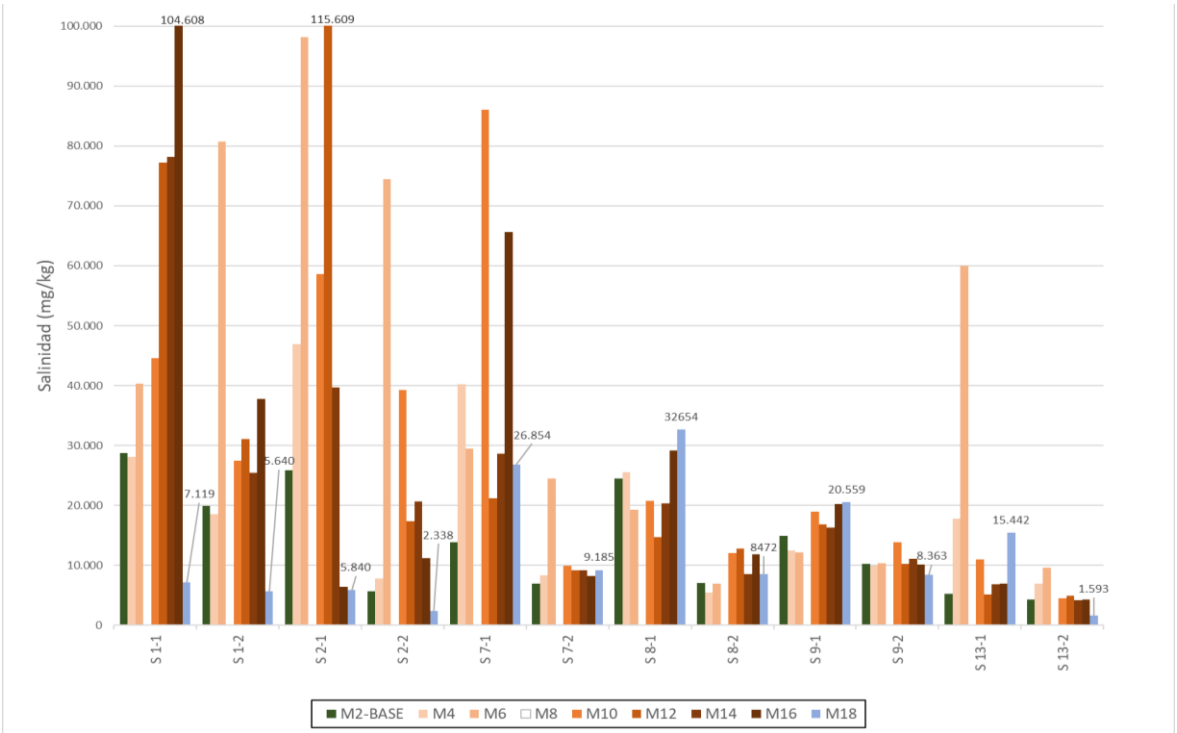
Figura N° 13-73. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Inverno, Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-74. Conductividad Eléctrica y Salinidad Campañas Verano, Sector Tilopozo.





Fuente: Elaboración Propia.

13.4.3.2 Nivel de pH Sector Tilopozo

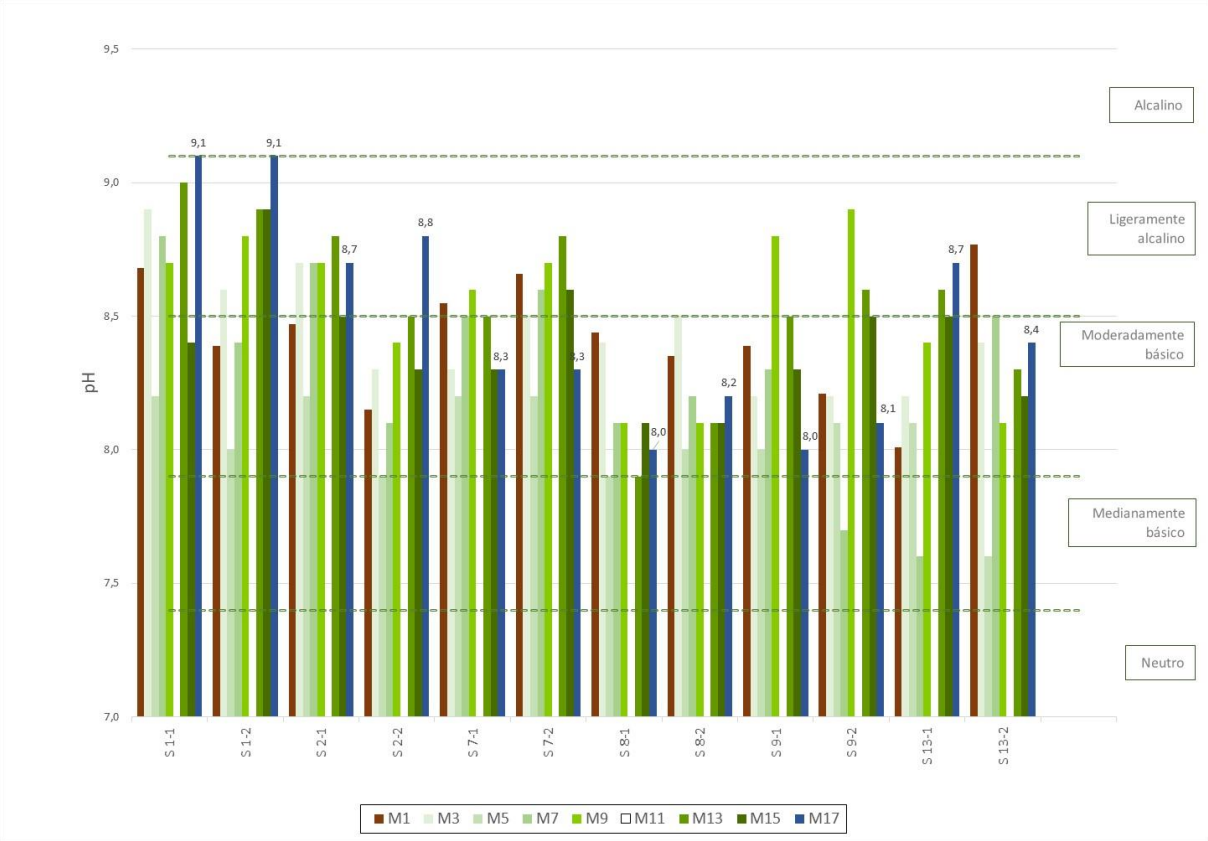
Para el sector de **Tilopozo**, en la **Figura N° 13-75** se presenta la evolución de pH en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-76** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

Los valores se observan muy estables en comparación con la tendencia de los valores de anteriores monitoreos, tanto de invierno como de verano, y presentan una variabilidad muy baja entre diferentes monitoreos. Las magnitudes de pH entre el primer y segundo horizonte reflejan mayoritariamente tendencia a incrementar en profundidad durante el invierno, y a descender en profundidad durante el verano. La dinámica de alcalinización de la superficie durante el verano se observa también en otros sectores, y se asocia a al balance evapotranspirativo, donde la alta radiación y evaporación intensifican el ascenso capilar de sales desde la napa freática, concentrándolas en superficie e incrementando el pH.

Es posible indicar que los suelos descritos tienen pH normales para las posiciones que ocupan, en la cercanía de cuerpos lagunares salinos.

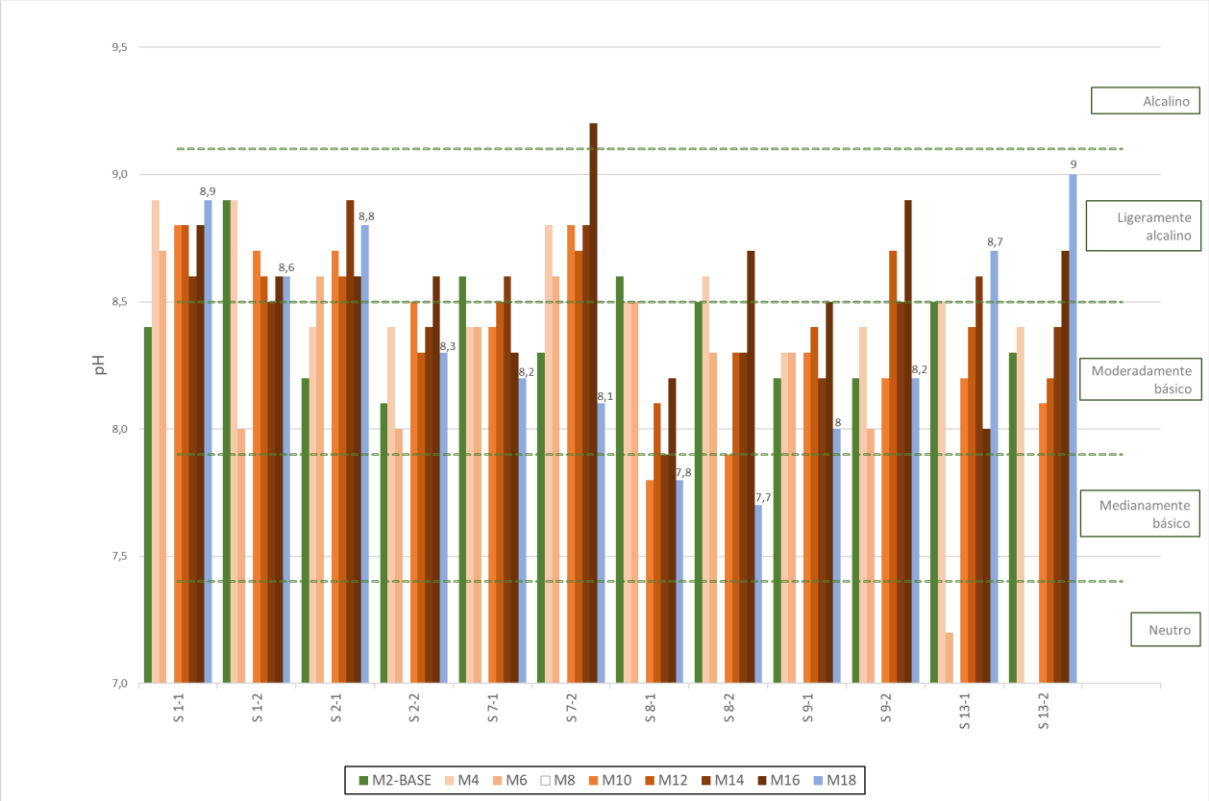
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-75. Resultados pH Campañas Invierno, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-76. Resultados pH Campañas Verano, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.3.3 Materia Orgánica Sector Tilopozo

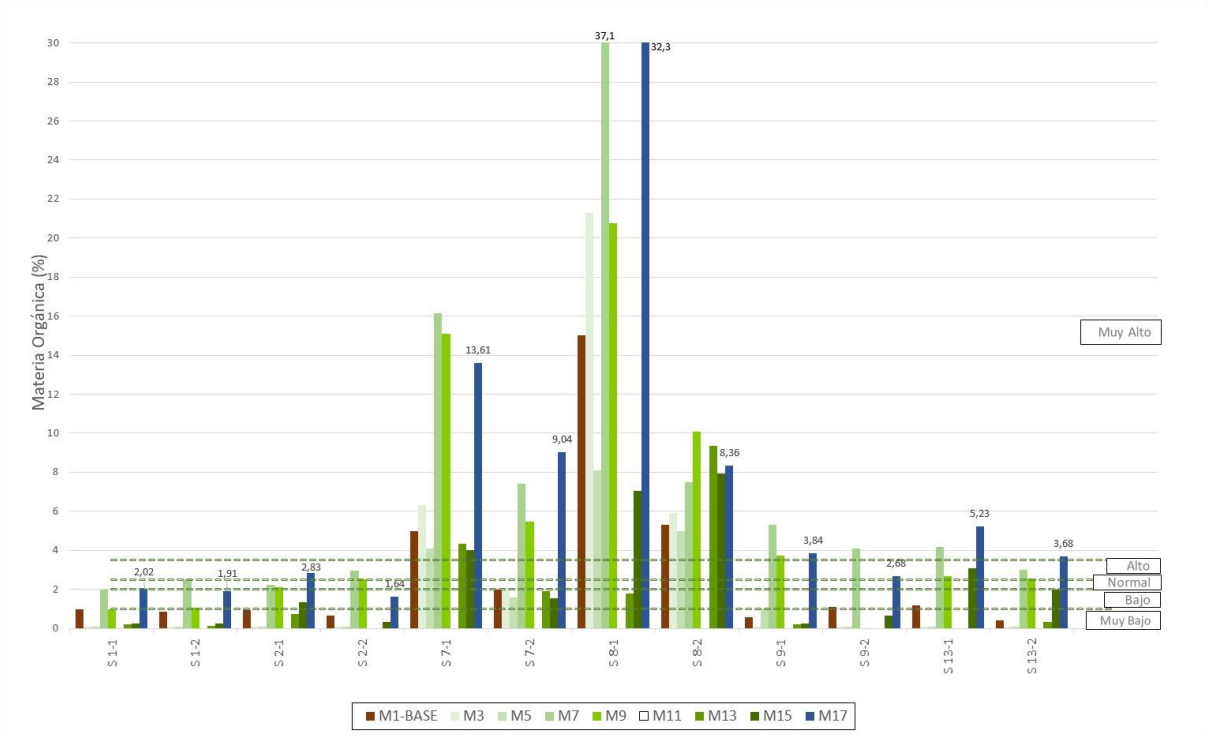
Para el sector de **Tilopozo**, en la **Figura N° 13-77** se presenta la evolución de Materia Orgánica en suelo para los monitoreos de invierno y en la **Figura N° 13-78** se presenta la misma información para los monitoreos de verano.

En el actual monitoreo invernal (M17), en 5 muestras (S 1-1, S 2-1, S 7-2, S 13-1 y 13-2) se presentan valores mayores que los máximos registrados en el periodo de seguimiento (M1 a M15). En general, en la mayor parte de las muestras se presentan valores más alineados con los resultados de los monitoreos M7 y M9.

El monitoreo de verano M18, se confirma estos incrementos con variaciones relevantes en la muestra S 1-2 (sube 194%, desde 0,77 a 2,26% de materia orgánica); S 13-1 (sube 115%, desde 2,24 a 4,81%) y S 13-2 (sube 264%, desde 1,0 a 3,6%), pero estos aumentos, si bien significativos en porcentaje, son en clases similares de contenido de materia orgánica.

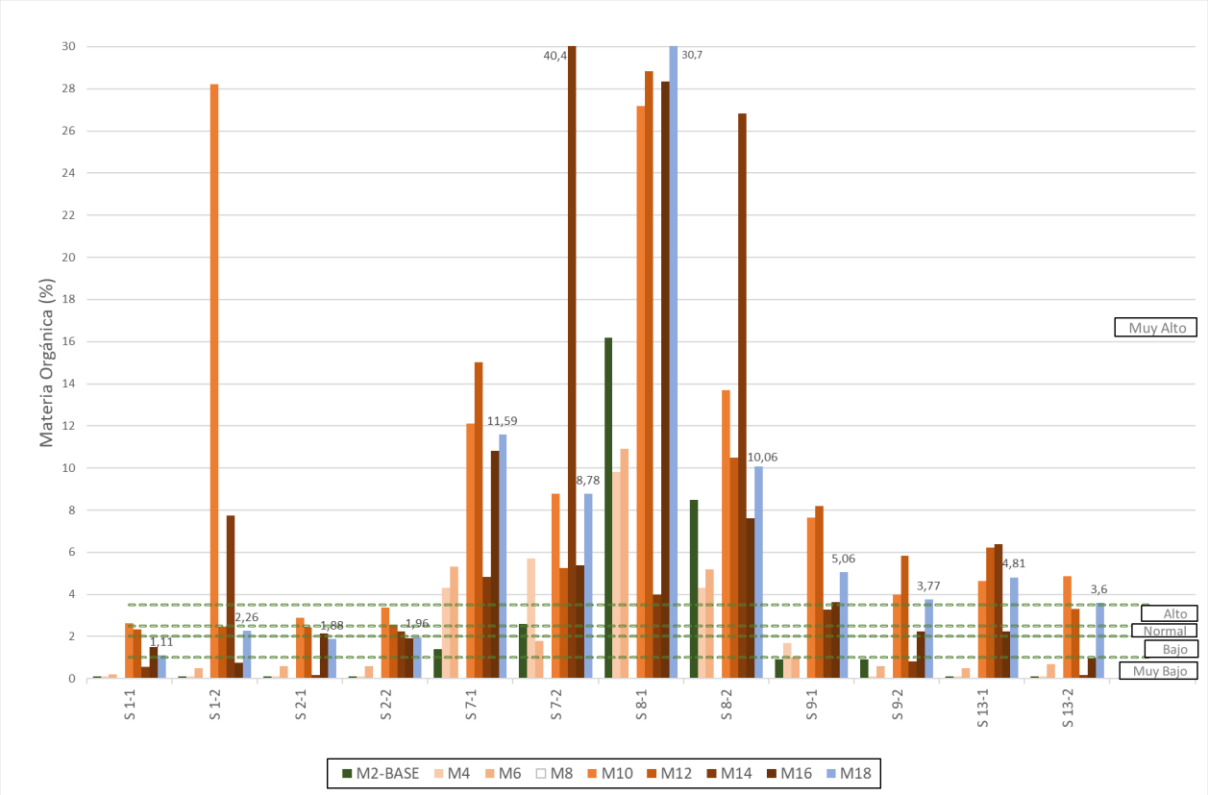
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-77. Resultados Materia Orgánica Campañas Invierno, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-78. Resultados Materia Orgánica Campañas Verano, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.3.4 Nutrientes Sector Tilopozo (Nitrógeno, Fósforo y Potasio disponibles)

Para el sector de **Tilopozo**, en la **Figura N° 13-79** y **Figura N° 13-80** se presenta la evolución de Nitrógeno disponible en suelo para los monitoreos de invierno y de verano respectivamente.

En el monitoreo de invierno M17, todas las muestras indican contenidos de nitrógeno en el rango medio a bajo de variación para todo el periodo de seguimiento de monitoreos de invierno. Si el análisis se practica entre el actual monitoreo y los monitoreos de invierno inmediatamente anteriores (M13 y M15) es posible constatar una baja en los valores, con porcentajes que oscilan entre un 44% a un 82% de disminución de los valores en M17. Es posible apreciar que los valores del actual monitoreo se encuentran más cercanos a la tendencia de comportamiento de monitoreos de invierno como M7 y M9, que a la de M13 y M15.

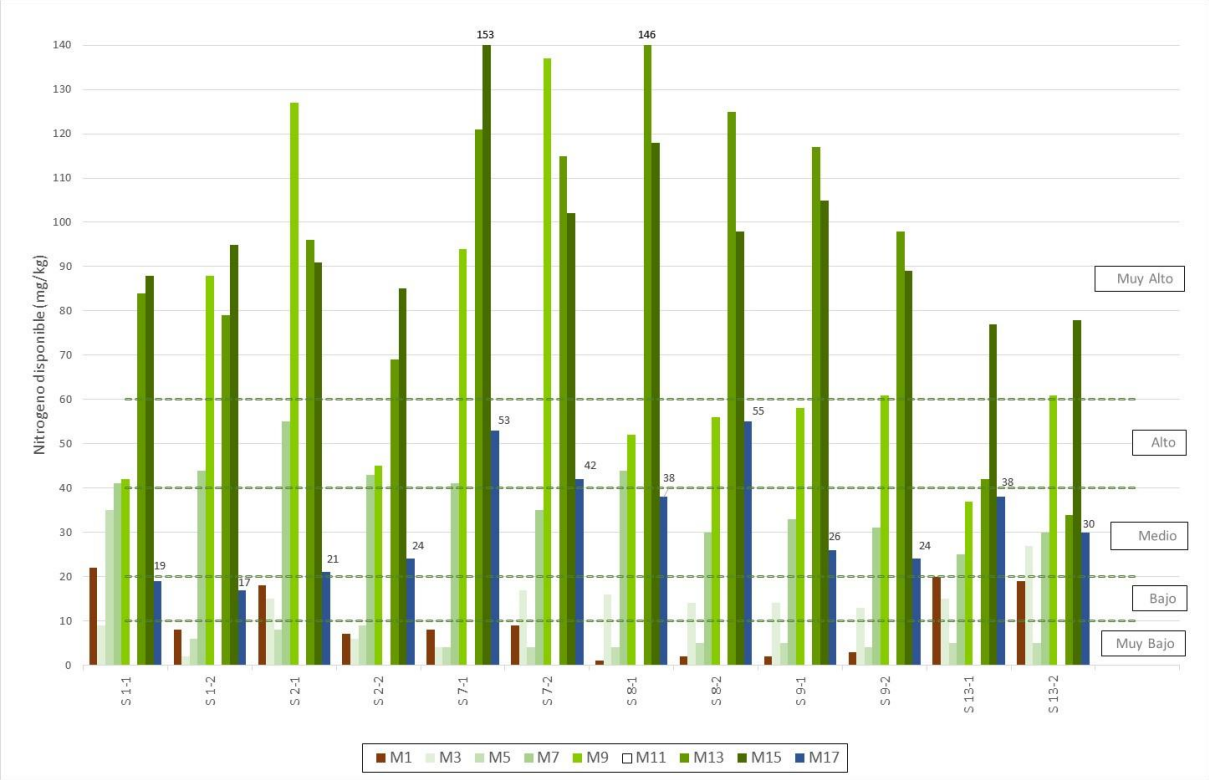
En la serie de datos temporales de nitrógeno durante el verano, en general, en la campaña M18 se registran valores dentro de la variación histórica de cada horizonte, excepto para las muestras S 2-1 y S 2-2, que indican valores ligeramente por debajo de los mínimos históricos,

con un descenso de 11% a 6% respectivamente. Se aprecian valores en anteriores monitoreos más alejados de la tendencia principal de datos, diferencias que deben evaluarse en una serie de tiempo más larga, para identificar el rango de variación natural de los suelos del área de estudio.

Se requiere continuar el seguimiento en el tiempo para terminar de definir la dispersión de datos. Las altas variaciones del nitrógeno disponible se explican sólo parcialmente desde la diversidad natural del material parental de los suelos caracterizados. Otras causas potenciales de variación en el nivel de nitrógeno disponible son la ocurrencia de lluvias (aporte de nitrógeno atmosférico al suelo), fijación no simbiótica de nitrógeno (actividad de bacterias y algas), fijación simbiótica de nitrógeno, y la mineralización de restos de vegetales y animales (dependiente de la humedad, temperatura, pH y presencia de micorrizas en el suelo).

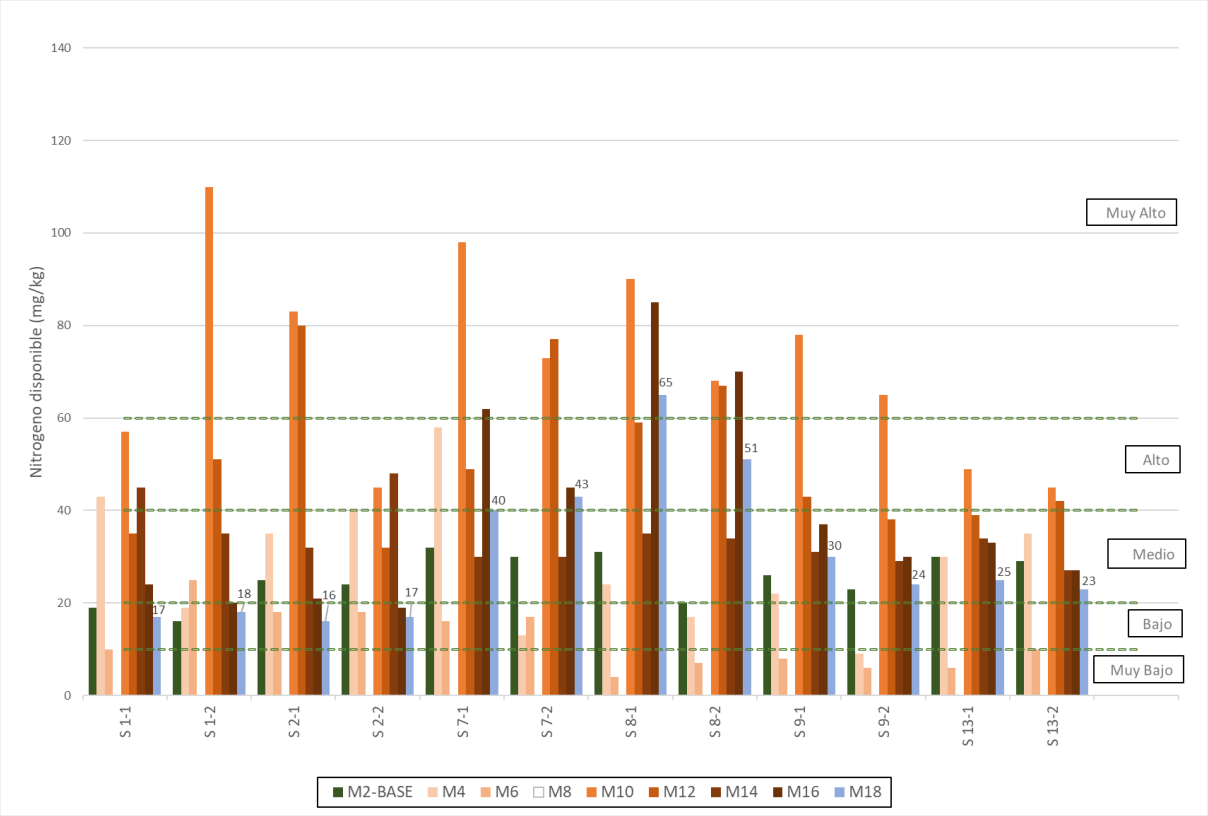
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-79. Resultados Nitrógeno disp. Campañas Invierno, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-80. Resultados Nitrógeno disp. Campañas Verano, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura N° 13-81** y **Figura N° 13-82**, se muestra la concentración de fósforo disponible en el sector de Tilopozo, para todos los monitoreos de invierno y de verano respectivamente.

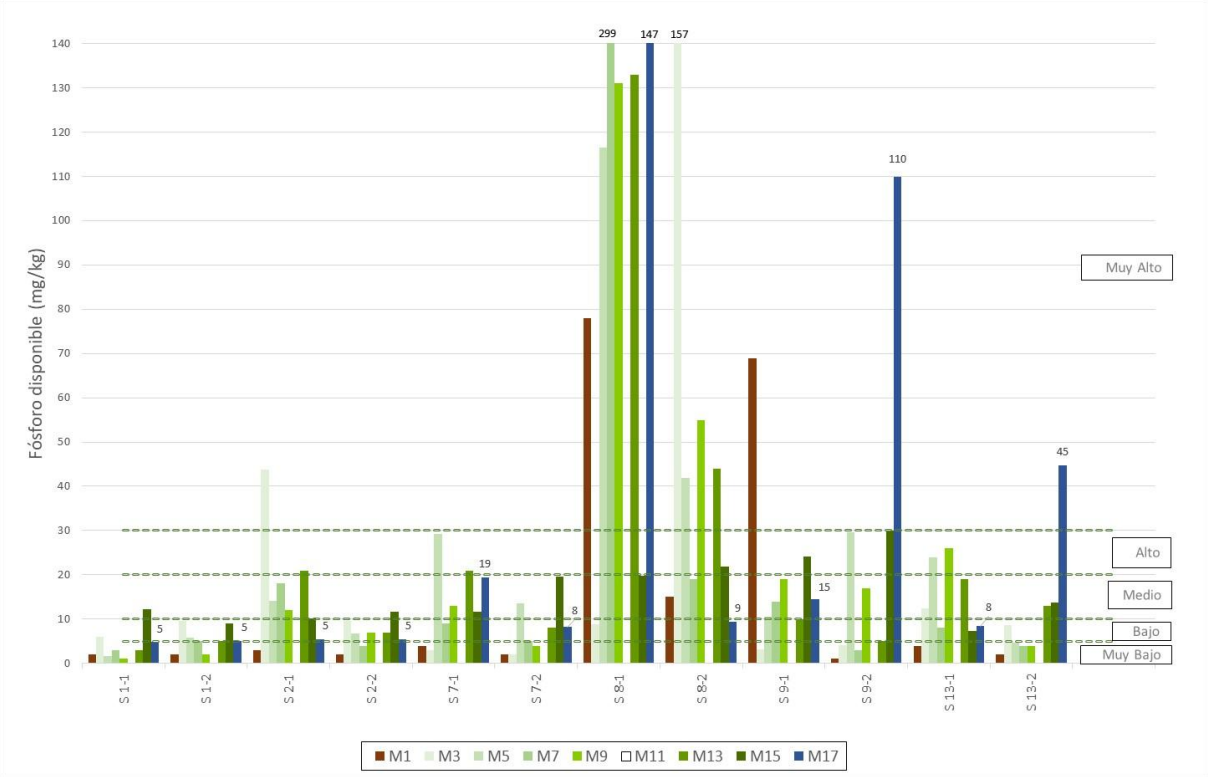
En dos de las doce muestras de fósforo para el monitoreo de invierno M17, el valor es más alto que los registros máximos en el período de seguimiento, como la muestra S 9-2 (268% sobre el anterior valor máximo) y S 13-2 (225% por sobre valores máximos anteriores). Estos incrementos muy por sobre los valores máximos históricos, pueden considerarse una variación extrema respecto de la serie de datos durante el periodo de seguimiento. Se debe esperar al siguiente monitoreo para poder evaluar como continúan los registros.

Seis de las doce muestras presentan aumentos de niveles de fósforo al comparar con la tendencia de los valores máximos históricos de los monitoreos de verano M18, con aumentos moderados entre 11% (S 7-2) y 61% (S 13-1). Al comparar el fósforo disponible en M18 respecto monitoreos anteriores como M16 y M14, se aprecian valores en niveles asimilables a M16 y mayores que los presentados en M14. Se aprecian valores más alejados de la tendencia principal de los datos, con diferencias entre monitoreos que deben evaluarse en una serie de tiempo más larga, para identificar el rango de variación natural de los suelos del área de estudio.

Las variaciones detectadas se explican sólo parcialmente desde la diversidad del material parental de los suelos caracterizados. Además, los niveles de fósforo disponible varían con los niveles de pH (mayor alcalinidad, mayor disponibilidad de fósforo), materia orgánica del suelo (mayor proporción de materia orgánica se asocia a mayor disponibilidad de fósforo) y niveles de humedad del suelo (mayor humedad se asocia a mayor disponibilidad de fósforo). Posteriores monitoreos contribuirían a confirmar o descartar un aumento tendencial en la concentración de fósforo disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones, como el re-transporte de material parental con contenidos diferenciales de fósforo desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

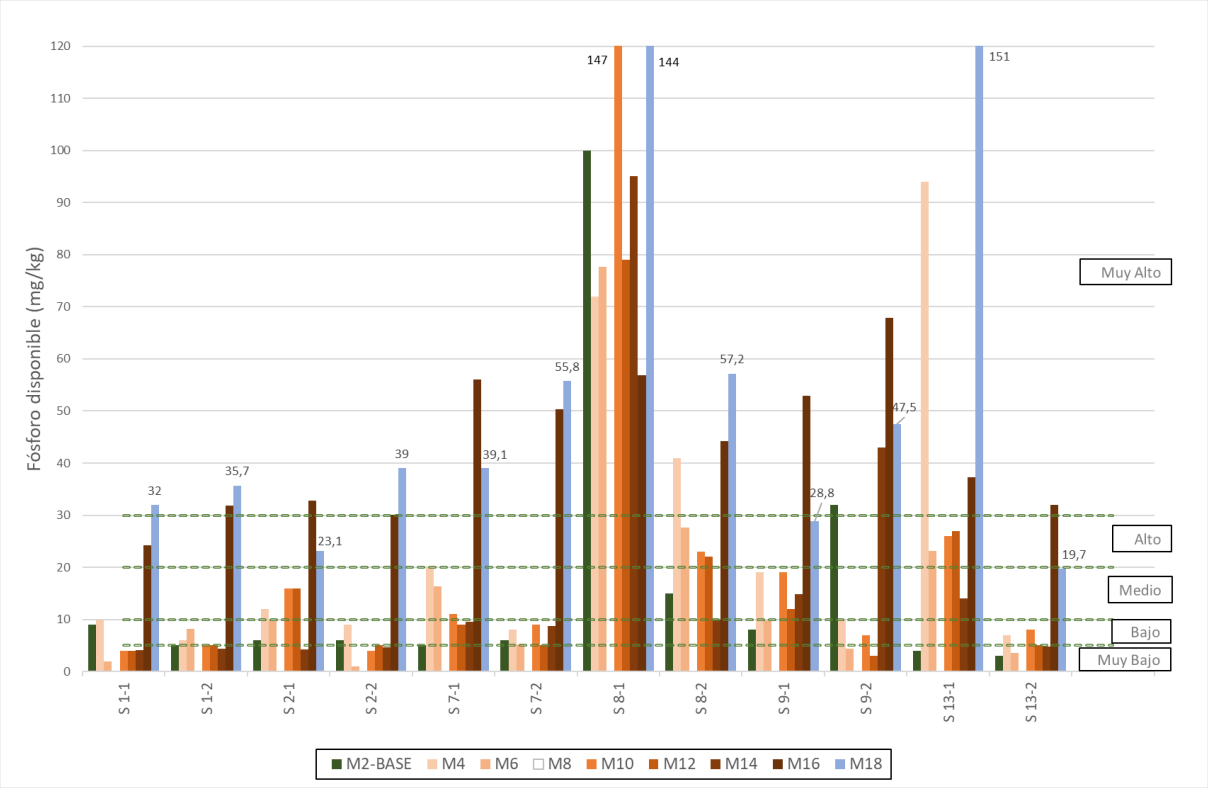
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-81. Resultados Fósforo disponible Campañas Invierno, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-82. Resultados Fósforo disponible Campañas Verano, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

La **Figura N° 13-83** grafica la concentración de potasio disponible en el sector de **Tilopozo**, para todos los monitoreos de invierno, en tanto, en la **Figura N° 13-84** se muestra para todos los monitoreos de verano.

Todas las muestras en M17 se presentan dentro del rango de variación para los monitoreos de invierno, con valores de M17 que se ubican en el rango alto del periodo total de seguimiento. En nueve de las doce muestras, el valor de M17 corresponde al segundo valor más alto en la serie histórica de monitoreos de invierno, por detrás de M15, y en los tres puntos restantes, se mantiene en el rango alto de la serie histórica. El valor de potasio disponible en M15 presenta valores muy por sobre los niveles del resto de monitoreos, lo que debe contrastarse con una mayor cantidad de registros.

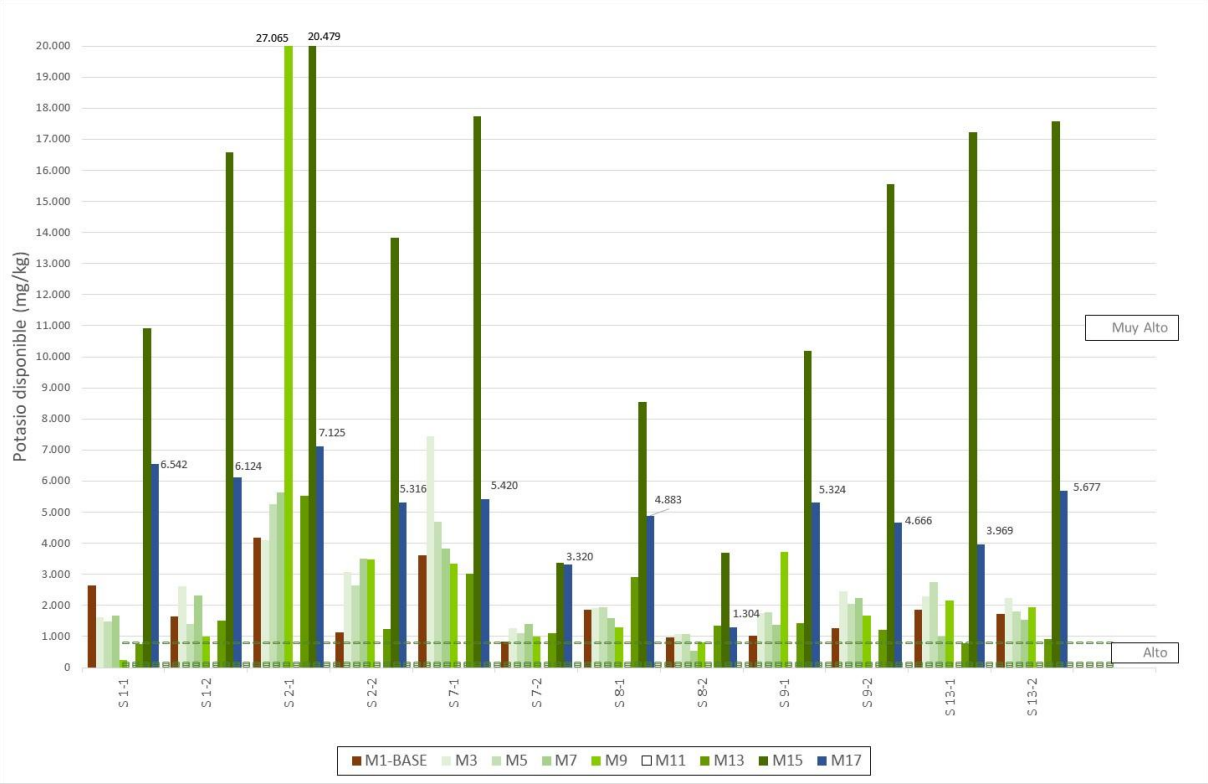
Se observa que todas las muestras en M18 se presentan dentro del rango de variación de los monitoreos de verano. Se puede apreciar que en once de las doce muestras presentan valores menores que M14 y M16, que en general se presenta como valores muy por sobre el resto de los valores registrados, con algunos valores muy diferentes al grueso de datos. La diferencia entre monitoreos debe evaluarse en una serie de tiempo más larga, para identificar el rango de variación natural de los suelos del área de estudio.

Las variaciones detectadas se explican sólo parcialmente desde la diversidad del material parental de los suelos caracterizados. Además, los niveles de fósforo disponible varían con los

niveles de pH (mayor alcalinidad, mayor disponibilidad de fósforo), materia orgánica del suelo (mayor proporción de materia orgánica se asocia a mayor disponibilidad de fósforo) y niveles de humedad del suelo (mayor humedad se asocia a mayor disponibilidad de fósforo). Posteriores monitoreos contribuirían a confirmar o descartar un aumento tendencial en la concentración de fósforo disponible, lo que permitiría proponer causas adicionales a estas variaciones, como el re-transporte de material parental con contenidos diferenciales de fósforo desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

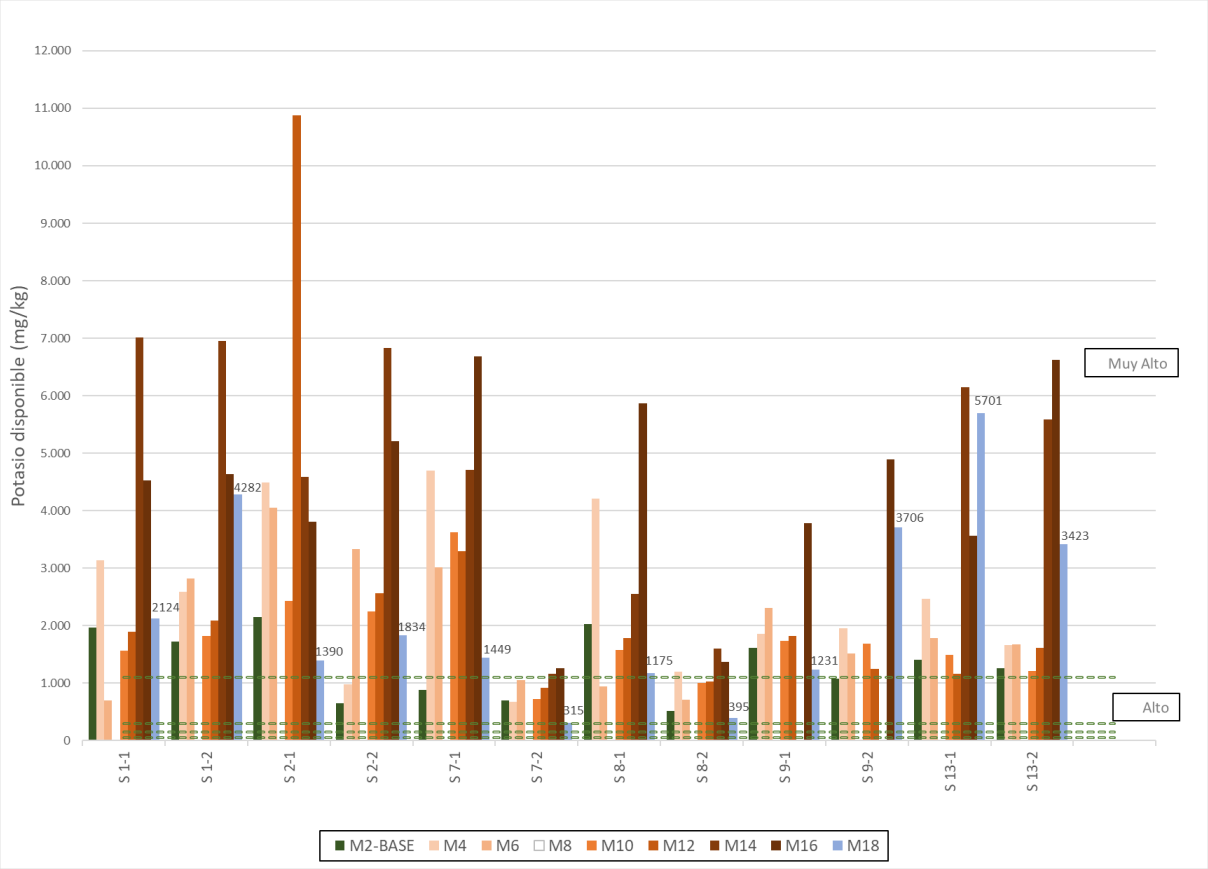
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-83. Resultados Potasio disponible Campañas Invierno, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-84. Resultados Potasio disponible Campañas Verano, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

13.4.3.5 Conductividad Hidráulica y Textura Sector Tilopozo

Las series de datos temporales de conductividad hidráulica para el sector de **Tilopozo** se indican en la **Figura N° 13-85** y **Figura N° 13-86** para los monitoreos de invierno y verano respectivamente.

Nueve de las doce muestras en M17 presentan valores de conductividad hidráulica dentro del rango de variación del periodo de seguimiento de monitoreos de invierno, principalmente en la parte baja de dicho rango, con tres muestras por sobre los máximos del periodo de seguimiento (S 1-1, S 8-1 y S 9-1).

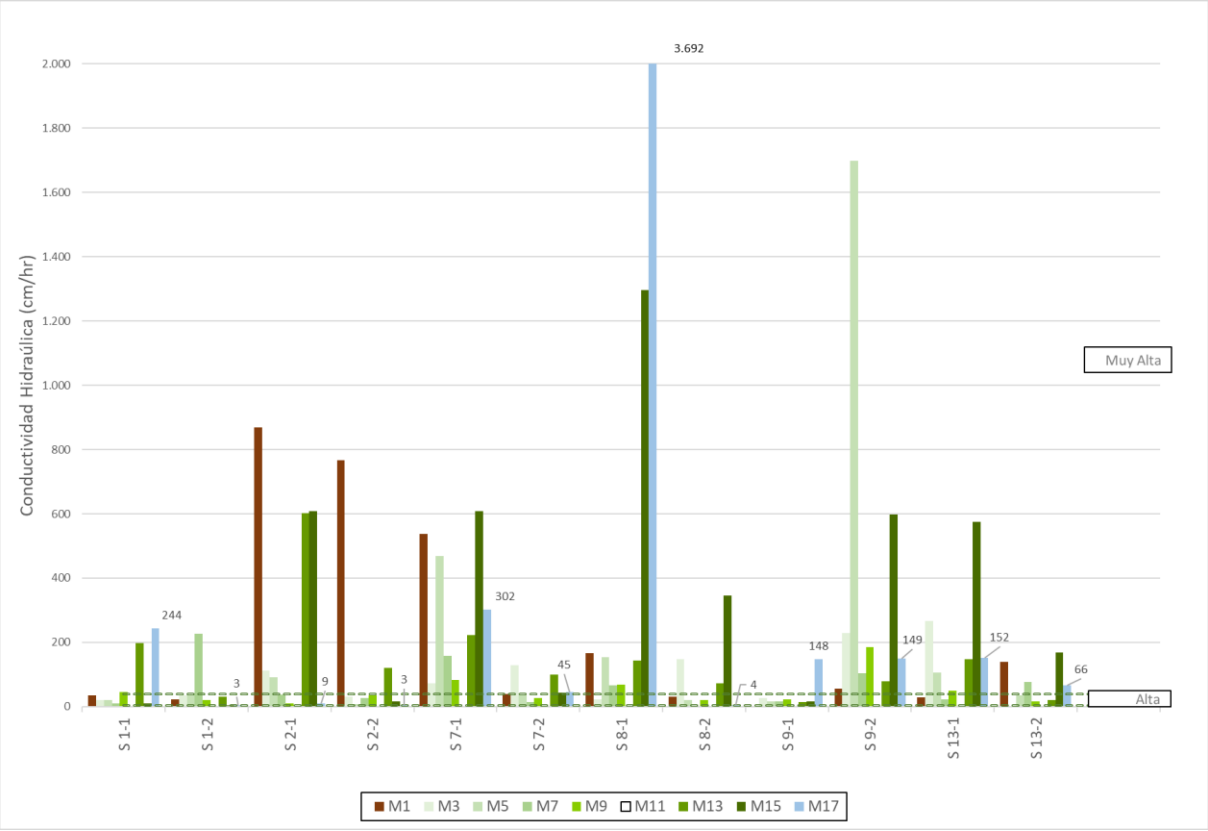
Por otra parte, seis de las doce muestras en M18 presentan valores de conductividad hidráulica dentro del rango de variación del periodo de seguimiento de monitoreos de verano, principalmente en la parte baja de dicho rango, con cuatro muestras por sobre los máximos

del periodo de seguimiento (S 7-1, S 7-2, S 8-1, S 9-2 y S 13-1). Es necesario seguir evaluando la serie histórica de datos para poder identificar tendencias y robustecer el análisis de dichos datos, dado que en general, para el sector Tilopozo, este parámetro reporta gran variabilidad en el tiempo.

Conductividades hidráulicas muy altas deberían estar asociadas a texturas gruesas a muy gruesas, lo que no es evidenciable claramente en M17, por lo que no es posible asociar las diferencias en la conductividad hidráulica a la textura. Dado que la conductividad hidráulica depende de las características de suelo, en conjunto con condiciones de compactación, es que se espera una variación natural entre las muestras. En los monitoreos desarrollados no se consignan intervenciones antrópicas sobre la compactación que incidan en estos resultados.

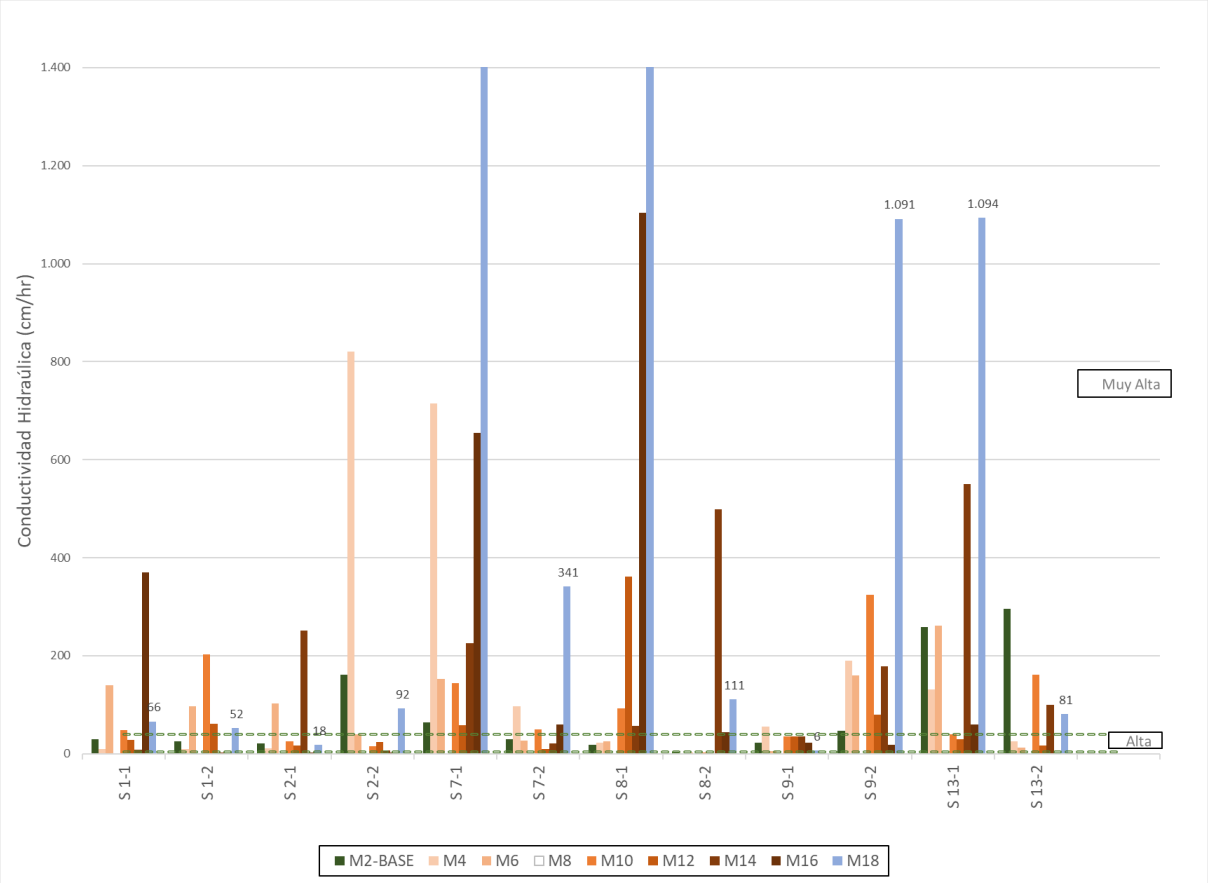
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-85. Conductividad Hidráulica Campañas Invierno, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-86. Conductividad Hidráulica Campañas Verano, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura N° 13-87** y **Figura N° 13-88** se muestran los datos de clases texturales registrados en los monitoreos de invierno y verano respectivamente.

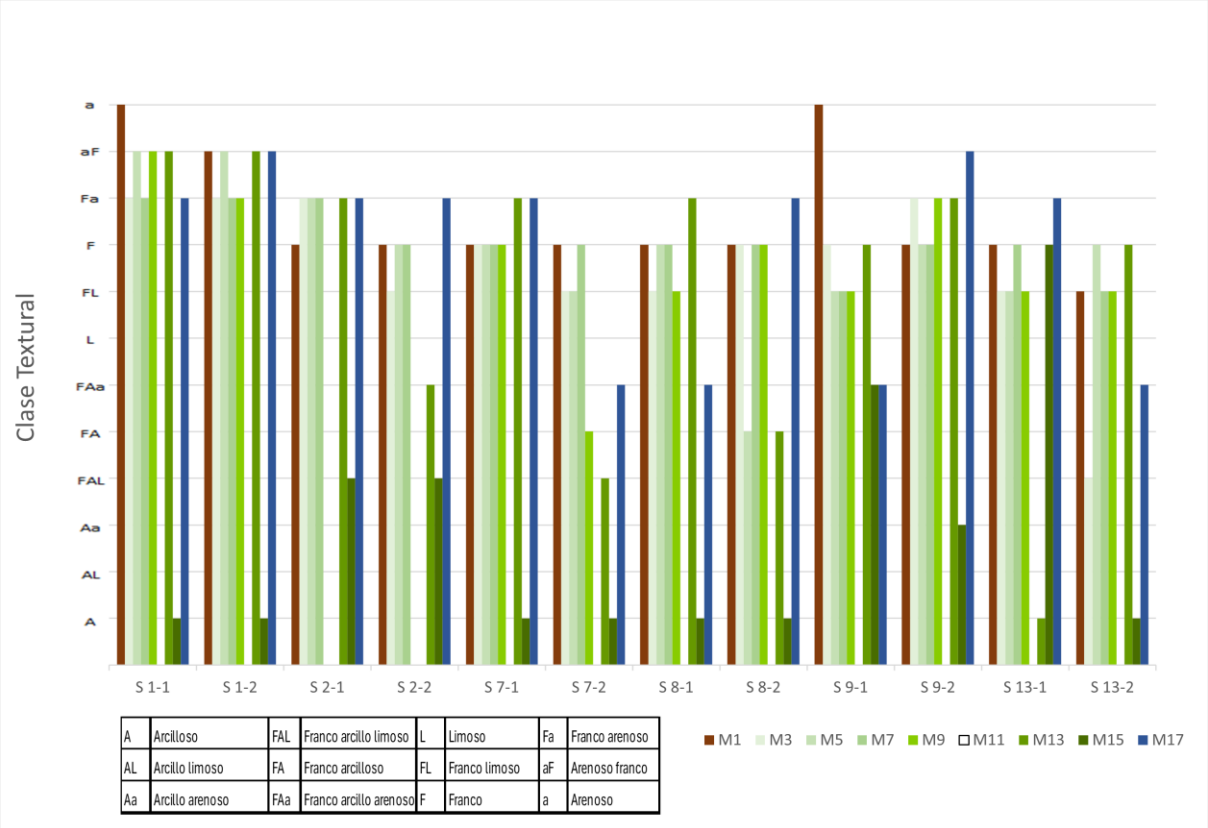
En el monitoreo M17 de invierno se comprueba la determinación de 6 muestras en categoría de textura moderadamente gruesa, 2 muestras en categoría de textura gruesa y 4 muestras en categoría de textura moderadamente fina. Lo anterior, contrasta con los resultados obtenidos en el periodo de monitoreo M15, en donde las categorías presentes son en su mayoría moderadamente finas a muy finas. Se aprecia en general un cambio hacia texturas más gruesas desde M13 y M15, pero en rango cercanos a los valores modales de la serie histórica de datos.

En el monitoreo actual de verano (M18), se presentan once de las doce muestras en el rango gruesa (arenosa a areno francosa), junto con la muestra S 1-1, que se presenta como media (franca). La diversidad de texturas registradas tiene su origen en la dispersión geográfica entre puntos, que genera materiales de origen diferenciales. Se observa una razonable coincidencia en los puntos cercanos a las vegas de Tilopozo.

Al comparar con anteriores monitoreos de verano, en el presente M18, se aprecia en general un cambio hacia texturas más gruesas, dentro de rangos cercanos de textura. Las variaciones de clase textural registradas entre un monitoreo y otro se explican sólo parcialmente desde la heterogeneidad natural del material parental de los perfiles de suelo muestreados. Es necesario complementar con más información a la serie temporal para proponer causas complementarias que expliquen estas variaciones, como por ejemplo el re-transporte de material parental con clases texturales diferenciales desde cotas superiores afectadas por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores

En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

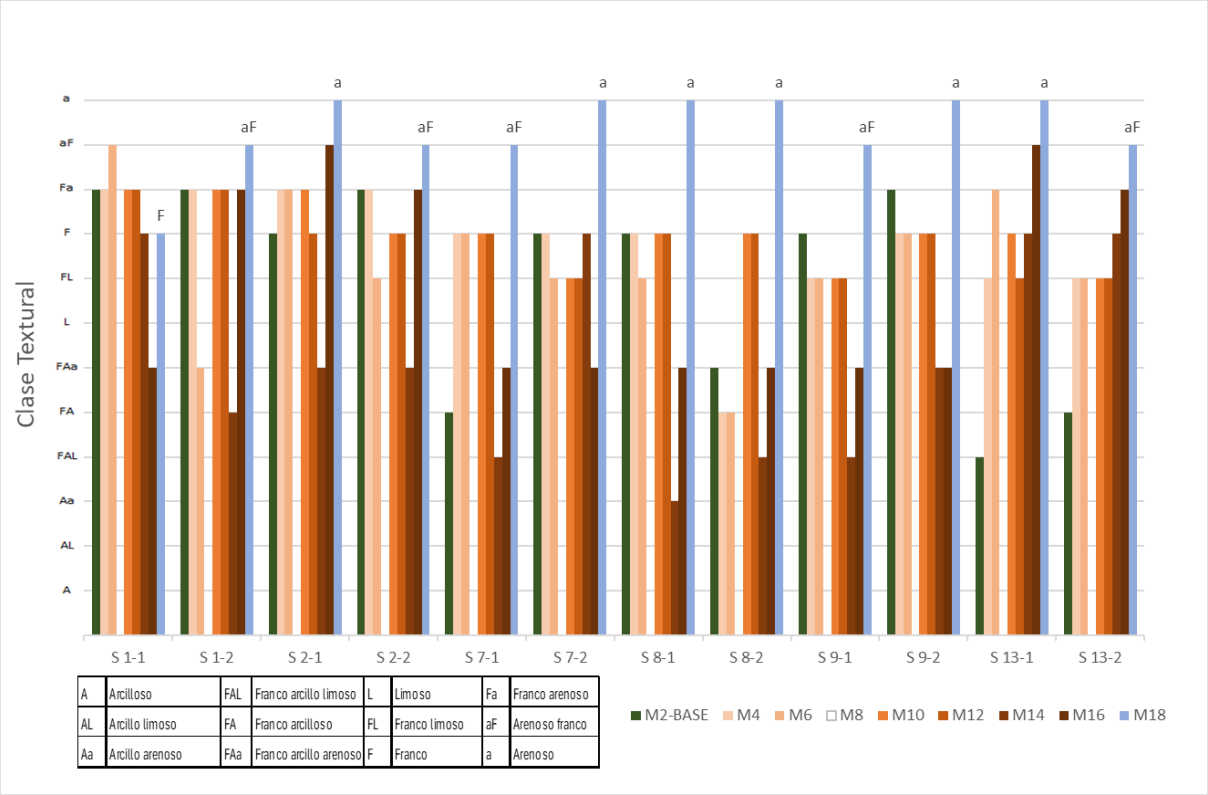
Figura N° 13-87. Textura Campañas Invierno, Sector Tilopozo.



A	Arcilloso	FAL	Franco arcillo limoso	L	Limoso	Fa	Franco arenoso
AL	Arcillo limoso	FA	Franco arcilloso	FL	Franco limoso	aF	Arenoso franco
Aa	Arcillo arenoso	FAa	Franco arcillo arenoso	F	Franco	a	Arenoso

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-88. Textura Campañas Verano, Sector Tilopozo.



A	Arcilloso	FAL	Franco arcillo limoso	L	Limoso	Fa	Franco arenoso
AL	Arcillo limoso	FA	Franco arcilloso	FL	Franco limoso	aF	Arenoso franco
Aa	Arcillo arenoso	FAa	Franco arcillo arenoso	F	Franco	a	Arenoso

Fuente: Elaboración Propia.

13.4.3.6 Humedad y Nivel Freático Sector Tilopozo

La serie de datos temporales de humedad se resume en la **Figura N° 13-89** y **Figura N° 13-90** para monitoreos de invierno y verano respectivamente.

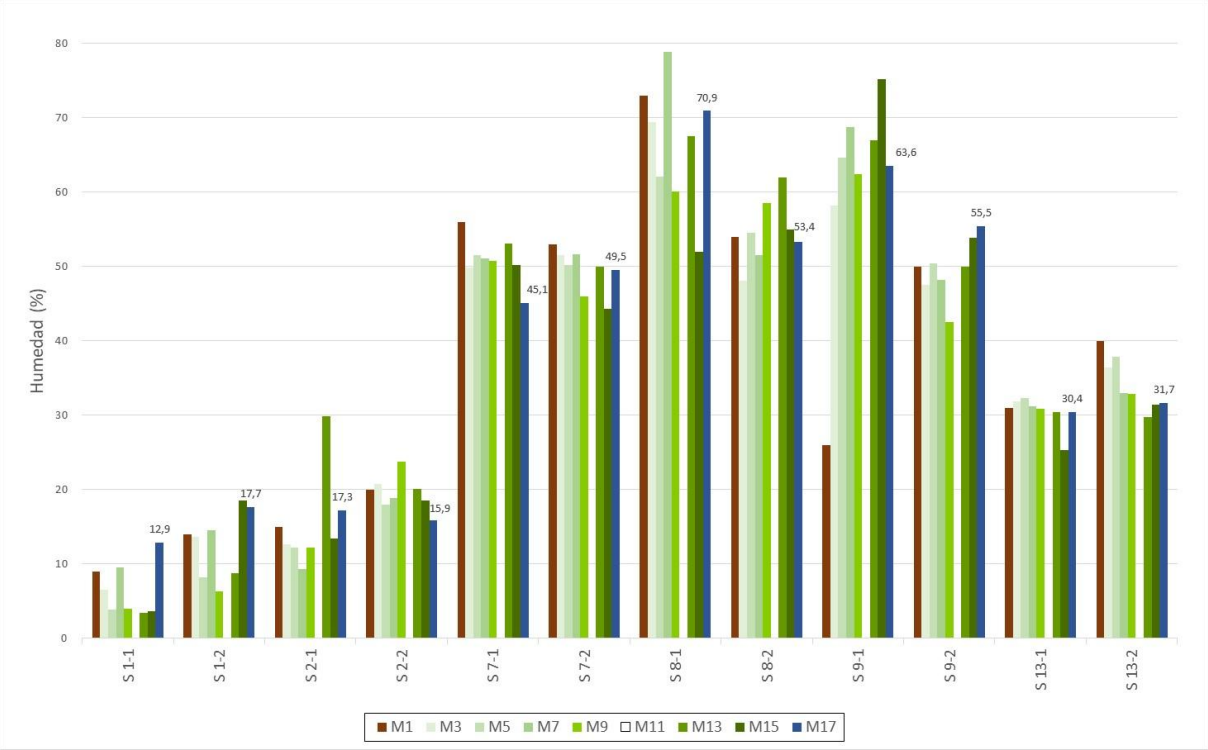
Es posible indicar que en general, los resultados del monitoreo de invierno M17 son bastante consistentes con el rango de variaciones históricas para este parámetro, incluso al interior de cada muestra. Dos de las doce muestras presentan valores por sobre los máximos históricos en el periodo de seguimiento, con aumentos de 35% para S 1-1 y 3% para S 9.2. El menor valor para este monitoreo se presenta en S 1-1, con 12,9%, mientras que el mayor registro se evidencia en S 8-1, con 70,9%.

Los puntos S 7, S 8, y S 9 presentan los mayores niveles de humedad dentro del sector de Tilopozo, tanto en monitoreos de invierno como de verano, lo que coincide con la descripción de nivel freático y ubicación geográfica en sector de vegas. En los puntos S 1 y S 2, se presentan los menores niveles de humedad en el mismo sector, lo que se asocia a su ubicación geográfica y ausencia de nivel freático.

Por otro lado, la mayoría de las muestras en M18 presentan valores dentro del rango de variación histórica de datos de los muestreos de verano, con la muestra S 1-2 que presenta un aumento muy relevante dentro de la variación histórica de los monitoreos de verano, con un valor 188% mayor que el anterior valor máximo. En este punto no se registró nivel freático durante la toma de muestras. Las diferencias en este registro deben evaluarse en una serie de tiempo más larga, para identificar si corresponden a variaciones puntuales o a cambios tendenciales.

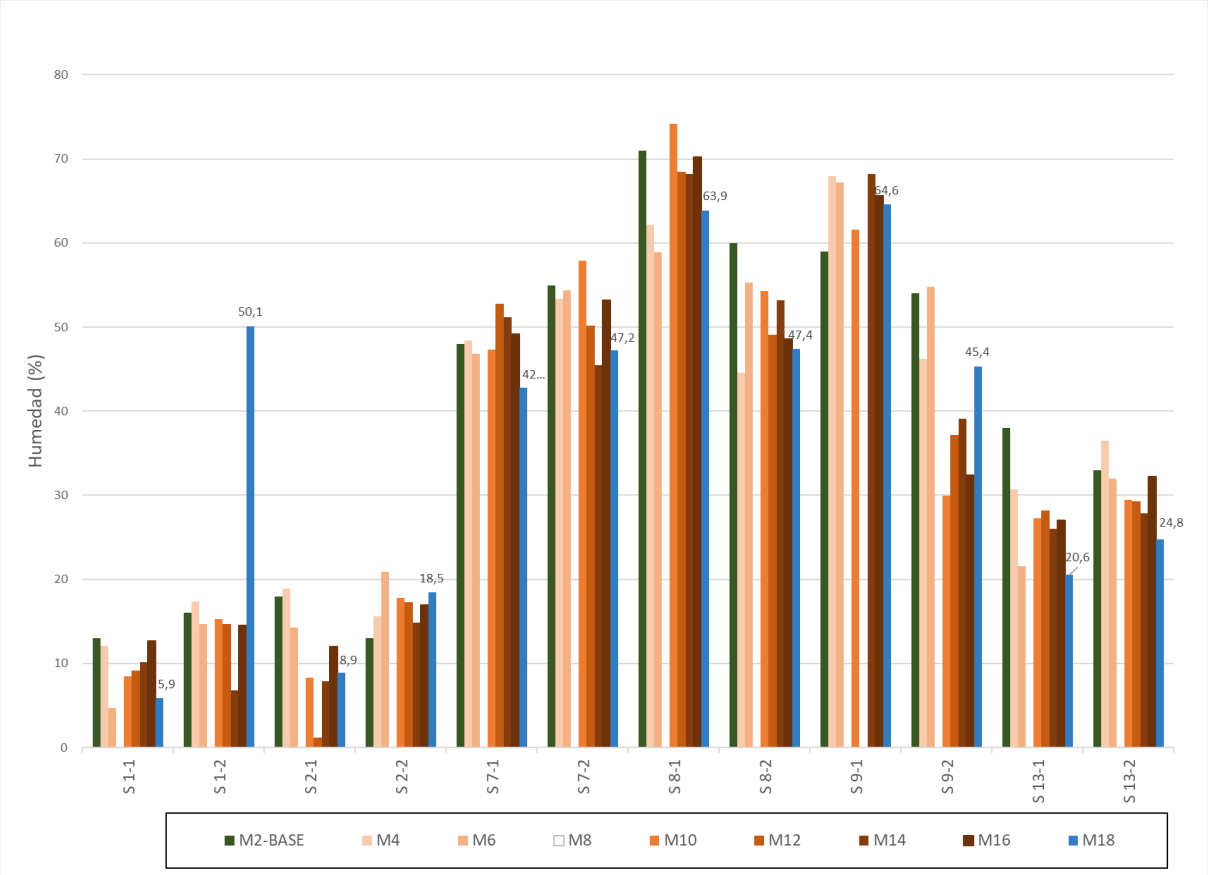
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-89. Humedad Campañas Invierno, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 13-90. Humedad Campañas Verano, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia.

Al momento de la toma de muestras de suelo en el sector de **Tilopozo**, se registró el **Nivel Freático,** tanto para el monitoreo de verano e invierno. El registro histórico se muestra en la **Figura N° 13-91** y **Figura N° 13-92** respectivamente.

Al comparar con todos los monitoreos de invierno, la tendencia muestra que S 7 presenta sostenidamente los niveles freáticos más profundos, pero S 8, S 9 y S 13 fluctúan de modo similar, mostrando alternativamente los niveles intermedios y más altos. La ausencia de registro debe interpretarse como nivel freático más profundo que la excavación realizada en terreno. No obstante, al analizar el comportamiento de todos los puntos de muestreo, es posible establecer que los resultados se presentan dentro de la variación histórica para este parámetro, con excepción de S 7, que se presenta más profundo que anteriores muestreos.

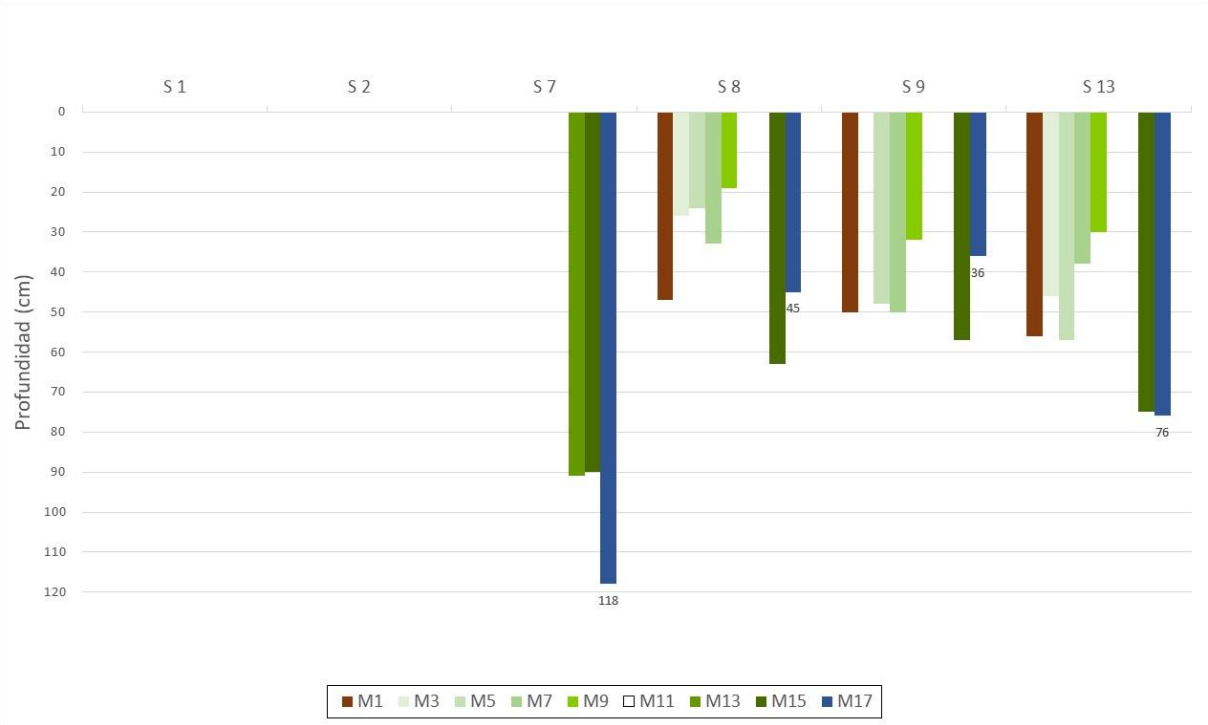
Por otro lado, durante la temporada estival los puntos S 7, S 8 y S 9 presentan un nivel freático similar a la tendencia de los valores usuales de los monitoreos de verano. El punto S 13 presenta nivel freático solamente en este monitoreo y en el monitoreo de verano M2, en tanto que, los puntos S 1 y S 2 no presentan nivel freático ni ahora, ni en anteriores monitoreos.

Los niveles freáticos registrados son los esperables para puntos de muestreo ubicados en el entorno inmediato a humedales salinos. Los registros corresponden a lo descrito al momento de la toma de muestra para cada monitoreo.

Cabe mencionar que la metodología utilizada para determinar niveles freáticos en el marco del monitoreo de suelos no forma parte del seguimiento comprometido ante la SMA. Los resultados de nivel freático en el marco del seguimiento del componente suelo, deben entenderse como información de carácter complementario, útil para la caracterización de los suelos.

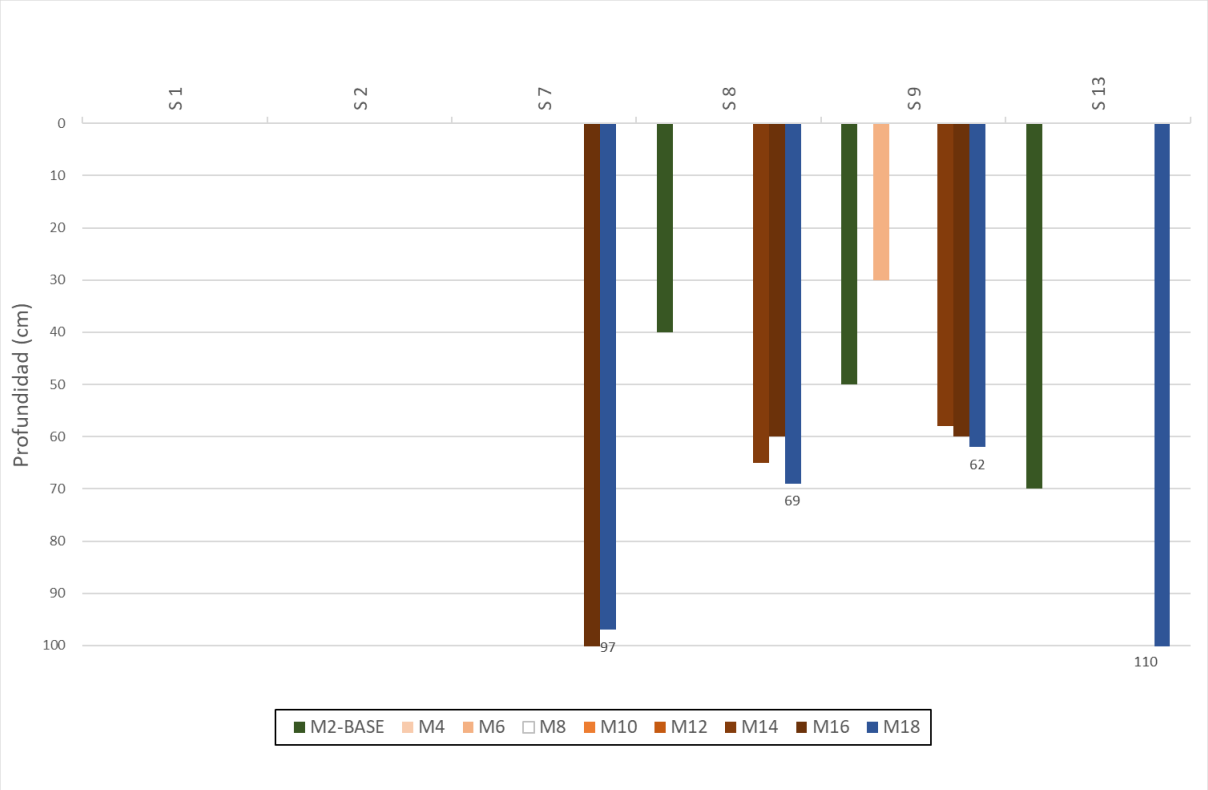
En el **Anexo 2 Suelos o Sustrato,** se presentan tablas con el detalle de resultados y rangos de medición para esta variable.

Figura N° 13-91. Nivel Freático Campañas Invierno, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia. Monitoreos sin datos corresponden a ausencia de nivel freático.

Figura N° 13-92. Nivel Freático Campañas Verano, Sector Tilopozo.



Fuente: Elaboración Propia. Monitoreos sin datos corresponden a ausencia de nivel freático.

13.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)

13.5.1 Comparación monitoreos Invierno 2024 y Verano 2025 (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)

Los resultados señalan que tanto para el monitoreo de invierno 2024 como para el monitoreo de verano 2025, los parámetros físicos y químicos analizados en los sectores de estudio estuvieron en general dentro de los rangos determinados para estos sistemas según el marco de referencia de LB contemplado en el 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, los que se puntualizan en los párrafos siguientes. Cabe mencionar que la calidad natural del agua superficial de la cuenca del Salar de Atacama, está fuertemente influenciada por su litología que es rica en sales y metales, la edafología interviene de manera considerable en las características de salinidad de las aguas y que en la cuenca se encuentran yacimientos de bórax, litio, sodio y potasio, lo que muestra que es muy rica en sales que intervienen en el aumento de la conductividad específica, cloruros y sulfatos (CADE-IDEPE Consultores, 2004).

Cabe destacar que en el Sector Peine, correspondiente a la laguna Salada (S-9), laguna Saladita (SA-25) y laguna Interna (I-11 e I-17), en la campaña de invierno 2024 no fue posible acceder a realizar las labores de monitoreo específicamente en las estaciones S-9 y S-5 (laguna Salada), mientras que en verano 2025 no fue posible monitorear ninguna estación del sector, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos. Ver información de respaldo en **Anexo Cartas y Prohibiciones.**

La **calidad de agua** en el sector La Punta y La Brava cómo es característico, en ambas campañas presentó en sus aguas una alta salinidad y conductividad (asociadas a las altas concentraciones de cloruro y sulfato), junto con un pH moderadamente alcalino. En el caso de laguna La Brava, las estaciones LB-1 y LB-2 fueron las que presentan mayores conductividades comparadas con el resto de las estaciones del sector, con máximos de 66.740 µS/cm en invierno 2024 y de 139.200 µS/cm en verano 2025. En la estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de la laguna La Brava, se registran los menores valores de conductividad, salinidad, cloruros y sulfatos, en comparación con las otras estaciones del sector, en ambos monitoreos (cercano a 29.500 µS/cm en conductividad), siendo menores también estos valores a los registrados en la Línea de Base de verano. En el caso de LP-23 y LP-24 de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades altas también (31.000 a 35.000 µS/cm en invierno y 56.000 a 66.000 µS/cm en verano), ubicadas dentro del rango de la LB, pero siendo menores a las registradas en las estaciones LB-1 y LB-2 de La Brava.

Las temperaturas en laguna La Brava en general fueron altas, acorde con la baja profundidad del cuerpo de agua, registrándose los mayores valores en LB-2 y LB-3 con valores de 21,7 a 23,2°C en invierno 2024 y de 26,5 a 31,5°C en verano 2025 (estas últimas mayores a la LB). Mientras que las temperaturas fueron bajas en laguna La Punta en invierno 2024 (<9°C) y altas

en verano 2025 (>19°C). Las concentraciones de oxígeno disuelto en el sector fueron bajas en verano (<4,1 mg/L), incluso algunas menores a la LB de verano, siendo esto acorde a las altas temperaturas de sus aguas, mientras que en invierno 2024 fueron mayores las concentraciones siendo la mayor registrada en LB-3 (7,99 mg/L), lo que puede estar relacionado con la escorrentía en ese afluente que permite una mayor oxigenación del agua. Ahora bien, la clorofila “a”, presentó una variación en el sector de <0,02 a 6,98 µg/L, con el mayor registro en LB-1 (La Brava) en verano 2025, lo que se relaciona con las actividades fotosintéticas particulares de cada estación. Según la Evaluación de la condición trófica de la red de control de lagos de la Dirección General de Aguas, desarrollada para sistemas de agua dulce (DGA, 2016), este sector mostraría un sistema oligotrófico, a pesar de ser altos los valores de fosforo total y ortofosfato.

Para el sector Tilopozo, los valores obtenidos en el agua en invierno 2024 y verano 2025 muestran como es habitual, un sistema notablemente menos salino que La Punta y La Brava, lo que es esperable al ser una zona de vegas y pozas, registrándose valores menores de conductividad (entre 4.219 y 4.457 µS/cm) y un pH neutro (6,7 a 7,2). Se observa que los resultados obtenidos en las estaciones TB-1, TB-2 y TB-3 son similares en la mayoría de los parámetros de calidad de agua. En el caso del oxígeno disuelto se obtuvieron concentraciones bajas, siendo mayores en invierno 2024 (3,22 a 3,72 mg/L) respecto al verano 2025 (entre 1,18 y 2,22 mg/L). Cabe destacar los valores de Clorofila "a" tuvieron una alta oscilación, con mayores valores en invierno 2024 (7,16 µg/L a un máximo de 101,72 µg/L en TB-1) y menores en verano 2025 (≤0,17 µg/L). En el caso de la Clorofila en Perifiton se registró una tendencia similar, registrándose un máximo de 1.676,38 mg cl-a/m² en TB-1 invierno 2024 y menores valores en verano (máximo 2,77 mg cl-a/m² en TB-3). Tales valores podrían estar indicando algún grado de eutrofización, considerando además lo observado en terreno por la presencia de lamas de microalgas que crecen sobre y entre plantas vasculares sumergidas, condición observada en ambas campañas de monitoreo. Según la Evaluación de la condición trófica de la red de control de lagos de la Dirección General de Aguas (DGA, 2016), sería un sistema de oligotrófico a mesotrófico, considerando los valores de fósforo total >0,1 mg/L y de clorofila “a” >3,5 µg/L, observándose más acentuada la condición mesotrófica en invierno 2024.

El sistema de lagunas del Sector Peine en invierno de 2024 (no se pudo muestrear en verano 2025), presentó aguas que se encuentran en los rangos propios de sistemas acuáticos salinos, es decir, con alta salinidad y conductividad, con altas concentraciones de cloruros y sulfatos, observándose los valores más altos para estos parámetros en laguna Interna respecto a laguna Saladita. En estos cuerpos de agua se registró un amplio rango de temperaturas, con valores entre 7°C y 12°C en laguna Saladita y entre 19°C y 28°C en laguna Interna. En el caso del oxígeno disuelto se registraron valores entre 2,7 y 4 mg/L, registrándose la mayor y menor concentración en laguna Interna. Cabe mencionar que la solubilidad del oxígeno disminuye en ambientes hipersalinos (Javor 1989). Por otra parte, las lagunas de ese sector presentaron un pH moderadamente alcalino, lo cual se relaciona con los valores de alcalinidad total y bicarbonato registrados. Por su parte la clorofila “a”, presentó una variación en el sector de <0,02 a 3,04 µg/L y la clorofila en Perifiton mostró un rango entre <0,02 y 12,7 mg cl-a/m², en

ambos casos su máximo fue en S-10 (laguna Saladita), lo que se relaciona con actividades fotosintéticas particulares en cada estación. Respecto a fósforo total presentó valores ≤ 0,168 mg/L y el ortofosfato junto con los compuestos nitrogenados, mostraron valores bajo el límite de detección. Según la Evaluación de la condición trófica de la red de control de lagos de la Dirección General de Aguas, desarrollada para sistemas de agua dulce (DGA, 2016), sería un sistema en condición oligotrófica.

Respecto a los resultados de la **calidad de sedimentos** descritos para las estaciones del sector La Punta y La Brava, en su mayoría se muestran por sobre del rango considerado como LB (2015), exceptuando por el Nitrógeno Total Kjeldahl contenido en el sedimento, que en general estuvo dentro de los límites de la LB. Cabe mencionar lo acotado del registro de la LB que corresponde tan solo a una campaña realizada en verano de 2015. Tales valores de la LB deben tomarse solo como un registro puntual, considerando que los parámetros de calidad de sedimentos han mostrado durante los monitoreos del Plan de Manejo Biótico, valores habitualmente fuera de ese rango de la LB, evidenciando sedimentos ricos en fósforo, con elevadas concentraciones de carbono orgánico y materia orgánica. En la campaña de invierno 2024, el porcentaje de materia orgánica en todas las estaciones de La Punta – La Brava fue entre el 12,5% y 15,7%, mientras que en la campaña de verano 2025 fueron más variables entre 7,5% y 23,8% (LB-1). Tales valores se condicen con los registrados para el carbono orgánico total, que presentó una tendencia en proporciones similares. Referente al potencial óxido-reducción de los sedimentos, en todas las estaciones se registraron valores negativos que indican sedimentos donde se favorecen reacciones de reducción. En general, no se observó un gradiente o una tendencia clara de estos parámetros entre las estaciones del sector.

En relación con los análisis granulométricos en este sector, los que respectan a la línea de base (solo verano 2015 del PMB), indican que los tipos de grano medio para este sector estuvieron entre Limo y Arena Muy Gruesa con un grado de selección correspondiente a Muy pobremente seleccionado, los que incluyen a los encontrados en este sector en invierno 2024 (*Arena Media*) y verano 2025 (entre *Arena Fina* y *Arena Gruesa*), además de una clasificación de Pobremente a Muy pobremente seleccionado, es decir, que en los sedimentos del sector se encuentra un amplio rango de tamaños de grano.

Para el sector Tilopozo, cabe señalar que no hay registros en la LB de calidad de sedimentos. En las estaciones de este sector (TB-1, TB-2 y TB-3) las concentraciones de COT y porcentaje de materia orgánica de sus sedimentos fueron en general mayores a los encontrados en el sector de La Punta y La Brava, a pesar de ser aguas con menor cantidad de sales, donde se esperaría mayor degradación de la materia orgánica. Los valores de Nitrógeno Total Kjeldahl también tendieron a ser elevados (>1,2 g/Kg), al igual que las concentraciones de fósforo total (máximo 18.100 mg/Kg en TB-1 en verano 2025), los cuales fueron en general mayores a los encontrados en el sistema La Punta y La Brava. Los resultados granulométricos para el sector Tilopozo en ambas campañas, muestran que el diámetro medio de grano obtenido en las

estaciones abarcó de *Arena Muy Fina* a *Arena gruesa*, con grados de selección de *Pobremente seleccionado* a *Muy pobremente seleccionado*.

En el sector Peine en invierno 2024 la concentración de carbono orgánico total varió de 73,3 a 88,3 g/kg y el porcentaje de materia orgánica entre 12,6% a 15,2%, registrándose los valores más altos en laguna Interna. Respecto al fósforo total, los valores registrados estuvieron en un rango de 500 a 800 mg/Kg. Referente al potencial óxido-reducción, en todas las estaciones muestreadas se registraron sedimentos con características reductoras con valores negativos. En general, no se observó un gradiente o una tendencia de estos parámetros entre las estaciones del sector.

En términos generales, los valores registrados en los sectores del sistema corresponden a ambientes acuáticos alcalinos, con altas concentraciones de sales (para el caso de las lagunas más cercanas al núcleo del salar) y en general un sedimento con materia orgánica recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica. Los altos contenidos de fósforo pueden deberse a la misma razón, sumado a la capacidad particular de los sedimentos para retener el fósforo, cuyos valores más altos fueron registrados en las pozas de Tilopozo.

Para el caso de las comunidades biológicas, en general, mostraron valores dentro de los registros esperados de acuerdo con los estudios previos.

Las comunidades de microalgas, *fitobentos* y *fitoplancton,* presentaron valores de riqueza de géneros y abundancia similares a los registros históricos de las campañas invierno y verano de la línea de base contemplada en el Plan de Manejo Biótico, con excepción de algunos sectores. Cabe señalar que, la abundancia fitoplanctónica ha presentado en el tiempo una disminución de los registros, sin embargo, para fitobentos se observó un incremento en las abundancias, con registros por sobre el valor máximo de la línea de base.

Para los invertebrados, zoobentos y zooplancton, en invierno 2024 y verano 2025, los valores de riqueza y abundancia se encuentran en general dentro de los rangos determinados por la LB, exceptuando en la abundancia del zooplancton en verano 2025, específicamente en LP-23 (La Punta) que fue mayor al máximo de la LB. Aun así, en el caso del zooplancton las abundancias fueron bajas en ambos periodos y sectores, siendo representados por unos pocos *taxa*, como el copépodo *Boeckella poopoensis* encontrado principalmente en laguna La Punta, el branquiópodo *Artemia franciscana* junto con copépodos *Tigriopus* sp. encontrados en laguna La Brava y las lagunas de Peine (invierno 2024), mientras que el gasterópodo *Heleobia atacamensis* fue mayoritario en las Vegas de Tilopozo. Respecto al zoobentos, sus riquezas de *taxa* fueron bajas y abundancias en algunos casos altas (>10.000 Ind/m²). Los organismos más representativos en el sector La Punta y La Brava fueron los ostrácodos Cyprididae, insectos dípteros *Dasyhelea* sp. y los gasterópodos *Heleobia* sp., en Peine (invierno 2024) fueron los copépodos *Tigriopus* sp., los dípteros *Dasyhelea* sp. y los gasterópodos *Heleobia* sp., mientras que en las pozas de Tilopozo los organismos con las mayores abundancias fueron los gasterópodos *Heleobia atacamensis*, alcanzando altas

abundancias verano 2025 (>8.000 Ind/m² en TB-2). La especie *Heleobia atacamensis* (caracol de la Familia Cochliopidae) ha sido registrada históricamente en el sector Tilopozo y es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA).

Las plantas vasculares acuáticas (macrófitas) registradas corresponden a *taxa* detectados en los estudios previos, y que no están clasificados en alguna categoría de conservación. En esta componente, se destaca la diferencia que presentaron las estaciones de la vega de Tilopozo respecto de las estaciones de La Punta y La Brava. En relación con las lagunas fue detectado el género *Ruppia*, taxón típico de ambientes salobres e hidrófito y las helófitas también de ambientes salobres *Sarcocornia fruticosa*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna*.

En tanto, en las vegas se observaron especies de ambientes dulces a salobres como *Zannichellia palustris*, *Juncus balticus*, *Baccharis linearis*, *Distichlis spicata* y *Schoenoplectus californicus*. En el contexto del monitoreo, las plantas vasculares acuáticas se mantuvieron más bien estables en el tiempo en cuanto a riqueza y abundancias. Cabe destacar que, las plantas vasculares acuáticas reportadas en los sectores estudiados (La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo), correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria.

Si bien, este estudio no contempló la evaluación de fauna íctica, ésta fue registrada por observación directa solamente en el Sector Tilopozo, en las estaciones TB-1 y TB-3 durante invierno y verano. Cabe señalar que no se realizó capturas de individuos, ni se efectuó pesca eléctrica, en ninguna de las estaciones de monitoreo.

Las observaciones corresponden a individuos del género *Gambusia,* un pequeño pez originario del hemisferio norte que ha sido introducido en distintos lugares del planeta con el fin de ayudar en el control de mosquitos o zancudos que son vectores de enfermedades. No tiene algún grado de amenaza a su conservación de acuerdo con la legislación vigente.

13.5.2 Comparación LB y Monitoreos (evolución en el tiempo)

13.5.2.1 Calidad de agua

Para el análisis de la calidad de agua de todos los monitoreos de invierno y verano, se consideró la comparación de los parámetros más preponderantes de los sistemas acuáticos salinos, con los rangos de variación (mínimo y máximo) de la LB contemplados en el Plan de Manejo Biótico para las estaciones de invierno y verano. Para ello se utilizó la data de Línea Base de los periodos de invierno 2008, 2013 y 2014 y verano 2014 y 2015, del sector La Punta y La Brava y el Sector Peine. Estos datos fueron contrastados con lo detectado en las respectivas campañas de monitoreo de invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2023 y 2024 y los monitoreos de verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025 excepto por el verano 2020, que no se realizó producto de la pandemia COVID-19.

Los registros obtenidos en las lagunas de **La Punta y La Brava**, durante todos los monitoreos de invierno y verano, han mostrado un sistema de lagunas caracterizado por aguas de alta salinidad y conductividad específica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, con un máximo registro de este último parámetro de 144.744 mg/L en La Punta (LP-24) en verano 2019 y un mínimo de 7.291 mg/L en La Brava (LB-1) en verano 2025. En este sector los mayores valores en conductividad y salinidad se han registrado históricamente en las estaciones LB-1 y LB-2 de laguna La Brava, en comparación a las estaciones de laguna La Punta (LP-23 y LP-24) y LB-3 de La Brava, registrándose un mínimo histórico de 25.770 µS/cm en conductividad en LB-3 en verano 2024 y un máximo de 165.100 µS/cm en LB-2 en verano 2019. Respecto a la estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de laguna La Brava, se han registrado menores valores para estos parámetros, sin embargo, se evidencia un incremento en verano 2019 y también en los inviernos de 2019 y 2020, para luego disminuir nuevamente a partir de invierno 2021. En esta estación se han registrado un rango de valores de conductividad entre 26.410 µS/cm (invierno 2022) y 69.960 µS/cm (invierno 2020).

Observando la evolución en el tiempo en este sector de La Punta y La Brava, se distinguen las estaciones LB-1 y LB-2 con comportamiento distinto a los demás puntos del sector, con marcadas fluctuaciones entre inviernos, donde se alcanzaron los mayores valores en conductividad eléctrica y concentraciones de cloruro y sulfato del sector durante los inviernos 2019, 2021 y 2023 (por sobre la LB en el caso de la conductividad), registrándose los valores menores de estos parámetros principalmente en los inviernos 2020, 2022 y 2024. Por su parte, en la estación LB-3 ubicada en la desembocadura de un afluente de laguna La Brava, se registraron durante los inviernos valores menores para estos parámetros, sin embargo, se evidencia un incremento en los inviernos 2019 y 2020, para disminuir nuevamente en invierno 2021 y mantenerse con baja variación en los inviernos 2022, 2023 y 2024. En laguna La Punta (estaciones LP-23 y LP-24), se observaron en invierno 2018 los menores valores para estos parámetros, los máximos en invierno 2019 y 2020, luego disminuir paulatinamente hasta invierno 2022, aumentar nuevamente en invierno 2023 y disminuir en invierno 2024 (**Figura**

N° 13-93 A). Respecto a los veranos, se obtuvo un incremento de conductividad, cloruro y sulfato en verano 2019 respecto a los veranos 2017 y 2018 (en algunos casos por sobre la LB), para luego disminuir en verano 2021 y posteriormente mostrar un rango de variación menor en 2022, 2023, 2024 y 2025, observándose en las últimas campañas valores dentro del rango de la LB, exceptuando en LB-2 que en verano 2024 los parámetros de sulfato y cloruro sobrepasaron ese rango (**Figura N° 13-93 B**).

Tales fluctuaciones pueden ser atribuibles a la dinámica hidrogeológica de la zona marginal del Salar de Atacama. La disolución de sales en el agua infiltrada que luego aflora en las lagunas salinas es modulada tanto por el proceso de evapotranspiración diario, como por el aporte de agua por las precipitaciones en el Salar. Según los registros de salinidad obtenidos en LB-1 y LB-2, tanto para los inviernos como veranos, esta agua se clasifica como hipersalina (>40 g/L) según el sistema de Venecia de 1959 (Ribera, 2016), lo que está en concordancia con los estudios de Farías *et al.* (2014) y Fernandez *et al.* (2016), quienes especifican que las condiciones ambientales dadas en la laguna La Brava se caracterizan por (1) una alta radiación solar debido a una menor presión barométrica a gran altura, (2) fluctuaciones extremas de la temperatura, típica de los ambientes desérticos, (3) cambios extremos en la salinidad debido a la evaporación neta que produce agua hipersalina y (4) altas concentraciones de litio, boro y arsénico.

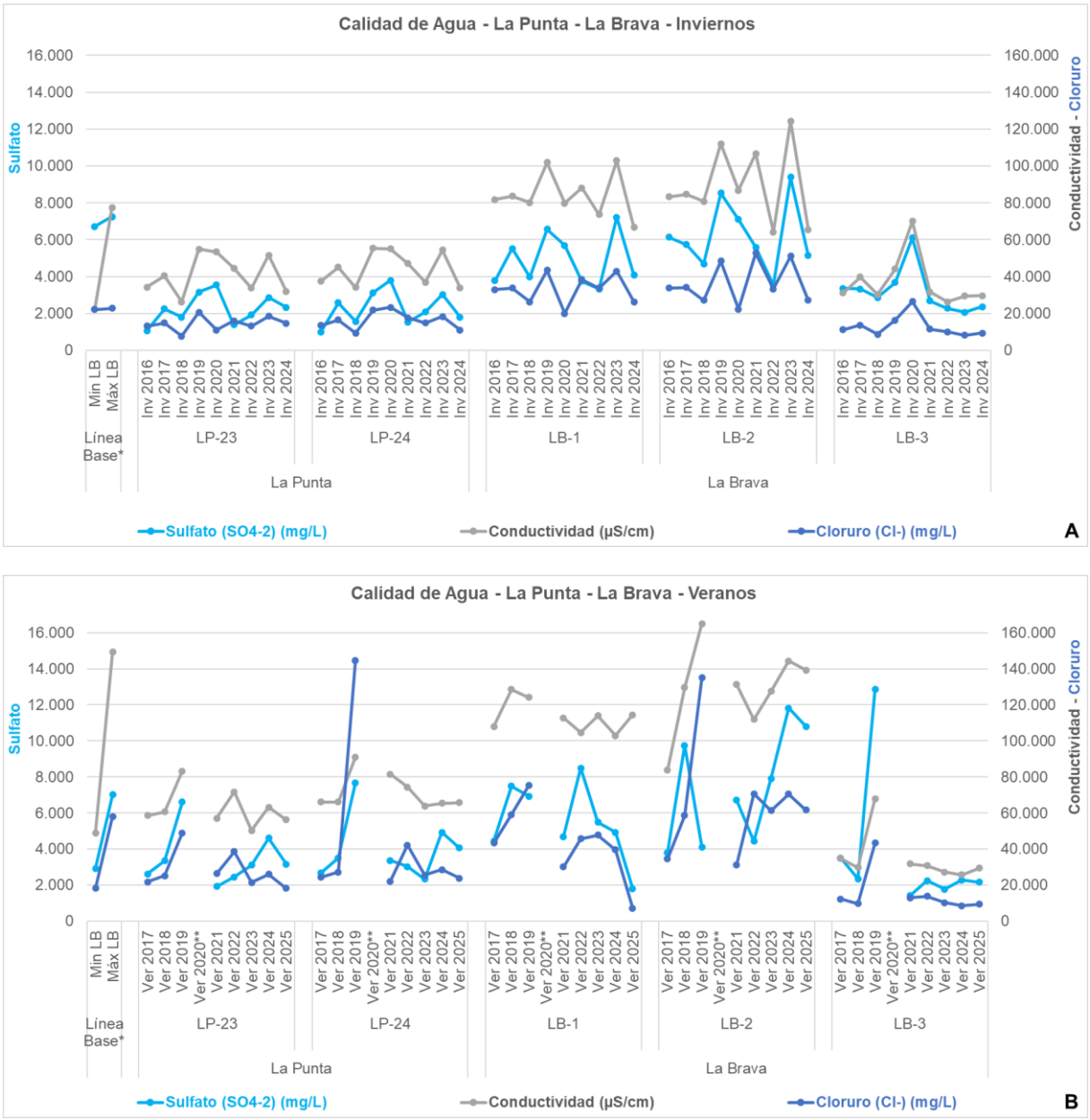
En un contexto geoquímico, cabe señalar que el Salar de Atacama comprende dos unidades principales en su territorio: un núcleo y una zona marginal. El núcleo (1.100 km^2 y 900 m de espesor) consiste en un haluro poroso (90%) impregnado con una salmuera de cloruro de sodio rica en litio, potasio, magnesio 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.

Las lagunas La Punta y La Brava, presentaron valores moderadamente alcalinos de pH para la gran mayoría de los puntos de monitoreo en verano e invierno, mostrando por lo general valores sobre 8, en concordancia con los altos valores de alcalinidad total, parámetro que a su vez varía según los aportes y equilibrio entre el bicarbonato y los carbonatos, registrándose los valores más altos de pH en invierno 2022 y los veranos de 2018, 2022 y 2024, tanto en laguna La Punta como en laguna la Brava. Respecto a los parámetros de bicarbonato y alcalinidad, el PMB solo cuenta con valores de LB de una sola campaña (2015), por lo tanto, las desviaciones respecto a estos registros podrían deberse a variaciones que ocurren de forma natural (**Figura N° 13-94**).

La temperatura del agua en este sector mostró una importante variabilidad, observándose un incremento en todas las estaciones desde el invierno 2016 al 2021, para bajar en invierno 2022 y luego aumentar nuevamente de manera considerable en todas las estaciones en invierno 2023 (máximo de 32,36 °C en LB-2 en invierno 2023) para luego disminuir nuevamente en invierno 2024, observándose también en todos los inviernos mayores temperaturas en laguna La Brava, respecto de La Punta (**Figura N° 13-95 A**). Respecto a los veranos, en laguna La Punta las mayores temperaturas registradas fueron en los veranos 2017, 2019, 2021, 2023 y 2025, mientras que las menores ocurrieron en verano 2018. En laguna La Brava, las mayores temperaturas ocurrieron en los veranos 2017 y 2024 en LB-1 y LB-2 y en verano 2025 en LB-3, observándose una alta variabilidad entre campañas (**Figura N° 13-95 B**).

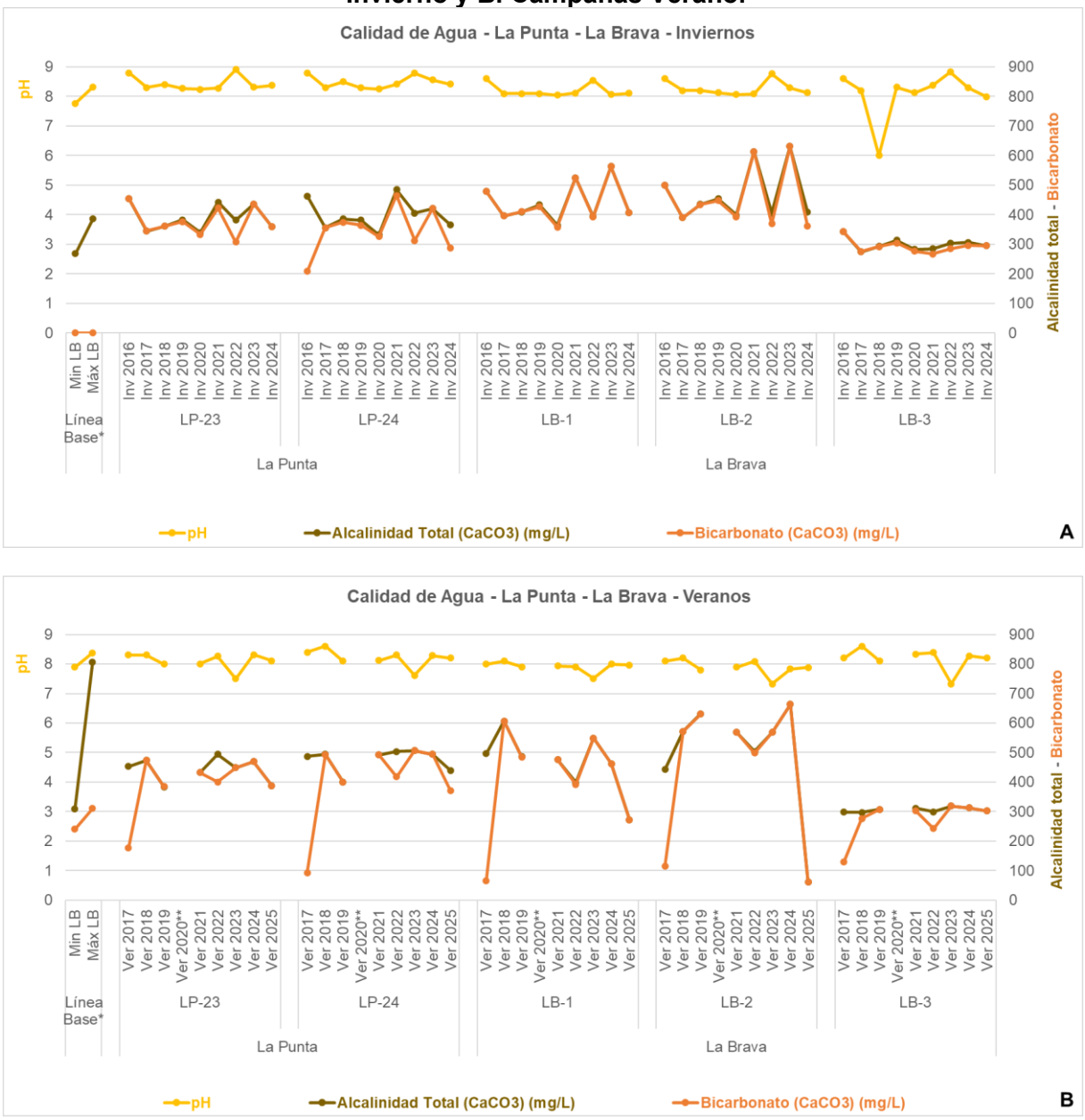
Respecto al oxígeno disuelto en los inviernos, este mostró en el sector concentraciones bajas, principalmente entre 2 y 5 mg/L (bajo el mínimo de la LB), exceptuando en invierno 2022 que se incrementó con valores por sobre los 5 mg/L en la mayoría de las estaciones. En la estación LB-3 en los inviernos de 2016, 2018 y 2021, se sobrepasaron los 8 mg/L de oxígeno disuelto. (**Figura N° 13-95 A**). En las campañas de verano, el oxígeno disuelto presentó concentraciones bajas, exceptuando por LB-3 en los veranos 2021, 2022, 2023 y 2024 (con valores >5 mg/L) y en LP-23 en verano 2017, con un valor muy superior a los otros veranos (incluso mayor que LB). Los valores más bajos de oxígeno disuelto ocurrieron en La Brava (LB-1 y LB-2) en los veranos 2017, 2018, 2023 y 2024, estando incluso bajo el mínimo establecido en la línea base (>2 mg/L) (**Figura N° 13-95 B**). Las concentraciones de clorofila “a” en este sistema fueron en general bajas (principalmente en La Punta), tanto en invierno como en verano, lo que se puede relacionar con una baja actividad fotosintética o productividad primaria microalgal (**Figura N° 13-95)**.

Figura N° 13-93. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



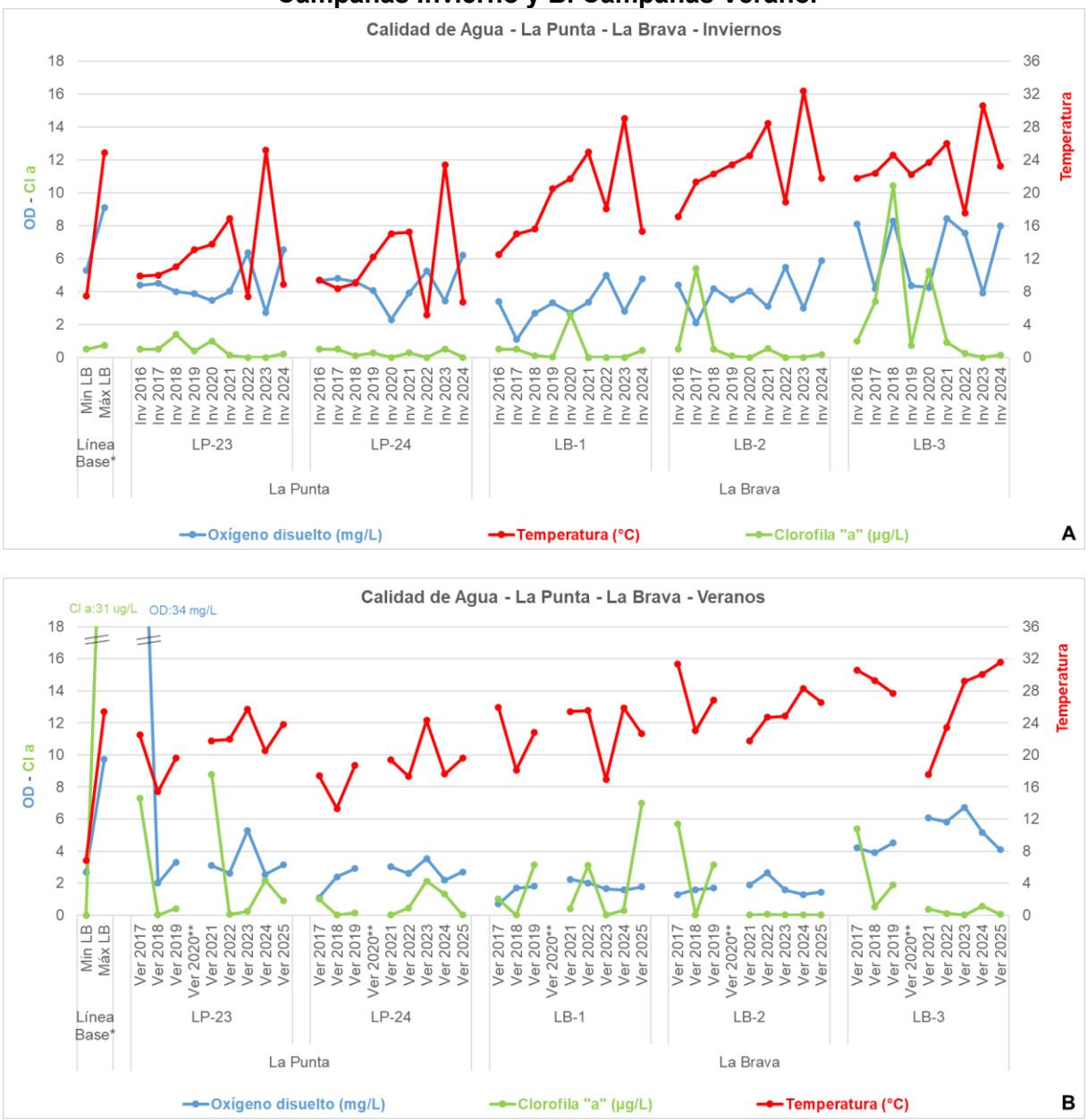
Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Figura N° 13-94. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Figura N° 13-95. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila "a" en el Sector La Punta – La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



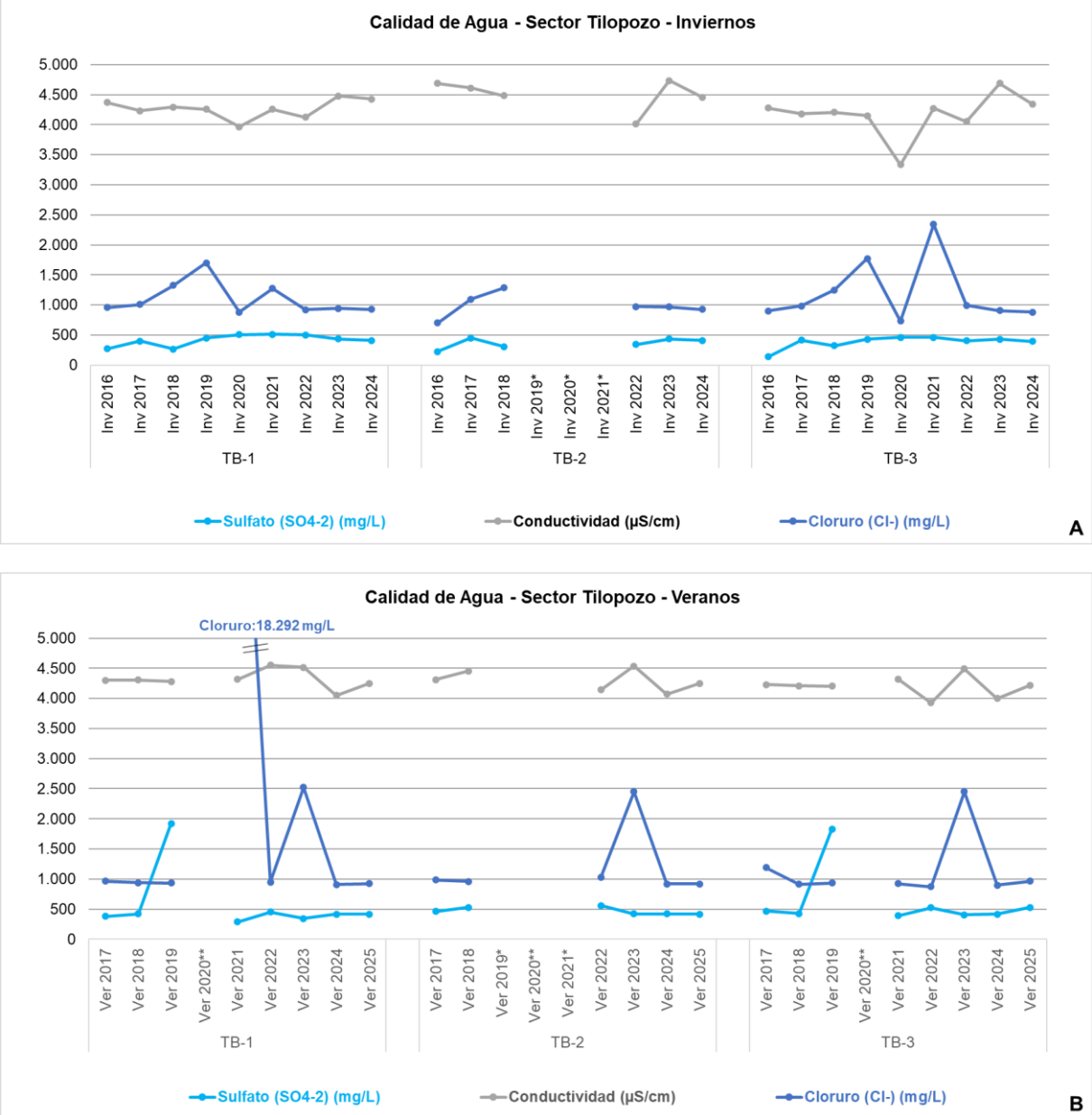
Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Los valores obtenidos en el sector de **Tilopozo**, muestran un sistema con menor conductividad (entre 3.336 y 4.733 μS/cm), salinidad (2 a 3 gr/Kg), sulfato (139 a 1926 mg/L) en comparación con los otros sectores de estudio, condición esperable dada las características propias de estas estaciones de sistema de vegas y de su lejanía del núcleo del salar. El parámetro de cloruro se ha mantenido con valores <2600 mg/L para en este sector, sin embargo, en la estación TB-1 en el verano de 2021 se registró una concentración de 18.292 mg/L, la cual no se condice con los valores bajos de salinidad y conductividad. Tal valor responde a un registro puntual, que no representa las condiciones de este sector, considerando los parámetros más conservativos como la conductividad (**Figura N° 13-96**). Se ha registrado un pH de neutro a moderadamente alcalino (6,34 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° 13-97**). Cabe mencionar que en las campañas de verano 2019, invierno 2019, invierno 2020, verano 2021 e invierno 2021, la estación TB-2 se encontró sin agua superficial y que la campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Las temperaturas en general fueron altas y cercanas a 25°C para TB-1 y TB-3, tanto en verano como en invierno, pero en el caso de TB-2 tuvo un registro más variable, entre 6,7°C en invierno 2018 y sobre los 25,9°C en invierno 2022 (**Figura N° 13-98**). Si bien las estaciones del sector Tilopozo se encuentran cercanas entre sí, éstas presentan diferencias, observándose valores similares de los parámetros entre las estaciones TB-1 y TB-3, a diferencia de la estación TB-2, en relación con la temperatura, pH, conductividad específica, oxígeno disuelto, alcalinidad total, bicarbonato, sulfato, nitrato, clorofila “a” y turbiedad. Esto se relaciona con que las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de <2 m de profundidad de afloramiento de agua subsuperficial, respectivamente y TB-2 corresponde a una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad.

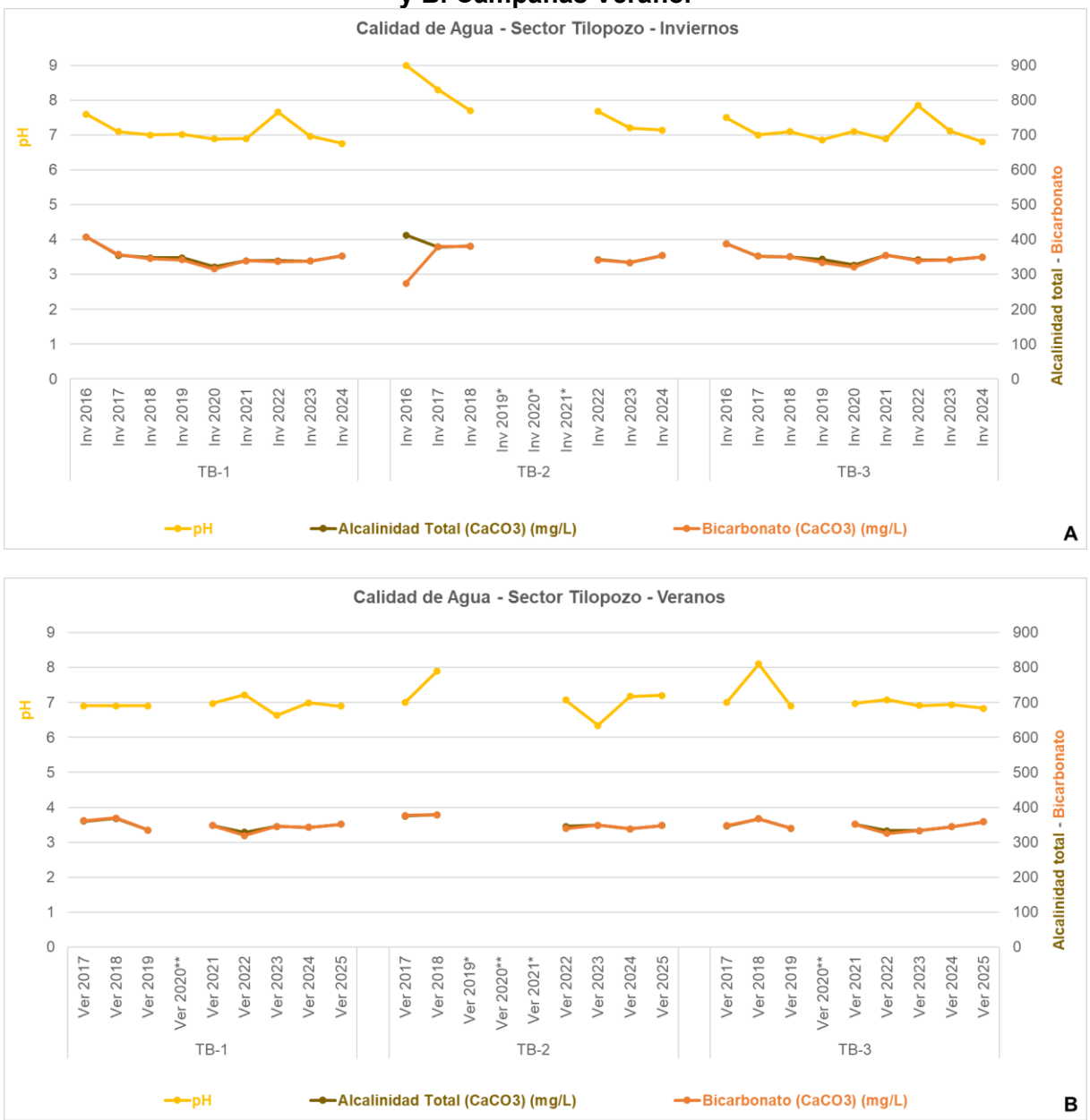
Ahora bien, en verano 2018 la clorofila “a” en fitoplancton alcanzó un valor máximo de 182,84 µg/L, este valor se registró en la estación TB-2 siendo el mayor para el sector (**Figura N° 13-98**), el cual correspondería a una condición de eutrofia (Smith et al. 1999 y Dods et al. 1998). Respecto de todas las estaciones de Tilopozo, según los valores registrados para Clorofila-a en Perifiton podrían estar indicando algún grado de eutrofización en estas pozas, según Smith et al. 1999 y Dods et al. 1998. Considerando que el sistema presenta una condición de oligotrofia, según los valores de nitrógeno total <700 mg/L y fósforo total <25 mg/L y de meso a eutrofia según los valores de clorofila-a perifiton >70 mg/m^2 detectados para este estudio (Smith et al. 1999; Dods et al. 1998), además de lo observado en las campañas de terreno por la presencia de una abundante biomasa de macrófitas y de lamas microalgales superficiales de color amarillo sobre ellas.

Figura N° 13-96. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



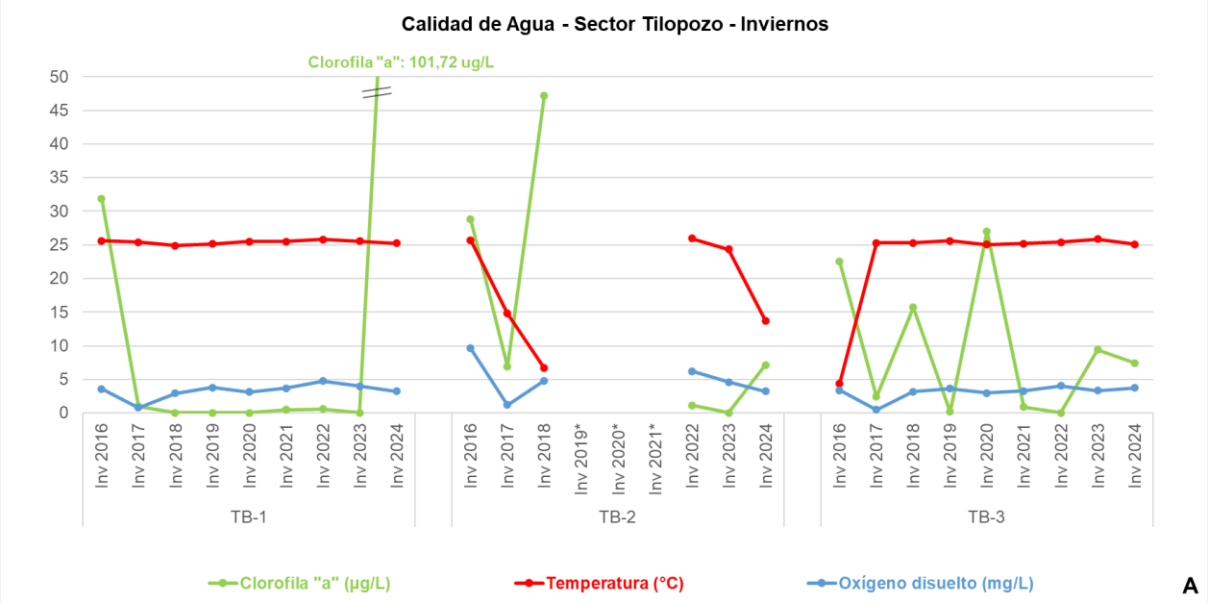
Fuente: Elaboración propia. (*) Campañas donde la estación TB-2 se encontró sin agua superficial. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19

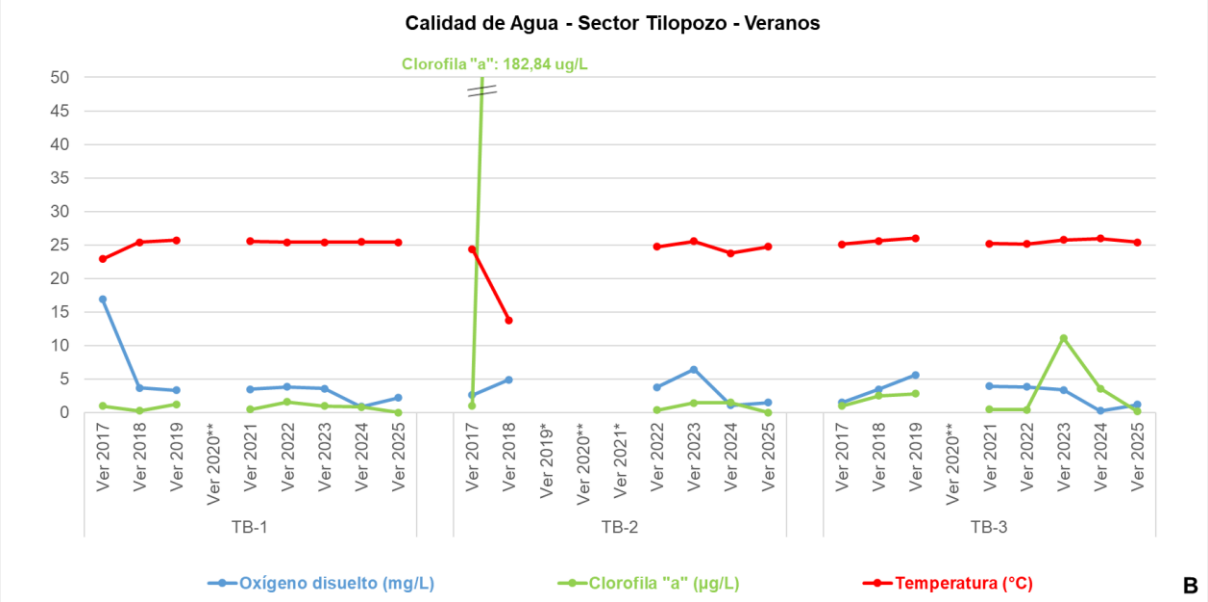
Figura N° 13-97. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector Vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. (*) Campañas donde la estación TB-2 se encontró sin agua superficial. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19

Figura N° 13-98. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila “a” en el Sector Vegas de Tilopozo. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.





Fuente: Elaboración propia. (*) Campañas donde la estación TB-2 se encontró sin agua superficial. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19

El sistema de lagunas del **Sector de Peine** se caracteriza por presentar en sus aguas una alta salinidad y conductividad, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros, observándose una tendencia a aumentar su concentración de sales desde laguna Salada hacia laguna Interna, tanto en invierno como en verano (**Figura N° 13-99 A y B**). Los registros de calidad de agua para los inviernos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 en este sector, mostraron que los parámetros de Conductividad, Salinidad y Cloruros tuvieron valores por sobre el máximo registrado en la LB en los inviernos 2017 y 2019 en la estación S-5, durante los inviernos 2017, 2019 y 2021 en las estaciones SA-25, S-10 e I-11, mientras que en la estación I-17 ocurrió en los inviernos 2016, 2017, 2019 y 2021, observándose también que la mayoría de los registros de los inviernos 2016, 2018 y 2022, los parámetros de Conductividad, Salinidad y Cloruro se encontraron dentro del rango de la línea de base.

En la campaña de invierno 2020 se registró la menor Conductividad para los monitoreos de invierno en este sector, sin embargo, los valores de Salinidad y concentración de Cloruro fueron menores en invierno 2018. Respecto al sulfato, este se ha mantenido bajo el límite máximo de la LB, exceptuando en los inviernos 2019 y 2020 en la estación I-17 (**Figura N° 13-99 A**). Estas variaciones están dadas por la dinámica hidrogeológica de la zona marginal del Salar de Atacama. La disolución de sales en el agua infiltrada que luego aflora en las lagunas salinas es modulada tanto por el proceso de evapotranspiración diario, como por el aporte de agua por las precipitaciones en el Salar. Cabe mencionar que los valores reportados son propios de lagunas salinas e hipersalinas (Alonso y Risacher 1996; Ribera, 2016) y la gran mayoría de estos valores son menores a los reportados durante las campañas de verano.

Los registros de parámetros de calidad de agua en el **Sector de Peine** para los veranos de 2017, 2018, 2019 y 2022, estuvieron dentro de los rangos determinados para este sistema según el marco de referencia utilizado (Plan de Manejo Biótico). Sin embargo, en la estación I-17 (Laguna Interna), se registraron durante el verano 2017 y 2019 valores altos de salinidad (superiores a línea base). En esta misma estación, se observaron en verano 2019 los valores más altos de conductividad y de cloruros en los monitoreos de verano realizados. Cabe mencionar que en verano 2022 los valores de estos parámetros volvieron a encontrarse dentro de los límites de la línea base. Los registros de sulfato se mantienen estables para todos los monitoreos y dentro de los rangos de línea base.

Este sistema de lagunas se caracteriza por presentar en sus aguas alta salinidad y conductividad eléctrica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros y sulfatos, que muestran la misma tendencia de incrementarse hacia laguna Interna, acordes con el tipo de sedimentos de esta zona, ricos en sulfatos y yeso, dado por la cercanía de las lagunas al núcleo del salar (**Figura N° 13-99 B**). Según el Sistema de Venecia de 1959 (*The Venice System for the Classification of Marine Waters According to Salinity*) (Ribera, 2016), el agua del sistema de Peine se encuentra entre aguas mesohalinas a hipersalinas para el periodo estudiado.

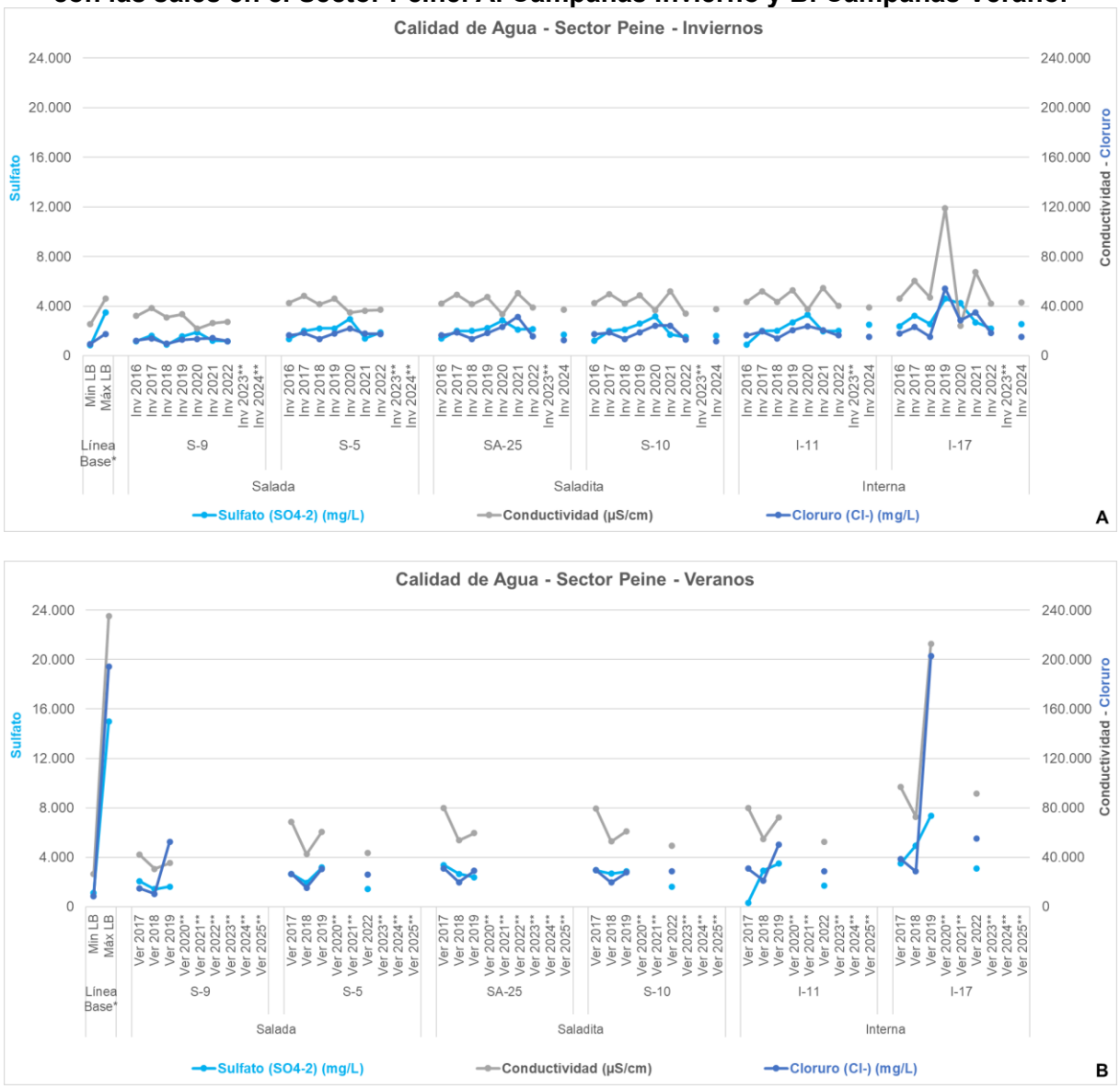
Por otra parte, las lagunas del sector de Peine presentan un pH moderadamente alcalino a alcalino en todas las campañas de verano e invierno, con valores principalmente entre 8 y 9 en todos los registros (con un máximo en verano 2018), esto en concordancia con los altos valores alcalinidad total registrados (menores al límite inferior de la LB), observándose para este parámetro una tendencia espacial a disminuir desde laguna Salada hacia laguna Interna, con sus máximos registros en invierno 2016 y 2021.

Se observa una concordancia entre los registros de alcalinidad total y bicarbonato en todas las estaciones desde el invierno 2017 al 2021, exceptuando en invierno 2016 donde las concentraciones de bicarbonatos son bajas para la alcalinidad total registrada, no obstante, tal alcalinidad estuvo dada por las mayores concentraciones de carbonatos registradas en esa campaña. En las campañas de verano, los valores más altos de alcalinidad total estuvieron dados en verano 2017 por la mayor concentración de carbonatos respecto de los bicarbonatos, mientras que en verano 2018, 2019 y 2022, fueron mayores las concentraciones de bicarbonatos respecto de los carbonatos (**Figura N° 13-100**).

Las altas temperaturas en este sistema están relacionadas con la baja profundidad que presentan sus cuerpos de agua (<20 cm), observándose en el verano 2017 en la estación S-9, la más alta registrada para este sector, sin sobrepasar el máximo de la LB. La temperatura fue variable durante todos los periodos de invierno, pero se mantuvo en general dentro de los límites de la LB y variación histórica, observándose los mayores registros para las estaciones S-9, S-5 y SA-25 en invierno 2019, para S-10 e I-11 en invierno 2021 y para I-17 en invierno 2018 y 2020. En todos los puntos desde S-5 a I-11 se observa que invierno 2022 respecto a los inviernos previos, la temperatura vuelve a bajar siendo similar a años anteriores.

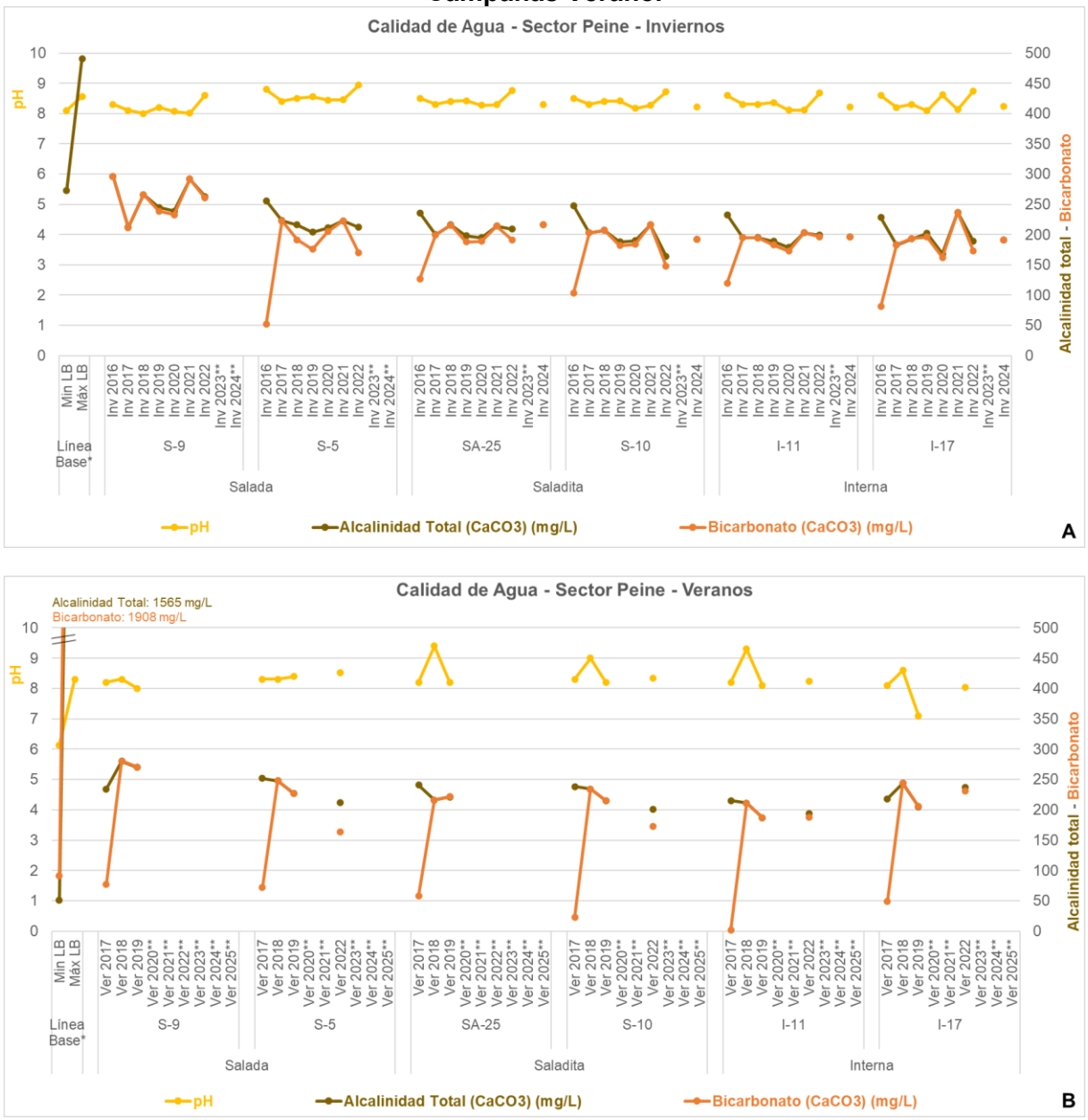
Respecto al oxígeno disuelto, sus concentraciones están en su mayoría dentro de los valores de LB para todos los inviernos y veranos, observándose una tendencia a disminuir desde laguna Salada hacia laguna Interna, lo cual se puede relacionar con las altas salinidades y temperaturas registradas, que generan una menor solubilidad del oxígeno en el agua. Las concentraciones de clorofila “a” en general fueron bajas y variables, las cuales se relacionan con la actividad fotosintética particular de cada laguna, ya que es una medida indirecta de la productividad primaria. De los datos de inviernos en el sector Peine no se observan tendencias claras, ya que los valores han sido variables y volviendo a concentraciones similares a las observadas en años anteriores (dentro del rango histórico) (**Figura N° 13-101**).

Figura N° 13-99. Variación temporal de parámetros de calidad de agua relacionados con las sales en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



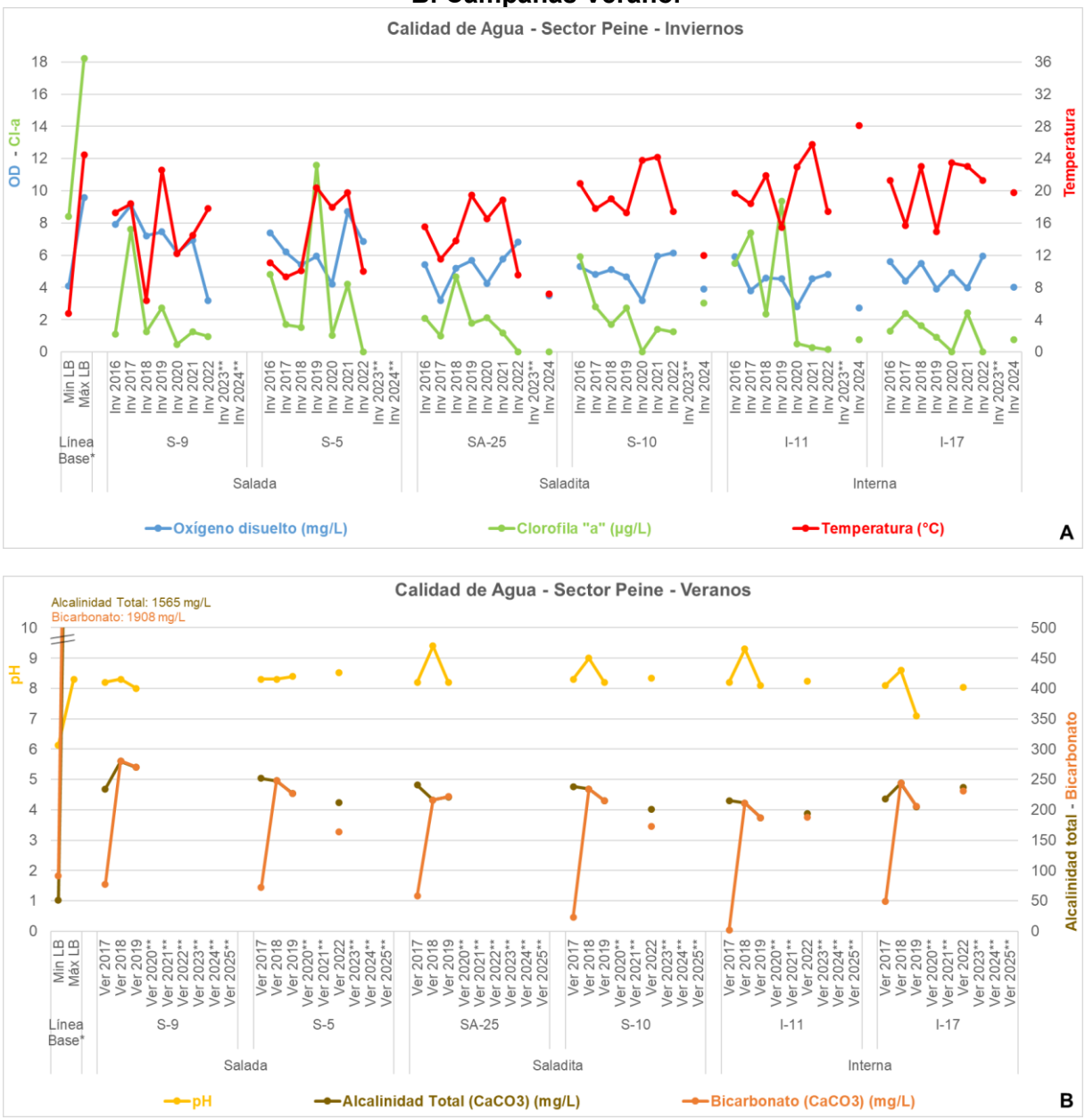
Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023, verano 2024, parte de invierno 2024 y verano 2025, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

Figura N° 13-100. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de pH, Alcalinidad total y Bicarbonato en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023, verano 2024, parte de invierno 2024 y verano 2025, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

Figura N° 13-101. Variación temporal de los parámetros de calidad de agua de temperatura, oxígeno disuelto y Clorofila “a” en el Sector Peine. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. (*) Los valores Min LB y Max LB, corresponden a los valores mínimos y máximos registrados en este sector durante de la Línea Base. Para las campañas de invierno corresponde a los registros de invierno 2008, 2013 y 2014 y para las campañas de verano a los registros de verano 2014 y 2015, respectivamente. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023, verano 2024, parte de invierno 2024 y verano 2025, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

13.5.2.2 Calidad de sedimentos

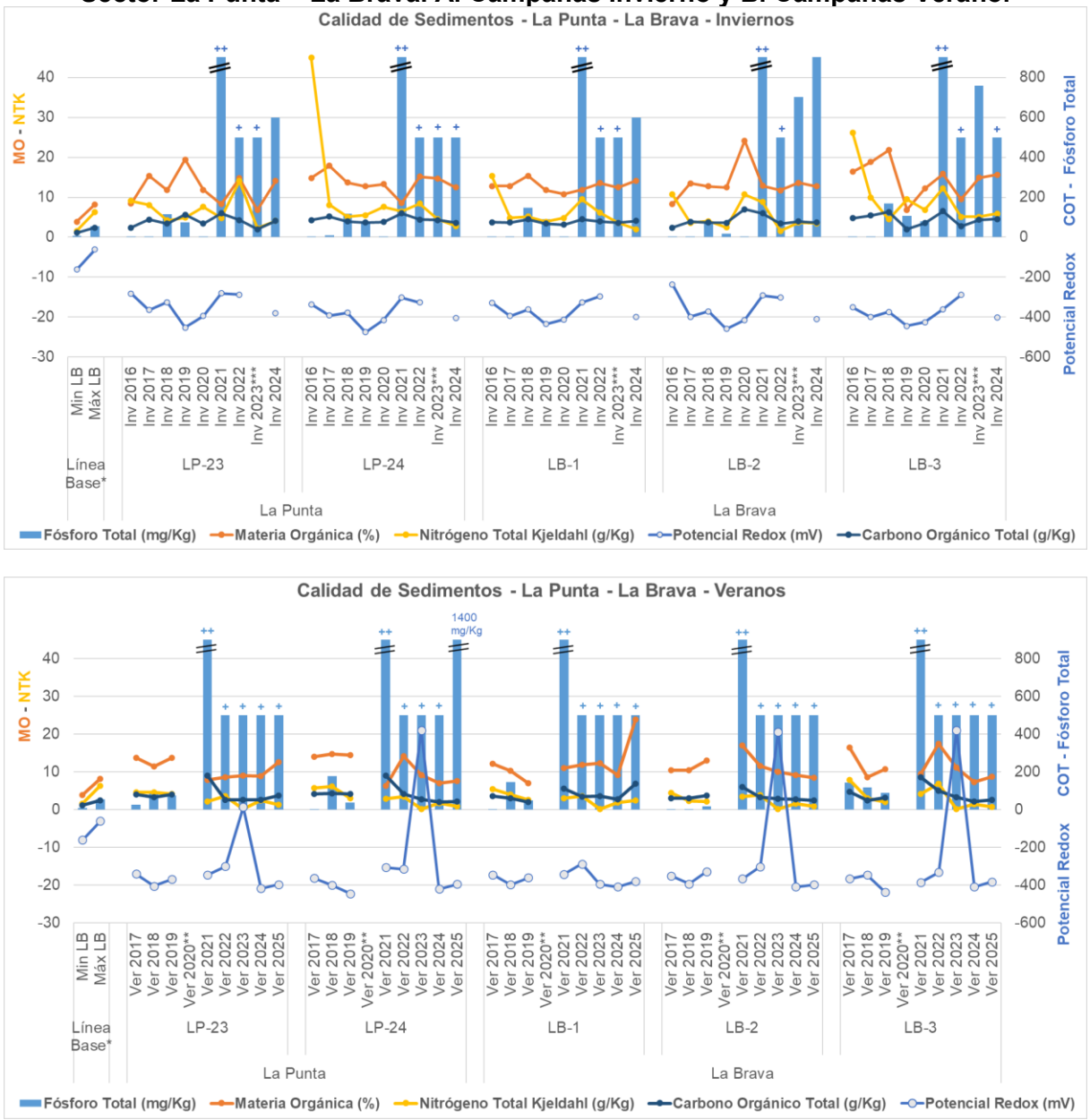
Es importante destacar que, en el caso del sedimento, sólo se efectuó una campaña de levantamiento de datos en verano de 2015 para la elaboración de la LB, por lo que los desvíos con respecto a dichos datos pueden deberse a la variación natural de los sistemas.

Los resultados descritos para las estaciones de **La Punta y La Brava**, para los parámetros de carbono orgánico total (COT), materia orgánica (MO) y fósforo total, muestran en general valores sobre el máximo registrado para la línea base (PMB), no observándose una tendencia clara a aumentar o disminuir los valores de estos parámetros, tanto temporal como espacialmente. En el caso del carbono orgánico total (COT) (entre 39,21 y 140,14 g/kg) y materia orgánica (entre 6,32 y 24,16%) tienen un comportamiento similar y en general presentaron altos valores (por sobre la LB de verano), siendo más variables estos parámetros en las estaciones de laguna La Brava durante las campañas de verano (**Figura N° 13-102**). Tales características del sedimento se relacionan con la actividad biológica, dado por los subproductos orgánicos e inorgánicos de microorganismos halofílicos.

Cabe mencionar que los registros de fósforo total en las campañas 2021 todos fueron <1000 mg/Kg (límite de detección) y a partir de la campaña verano 2022 todos los registros correspondieron a <500 mg/Kg (límite de detección actual). En el caso del Nitrógeno Total Kjeldahl (g/Kg), este se encontró en las campañas de verano dentro de los límites de la LB de referencia y en las campañas de invierno se registró con mayor variación y generalmente por sobre los límites de la LB (**Figura N° 13-102**).

El potencial redox en todas las estaciones presentó características reductoras con valores negativos en todas las estaciones y monitoreos de invierno (entre -475,1 y -235,7 mV), registrándose valores más negativos durante el monitoreo de invierno 2019, lo cual se relaciona directamente con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos. En verano, el potencial redox en la mayoría de las estaciones y monitoreos presentó características reductoras con valores negativos, exceptuando en la campaña de verano 2023 donde se registraron valores positivos que indican sedimentos que favorecen reacciones oxidativas (**Figura N° 13-102**). Cabe mencionar que en general los parámetros de calidad de sedimentos registrados han mostrado mayoritariamente valores fuera del rango de la línea base desde la primera medición del Plan de Manejo Biótico, evidenciando que tales valores se corresponden con ambientes acuáticos alcalinos con ocurrencia de biota, con altas concentraciones de sales y con materia orgánica en su sedimento recalcitrante a su degradación.

Figura N° 13-102. 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. El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1000 mg/kg (++) y desde invierno 2022 en adelante de 500 mg/kg (+), siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/kg. (*) Registro de Línea Base solo en verano 2015. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (***) En invierno 2023 no se incluye en la entrega de resultados el parámetro potencial óxido-reducción (explicado en la Carta R06/2024 de la ETFA).

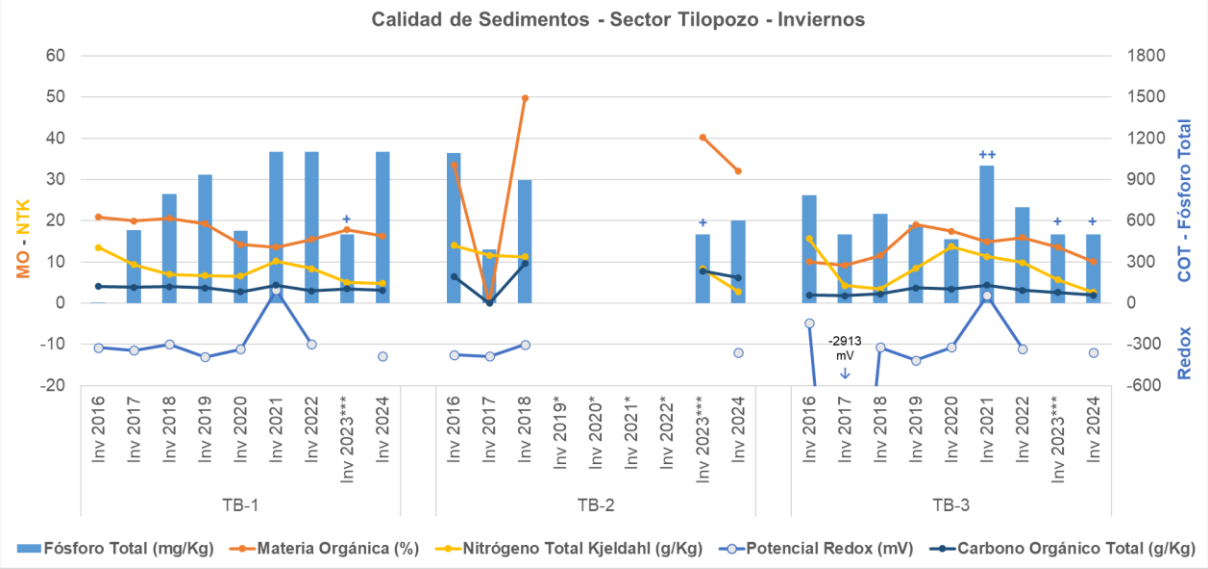
El sector de **Tilopozo** no posee registros en la LB respecto del componente calidad de sedimentos, por lo que se analiza su variación en el tiempo con los registros de los monitoreos de invierno y verano. En las estaciones de este sector, se registraron por lo general elevados valores para los parámetros de carbono orgánico total (de 53,3 hasta 288,5 g/kg) y materia orgánica (entre 8,76% y 49,74%) y altos valores en fósforo total (mayoritariamente entre 392 y 1800 mg/Kg). Por su parte el potencial óxido-reducción presentó valores negativos indicando características reductoras de los sedimentos en la mayoría de los monitoreos de invierno y verano, exceptuando en invierno 2021 y verano 2018 donde se registraron valores positivos (indicativo que se favorecen reacciones oxidativas). Esto puede estar relacionado con la ubicación del sector de Tilopozo respecto al núcleo del Salar permitiendo condiciones menos sulfatadas en los sedimentos y más oxidativas.

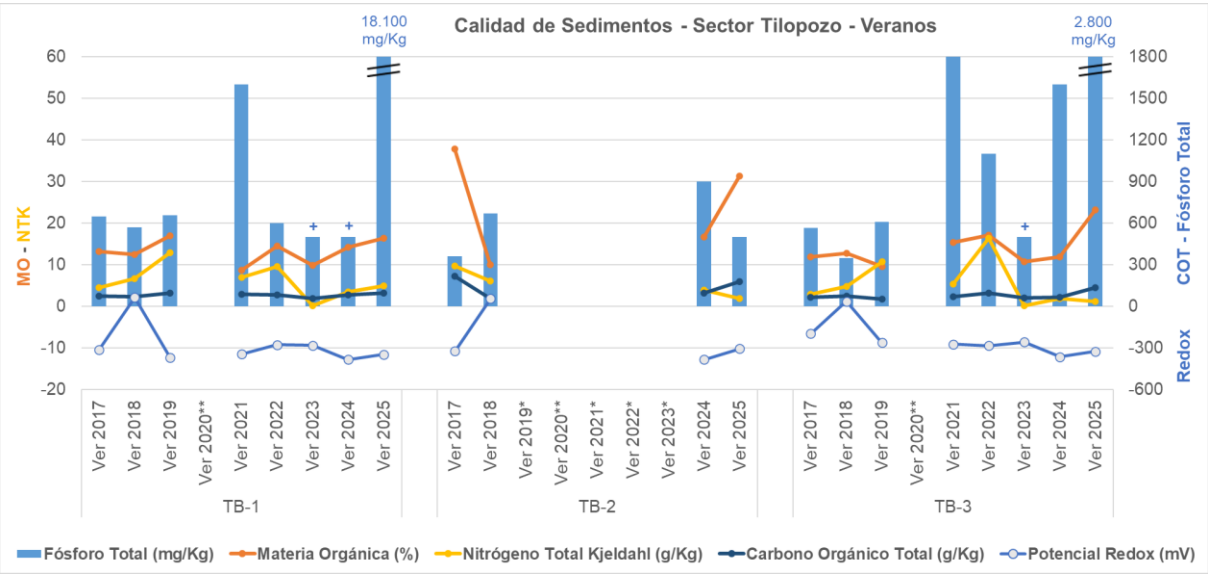
Cabe mencionar, que los registros de carbono orgánico total y materia orgánica tuvieron mayor variabilidad en TB-2, lo cual se relaciona con que esa estación se ubica en una zona inundada (vega) constituyendo un pajonal hídrico de baja profundidad, el cual ha variado su condición hídrica (en las campañas de invierno de 2019, 2020 y 2021 y verano 2019 y 2021 se encontró sin agua superficial). Por su parte, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a pozas de <2 m de profundidad, respectivamente, de modo que se favorece en estas últimas la acumulación de compuestos orgánicos en sus sedimentos. En estas pozas, se registraron altos valores en fósforo total en invierno (la gran mayoría sobre los 392 mg/kg), exceptuando en TB-1 en invierno 2016 con un valor bajo el límite de detección, mientras que las concentraciones más altas de fósforo se registraron en verano 2021 (1800 mg/kg), para luego disminuir en verano 2022 y 2023, y aumentar nuevamente a 1600 mg/kg en verano 2024.

Las concentraciones de Nitrógeno Total Kjeldahl han sido variables principalmente en verano, alcanzando un máximo de 16,38 g/Kg en TB-3 en verano 2022 y un mínimo de 0,13 g/Kg en TB-1 en verano 2023, observándose tanto en la estación TB-1 como en TB-3 un incremento de los valores desde verano 2017 al 2019, descender en 2021 para incrementarse nuevamente en 2022, luego descender al mínimo en 2023 y finalmente incrementarse levemente en 2024 (**Figura N° 13-103**).

Respecto a la granulometría, para los inviernos 2017, 2018 y 2021 se tiene registros, los cuales para este sector se encontraron mayoritariamente diámetros medios de *Arena Muy Fina* a *Grava Muy Fina*, con un grado de selección de Muy pobremente seleccionado a Bien seleccionado (Ver en Informes Semestrales N°3, N°5 y N°11).

Figura N° 13-103. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.





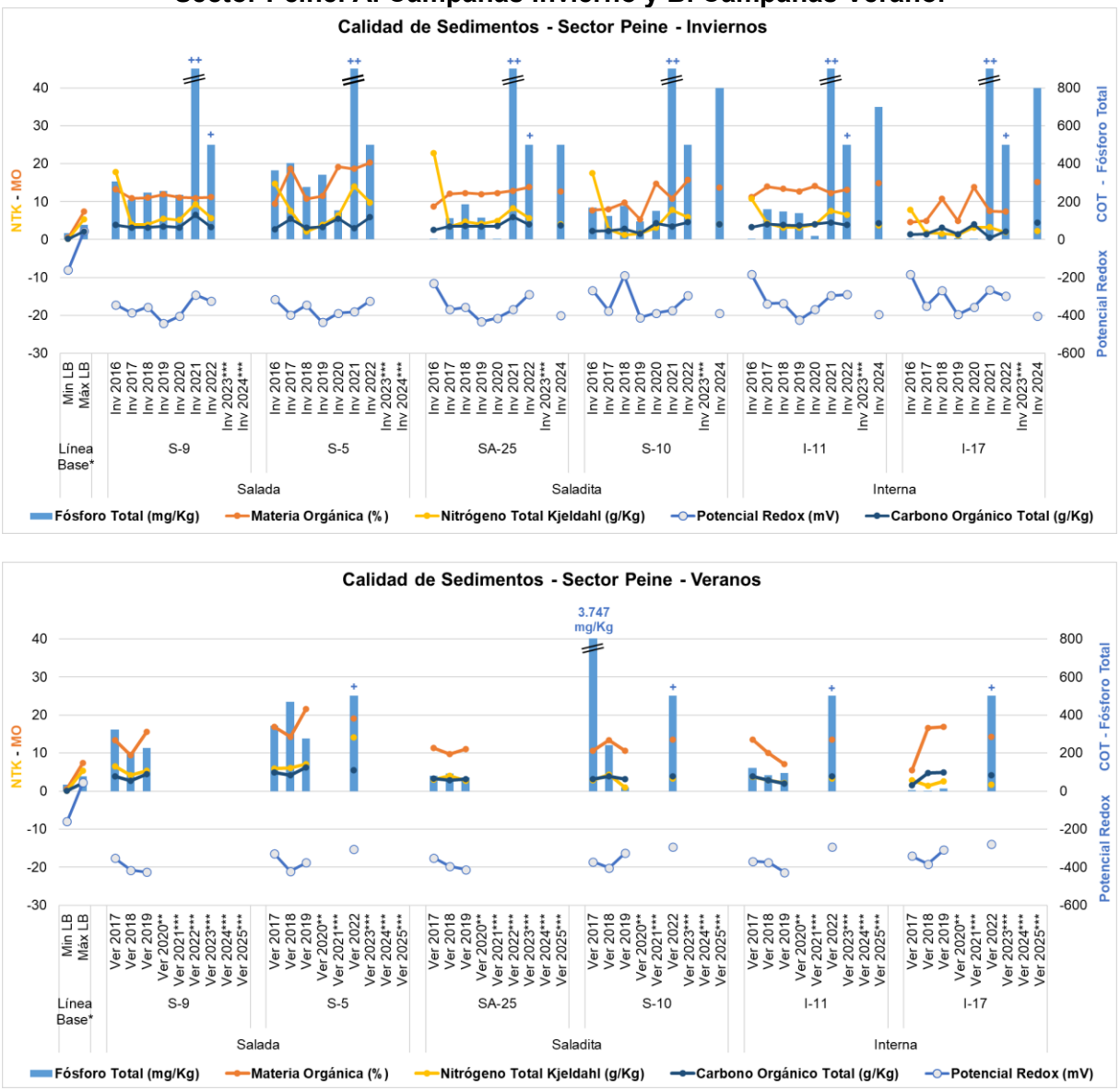
Fuente: Elaboración propia. El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno 2021 fue de 1000 mg/kg (++) y desde invierno 2022 en adelante de 500 mg/kg (+), siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/kg. (*) La estación TB-2 en los inviernos de 2019, 2020 y 2021 y veranos de 2019 y 2021 se encontró sin agua al momento del muestreo y en invierno 2022 y los veranos de 2022 y 2023, no fue posible obtener las muestras de sedimentos en esa estación debido a la compactación y entramado de raíces del terreno. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (***) En invierno 2023 no se incluye en la entrega de resultados el parámetro potencial óxido-reducción (explicado en la Carta R06/2024 de la ETFA).

Los resultados obtenidos para la calidad de sedimentos en los monitoreos de invierno y verano para el sector **Peine** (laguna Salada, Saladita e Interna), muestran que los parámetros de carbono orgánico total (entre 10 y 130 g/Kg), materia orgánica (de 4,57 a 21,61%) y fósforo total (<0,5 a 3747 mg/Kg), presentaron por lo general valores sobre el máximo registrado para la LB (**Figura N° 13-104**). En el caso de la materia orgánica y COT, están relacionados directamente con actividad biológica, dado por los subproductos orgánicos e inorgánicos de microorganismos halofílicos, que por lo demás pueden afectar la morfología, cinética de precipitación y ocurrencia de minerales de evaporitas que se forman en estos sistemas. Aunque los sedimentos son relativamente ricos en materia orgánica, gran parte de esa materia orgánica es aparentemente recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica (Javor, 1989). El contenido de fósforo puede deberse a la misma razón.

Cabe mencionar que los últimos registros de verano e invierno 2022, todos corresponden a <500 mg/Kg (límite de detección actual), no observándose en las campañas anteriores una tendencia clara a aumentar o disminuir el contenido de fosforo, temporal y espacialmente. En el caso del nitrógeno total Kjeldahl, se observa que en todas las estaciones disminuye su concentración desde invierno 2017, manteniéndose en valores bajo los 7 g/Kg, para luego aumentar principalmente desde invierno 2020.

Respecto al potencial redox, este indicó valores de ambientes con características reductoras en todas las estaciones y monitoreos de invierno y verano (entre -442,2 y -182,6 mV), registrándose valores más negativos principalmente durante el monitoreo de invierno 2019. Esto se relaciona directamente con que los sedimentos de esta zona marginal del Salar (que rodea el núcleo), corresponden a sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos, especialmente yeso (Alonso y Risacher 1996).

Figura N° 13-104. Variación temporal de parámetros de calidad de sedimentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. El límite de detección para el Fósforo Total en sedimentos para el invierno y verano 2021 fue de 1000 mg/kg (++) y desde invierno 2022 en adelante de 500 mg/kg (+), siendo que en reportes anteriores de invierno correspondía a 0,5 mg/kg. (*) El registro de Línea Base solo se realizó en verano 2015. (**) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19. (***) En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023, verano 2024, parte de invierno 2024 y verano 2025, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

13.5.2.3 Biota acuática

Para el análisis comparativo entre línea de base y monitoreo de la biota acuática, se consideró la comparación de la riqueza y la abundancia total con los rangos de variación (mínimo y máximo) de la línea de base (en adelante LB) contemplados en el Plan de Manejo Biótico. Para ello se utiliza la data de línea de base de los periodos de septiembre 2008, 2013, y julio 2014 como periodo de invierno y los periodos de abril 2014 y febrero 2015 como periodo de verano. Estos datos de LB serán comparados con lo detectado en las respectivas campañas de monitoreo invierno 2016 (M1), 2017 (M3), 2018 (M5), 2019 (M7), 2020 (M9), 2021 (M11), 2022 (M13), 2023 (M15) y 2024 (M17). Por otro lado, se compararán las campañas de monitoreo verano de LB, con las respectivas campañas de monitoreo de verano 2017 (M2), 2018 (M4), 2019 (M6), 2021 (M10), 2022 (M12), 2023 (M14), 2024 (M16) y 2025 (M18).

Cabe señalar que, la campaña de verano 2020 (M8) no se pudo realizar producto de la pandemia COVID-19 y para las campañas de verano 2021, parte de la campaña de verano 2022, verano 2023, invierno 2023, verano 2024, invierno 2024 y verano 2025 no se obtuvieron datos de monitoreo para el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).

También 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.**

13.5.2.3.1 Fitobentos

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 2024 y línea de base (periodos de invierno) y campaña verano 2025 y línea de base (periodos de verano), se observó que los registros fueron similares solo para la riqueza en el periodo estacional de verano y variables en periodos de invierno. En cambio, los registros para la abundancia fueron variables, tanto en invierno como en verano y se mantuvieron por sobre el rango de variación de la LB.

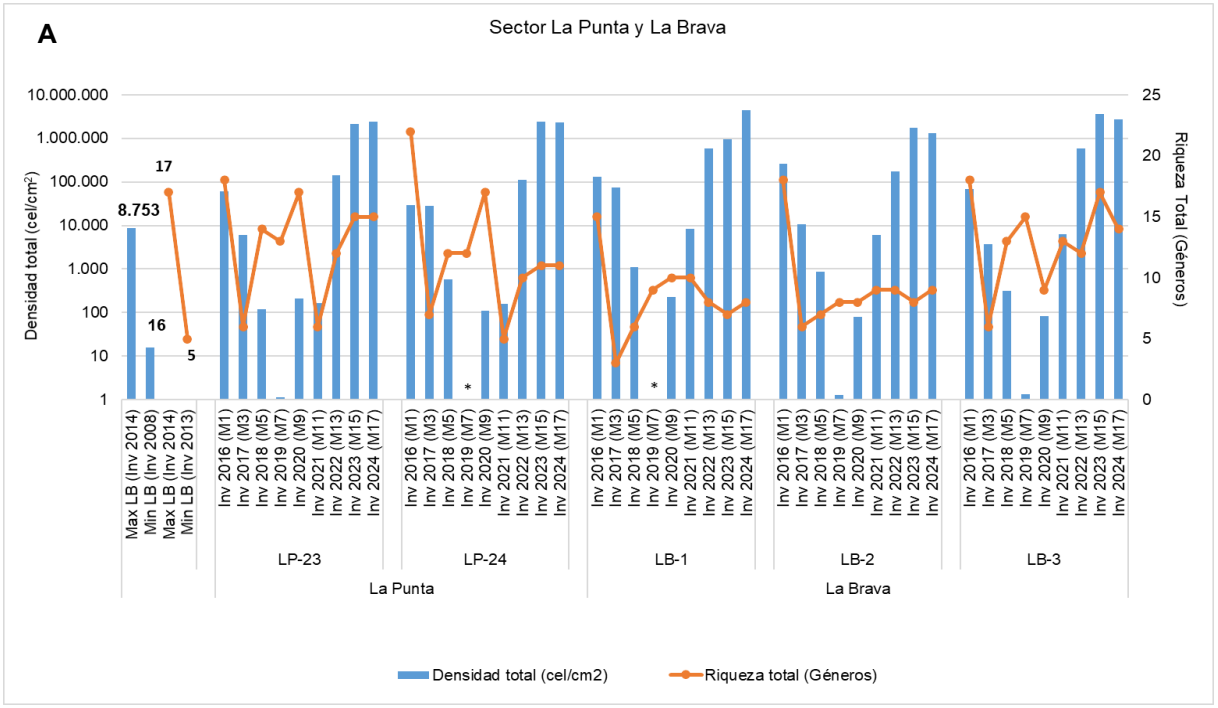
En invierno 2024, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado estuvo contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 8; Max 15) en invierno 2024 versus (Min 5; Max 17) en periodos de invierno LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en invierno 2024, todos los registros estuvieron por sobre lo observado en la LB. Rango (Min 1.323.805; Max 4.485.000) en invierno 2024 versus (Min 16; Max 8.753) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-105 A**).

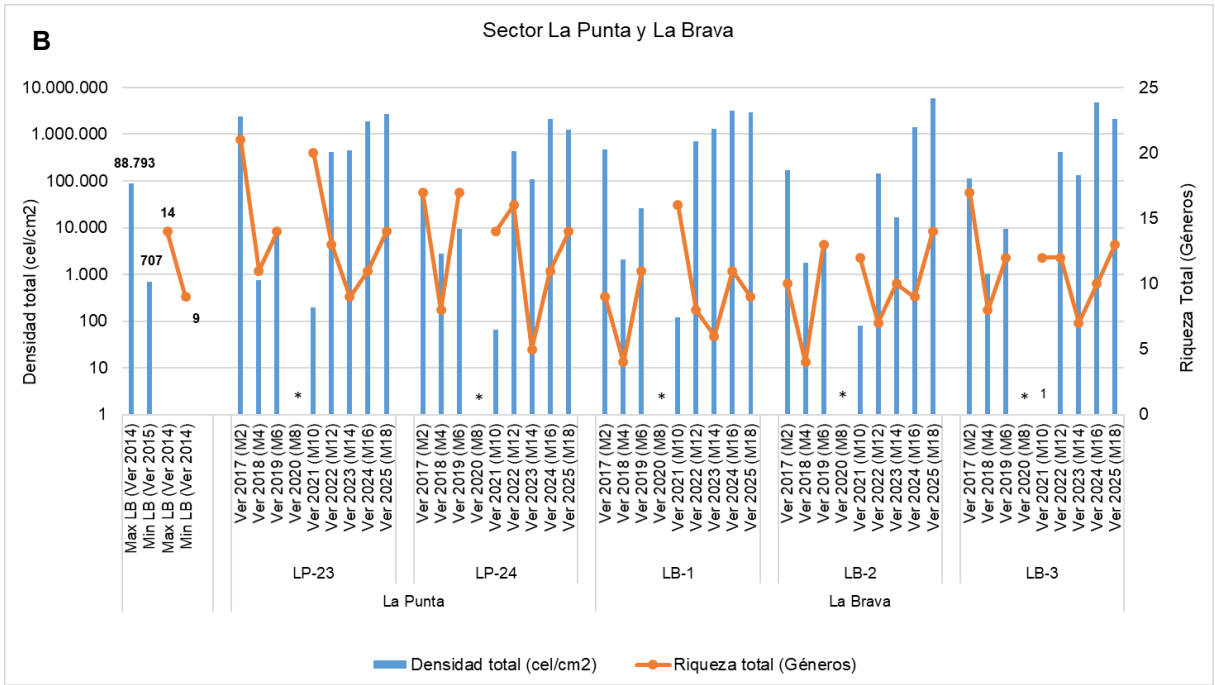
En verano 2025, el valor mínimo de riqueza de géneros detectado con 9 géneros fue similar al límite mínimo de la LB, en tanto, el máximo (14 géneros) estuvo contenido dentro del rango de variación de la LB en periodos de verano (Min 9; Max 14). La riqueza en verano 2025 presentó

todos los valores dentro del rango de variación de la LB. Cabe señalar que los registros de riqueza han sido oscilantes en el tiempo, presentando en verano 2018 valores por debajo del límite mínimo de la LB, en las estaciones LB-1 y LB-2 y valores por sobre el límite máximo de la LB en verano 2017 y 2021 en LP-23 y verano 2021 en LB-1 (**Figura N° 13-105 B**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada en verano 2025 (Min 1.271.324; Max 5.885.250), todos los valores registrados estuvieron por sobre el valor máximo de LB en periodos de verano (Min 707; Max 88.793) (**Figura N° 13-105 B**). Desde verano 2021 al 2023, las abundancias aumentaron en todas las estaciones de monitoreo del sector. Sin embargo, durante el verano 2024 y 2025, el incremento se mantuvo únicamente en las estaciones LP-23 (La punta) y LB-2 (La Brava), siendo esta última la que registró la mayor abundancia registrada a la fecha.

Figura N° 13-105. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.





(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con las mayores representatividades a nivel de géneros fitobentónicos, invierno y verano en el tiempo en el sector **La Punta-La Brava**, se detectó que los registros fueron recurrentes para algunos géneros, entre periodos estacionales de invierno y verano y la LB.

Respecto a los géneros, se observó que las diatomeas *Denticula* y *Halamphora* presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2024, mientras que *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno. De la misma manera las diatomeas *Denticula* y *Halamphora* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2025, mientras que, *Denticula*, *Amphora* (ambas diatomeas) y *Oscillatoria* (cianobacteria), presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de verano (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

El Sector **vegas de Tilopozo** no presenta antecedentes de línea de base para fitobentos, por lo tanto, su seguimiento y variación fue evaluada en relación con las campañas de monitoreo anteriores considerando el mismo periodo estacional. Cabe señalar que, la estación TB-2 en verano 2019 y 2021 no fue detectada agua superficial por lo que no presenta registro.

En periodos de invierno, los registros de riqueza de géneros entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 presentaron diferencias, observándose mayores valores en invierno 2016 y 2021 y los menores en invierno 2017. Específicamente en las estaciones TB-1, TB-2 y TB-3 se observó un alto valor de riqueza en invierno 2016 y en TB-1 en invierno 2021. Rango (Min 11; Max 12) en invierno 2016; (Min 3; Max 6) en invierno 2017; (Min 3; Max 9) en invierno 2018; (Min 0; Max 7) en invierno 2019; (Min 6; Max 10) en invierno 2020; (Min 6; Max 20) en invierno 2021; (Min 4; Max 7) en invierno 2022; (Min 4; Max 8) en invierno 2023 y (Min 4; Max 9) en invierno 2024 (**Figura N° 13-106 A**).

Respecto de los periodos de verano, los registros de la riqueza de géneros observada en los veranos del período 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025 fueron variables, observándose los mayores valores en verano 2017 y 2019. Cabe resaltar que la estación TB-1 presentó altos registros de riqueza de géneros, con valores que oscilaron entre 5 y 12 géneros, con un valor máximo registrado en verano 2017. En tanto, la estación TB-2 mostró valores máximo y mínimo de 14 y 3 géneros en verano 2017 y 2025 respectivamente. Cabe señalar que los veranos de 2019 y 2021 la estación se encontró sin agua superficial. Por último, TB-3 presentó valores que oscilaron entre 2 y 12 géneros, habiendo sido registrados los valores extremos en verano 2018 y 2019, respectivamente. En general en el sector, se han registrado entre periodos de verano: Rango (Min 9; Max 14) en verano 2017, (Min 2; Max 6) en verano 2018, (Min 10; Max 12) en verano 2019, (Min 8; Max 8) en verano 2021, (Min 5; Max 8) en verano 2022, (Min 5; Max 9) en verano 2023, (Min 5; Max 8) en verano 2024 y (Min 3; Max 11) en verano 2025 (**Figura N° 13-106 B**).

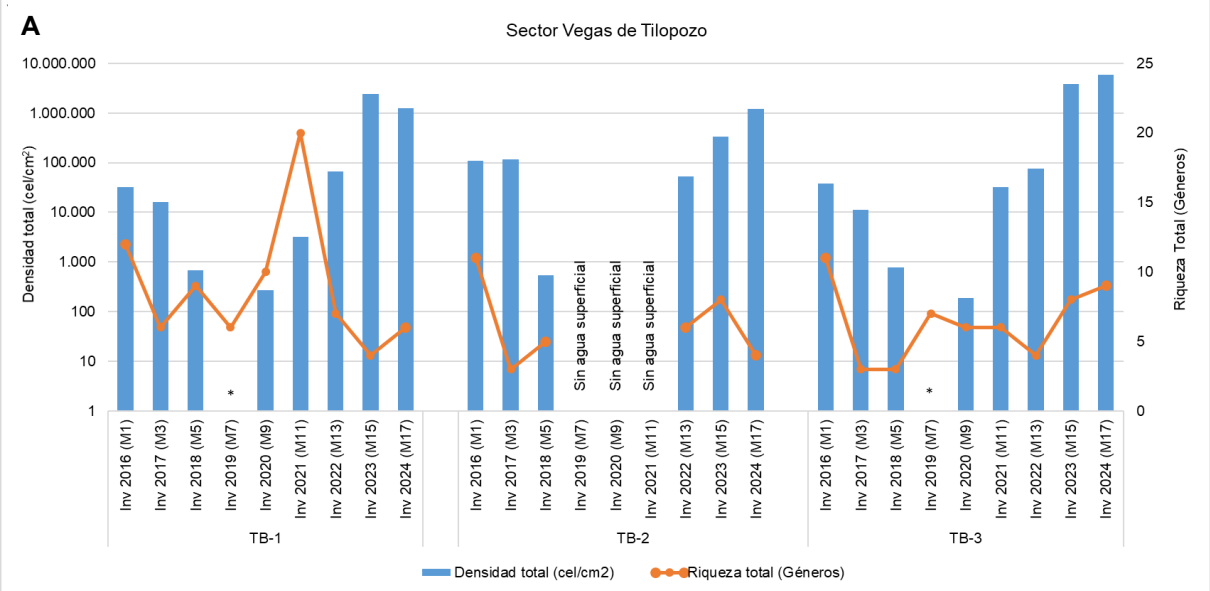
Así mismo, el rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 presentó diferencias, con

valores mucho menores en invierno 2019. En general, la abundancia ha presentado una disminución en el tiempo hasta la campaña de invierno 2020, posterior a esta se ha observado un aumento de la abundancia en todas las estaciones de monitoreo, siendo mayores en la campaña de invierno 2024, con excepción de la estación TB-1. Rango (Min 32.466; Max 108.899) en invierno 2016; (Min 11.064; Max 117.068) en invierno 2017; (Min 543; Max 753) en invierno 2018; (Min 0; Max 0,61) en invierno 2019; (Min 0; Max 273,07) en invierno 2020; (Min 3.221; Max 31.650) en invierno 2021; (Min 53.400; Max 74.700) en invierno 2022; (Min 334.487; Max 3.805.568) en invierno 2023 y (Min 1.209.063 ; Max 5.812.500) en invierno 2024 (**Figura N° 13-106 A**).

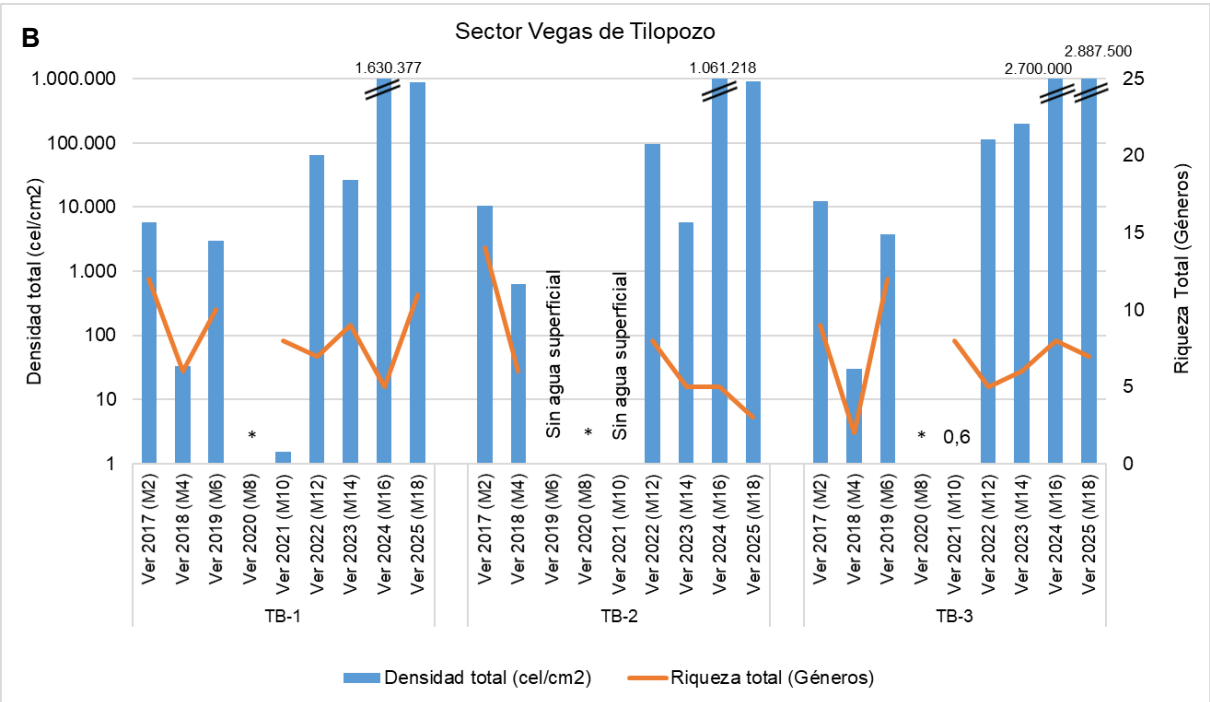
Por otro lado, en periodos de verano, la abundancia presentó diferencias entre campañas de monitoreo de verano, siendo menores en verano 2021 y mayores en verano 2024, a excepción de la estación TB-3 que obtuvo el mayor registro a la fecha. Cabe resaltar que la estación TB-1 presentó registros de abundancia, con valores que oscilaron entre 1,54 y 1.630.377 cel/cm^2, con un valor máximo registrado en verano 2024. En tanto, la estación TB-2 mostró valores intermedios de abundancia con un mínimo de 626 cel/cm^2 en verano 2018 y 1.061.218 cel/cm^2 en verano 2024. Los veranos 2019 y 2021 la estación se encontró sin agua superficial. Por último, TB-3 presentó valores que oscilaron entre 0,6 y 2.887.500 cel/cm^2 registradas en verano 2021 y 2025 respectivamente.

En general en el sector, se han registrado entre periodos de verano: Rango (Min 5.709; Max 12.480) en verano 2017, (Min 30; Max 626) en verano 2018, (Min 3.008; Max 3.724) en verano 2019; (Min 63.861; Max 111.750) en verano 2022; (Min 5.796; Max 196.653) en verano 2023, (Min 1.061.218; Max 2.700.000) en verano 2024 y (Min 921.375; Max 2.887.500) en verano 2025. Cabe destacar que la estación TB-2 en verano 2019 y 2021, no fue detectada agua superficial por lo que no presenta registro (**Figura N° 13-106 B**).

Figura N° 13-106. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



* Valores con órdenes de magnitud menor a 1 cel/cm^2.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

En el sector **vegas de Tilopozo**, las dominancias en el fitobentos fueron variables entre campañas de monitoreo y entre estaciones de muestreo presentando diferencias entre microalgas dominantes.

En invierno 2016 y 2017 se observó una alta predominancia de cianófitas (*Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*) y zygnematoficea (*Mougeotia*) en las estaciones de las vegas. En invierno 2018 las dominancias estuvieron representadas por las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula*, mientras que en invierno 2019 dominaron las diatomeas *Nitzschia* y *Diploneis*. En invierno 2020 dominaron las diatomeas *Fragilaria* y *Nitzschia,* en invierno 2021 dominaron las diatomeas *Pseudostaurosira* y *Nitzschia*, en invierno 2022 las diatomeas *Cocconeis* y *Nitzschia*. En invierno 2023 dominaron las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula*. Por último, en invierno 2024 dominaron las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis*.

Por otra parte, en el periodo de verano, entre estaciones de muestreo fueron observadas diferencias entre microalgas dominantes, siendo recurrentes en el tiempo algunos géneros como *Denticula*, *Nitzschia* y *Cocconeis*. En verano 2017 se observó una alta predominancia de la diatomea *Denticula*, la cianófita *Oscillatoria* y la clorófita *Mougeotia*, en tanto en verano 2018 dominaron las diatomeas *Craticula*, *Nitzschia* y *Cocconeis*. En tanto en verano 2019, las dominancias estuvieron representadas por las diatomeas *Nitzschia*, *Achnanthidium* y *Cocconeis* y en verano 2021 las mayores representatividades fueron para las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis*. En tanto, en verano 2022 las dominancias estuvieron dadas por las diatomeas *Cocconeis* y *Nitzschia*, en cambio, en verano 2023 por *Nitzschia* y *Fragilaria*. En verano 2024 las diatomeas *Denticula* y *Cocconeis.* Por último, en verano 2025 las diatomeas *Cocconeis* y *Denticula* tuvieron las mayores representatividades. (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

En relación con el fitobentos, en el **sector Peine** el rango de variación detectado en invierno 2024 presentó un mínimo y máximo de riqueza de géneros contenido dentro de lo observado en la LB. Rango (Min 3; Max 7) en invierno 2024 versus (Min 2; Max 14) en periodos de invierno LB. En tanto, el rango de variación mínimo y máximo para la abundancia total detectada en invierno 2024, presentó valores con un valor máximo en todas las estaciones de Peine, sobre lo observado en el tiempo considerando LB y en la mayoría de los monitoreos. En invierno 2024, las estaciones S-10 (Salada), I-11 (interna) y I-17 (interna) presentaron los registros máximos. Rango (Min 489.935; Max 3.905.357) en invierno 2024 versus (Min 47; Max 6.787) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-107 A**).

Además, en las estaciones del sector Peine, si bien para la riqueza se observó una tendencia variable en el tiempo, para la abundancia esta tendencia ha ido en aumento desde invierno 2020, observándose valores similares o mayores a los registrados a la fecha para cada estación de monitoreo.

Cabe señalar que, para la campaña invierno 2023 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos. De igual manera, en la campaña invierno 2024, no fue posible acceder a las estaciones S-9 y S-5 por la misma razón.

Entre campañas de monitoreo en periodo de verano, se ha observado un rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros en un rango más amplio que lo observado en la LB, con un Rango (Min 4; Max 17) entre periodos de verano monitoreos versus (Min 6; Max 14) en periodos de verano LB. Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada entre monitoreos de verano, se observó que han presentado registros por sobre lo observado en la LB, en su límite máximo. Rango (Min 346 cel/cm^2; Max 180.313 cel/cm^2) versus (Min 123 cel/cm^2; Max 61.190 cel/cm^2) en periodos de verano LB (**Figura N° 13-107 B**).

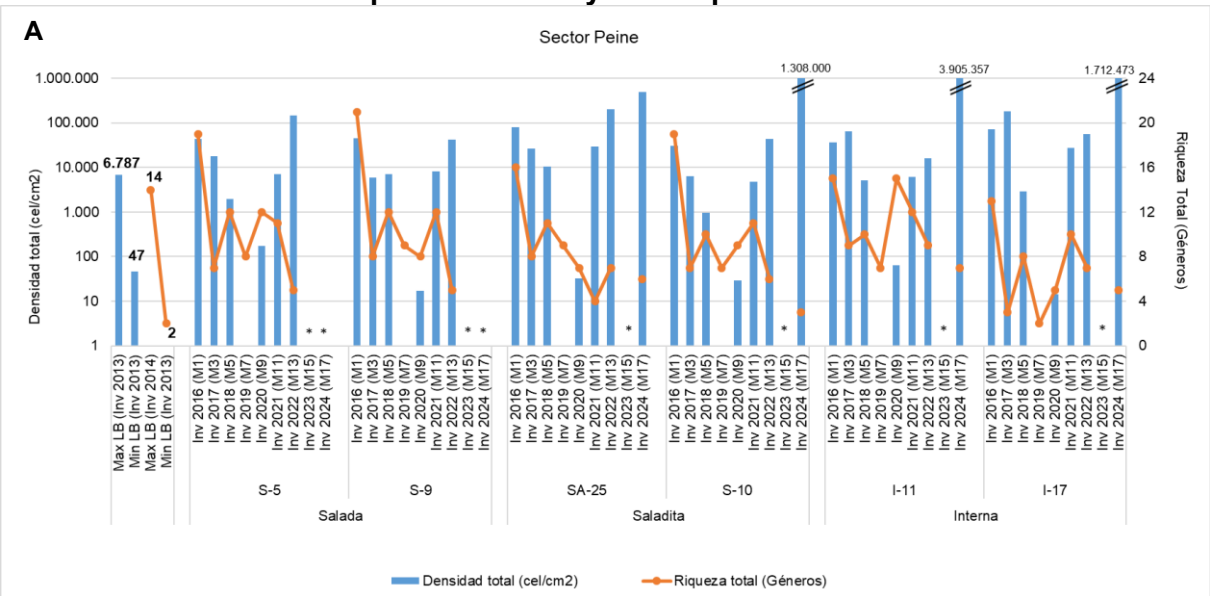
Respecto de las restantes campañas de verano, han presentado una alta variabilidad en los registros de abundancia y riqueza, los cuales no se han conservado dentro de los valores obtenidos para la LB. Se debe considerar, además, que las campañas de verano 2020, no fue monitoreada por ocurrencia de la pandemia COVID-19, y las campañas 2021, 2023, 2024 y 2025, porque no se pudo acceder al sector.

En relación con los géneros que presentaron la mayor representatividad en periodo de invierno 2024, se observó que *Denticula* y *Halamphora* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias, diferente a lo mostrado en la LB para periodos de invierno. En la LB se observó la alta dominancia de las diatomeas *Achnanthes*, *Nitzschia* y *Navicula*.

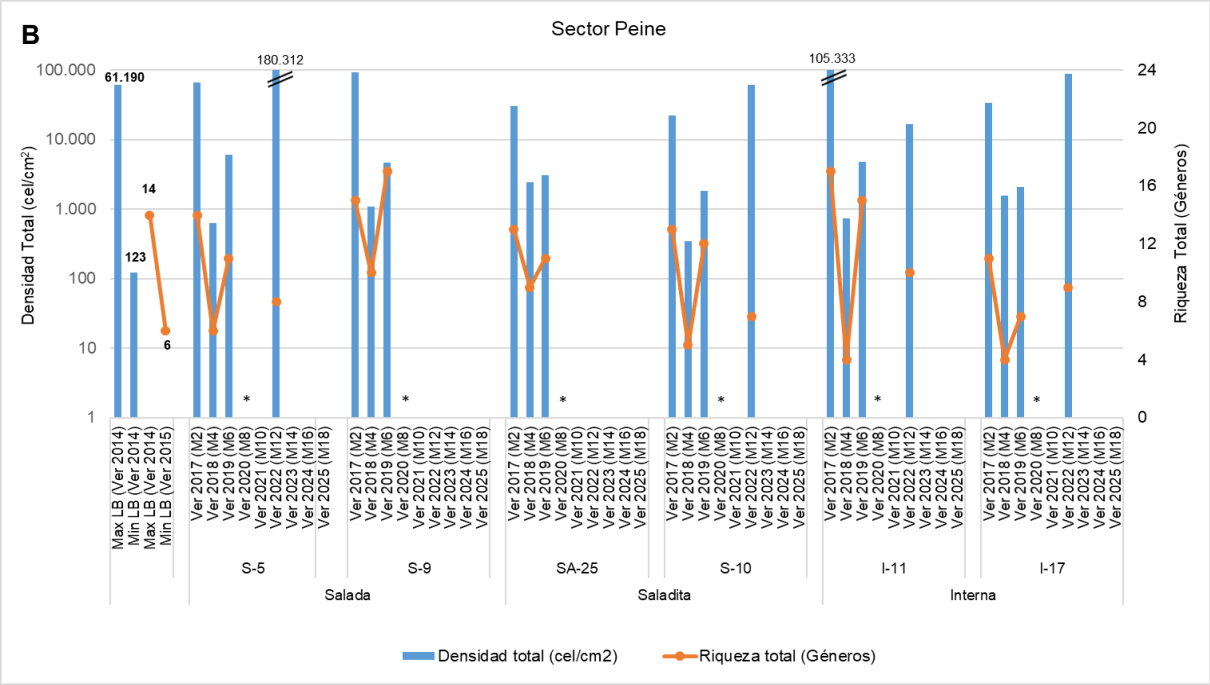
En tanto, en periodos de verano se observó que las diatomeas *Halamphora, Denticula, Navicula* y *Nitzschia* (todas diatomeas) y *Oscillatoria* (cianobacteria) presentaron las mayores dominancias, mientras que, *Diatoma*, *Amphora, Navicula* y *Achnanthes,* todas diatomeas, presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de verano (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos – Calidad de Agua**).

La variabilidad en las dominancias entre monitoreos, en general, se relacionan con las condiciones de hábitat al momento del muestreo. Sin embargo, los géneros consignados son *taxa* de ambientes halófilos. Finalmente, hay que destacar que para todos los monitoreos de invierno como de verano, la dominancia en el sector Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson *et al*.1996).

Figura N° 13-107. Rango de variación temporal para el fitobentos del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) En la campaña invierno 2023, no se realizó muestreo en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19: Para la campaña estival 2021, 2023, 2024 y 2025 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos. En la campaña verano 2022, no se tuvo acceso a las estaciones de laguna Salada (S-9) y de la laguna Saladita (SA-25). Fuente: Elaboración propia.

13.5.2.3.2 Fitoplancton

Dado que las microalgas fitoplanctónicas están constituidas por géneros y especies similares a las microalgas bentónicas presentan respuestas biológicas y una estructura y composición variable temporal y espacialmente, moduladas por las mismas forzantes que afectan a los ensambles 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 (La Punta y La Brava, Vegas de Tilopozo y Peine) se reportó la alta frecuencia y dominancia de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas). En tanto, respecto de los géneros frecuentes y dominantes reportados i.e. *Denticula*, *Haloroundia*, *Cocconeis*, *Halamphora*, *Nitzschia* y *Navicula* (de estos últimos géneros solo algunas especies), todas correspondieron a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos (que se distribuyen a un ámbito geográfico reducido) (Maidana & Seeligmann 2015; Rivera & Cruces 2009).

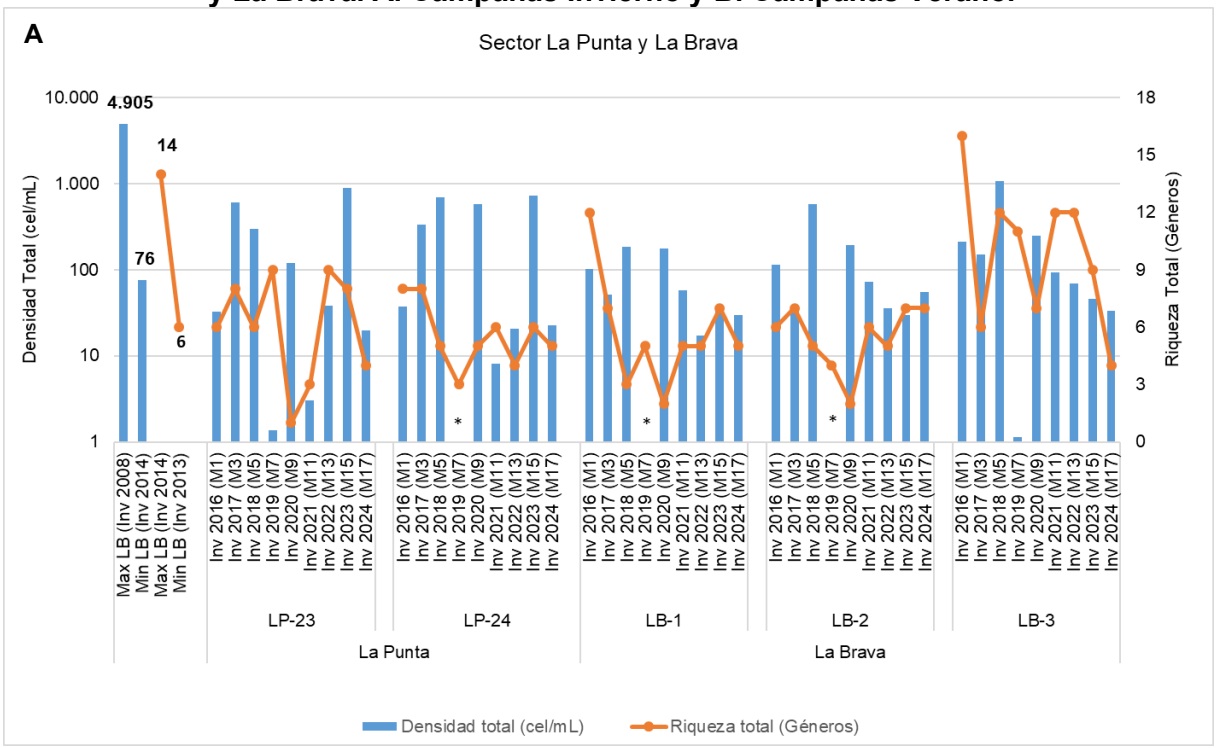
En el **sector La Punta y La Brava**, para la riqueza de géneros registrada durante la campaña de monitoreo invierno 2024, en comparación con los valores de LB (periodos de invierno), fue menor, con excepción de la estación LB-2, cuyos valores se mantuvieron dentro del rango observado en LB. En tanto, la abundancia total presentó valores menores a lo consignado en el rango de variación la LB, con bajos registros en todas las estaciones de La Punta y La Brava.

Para el periodo de invierno, el rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros detectado en invierno 2024 presentó un rango fuera de lo observado en la LB. Rango (Min 4; Max 7) en invierno 2024 versus (Min 6; Max 14) en periodos de invierno LB. Las estaciones LP-23, LP-24 (La Punta) y LB-1, LB-2, LB-3 (La Brava) tuvieron abundancias por debajo del valor mínimo de la LB (**Figura N° 13-108 A**).

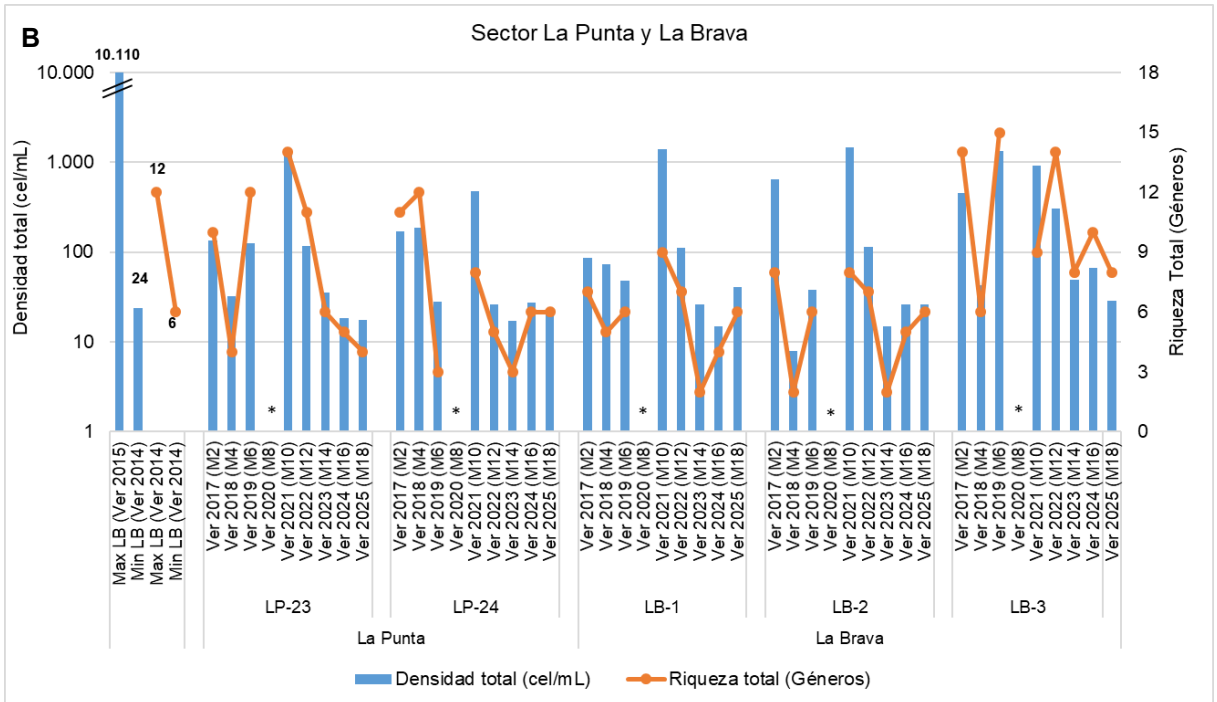
El rango de variación de riqueza de géneros detectado en verano 2025 (Min 4; Max 8), fue menor a lo observado en la Línea Base en periodos de verano (Min 6; Max 12). Cabe señalar que durante la campaña de verano de 2025 la estación LP-23 (La Punta), presentó una riqueza de 4 géneros, registro que estuvo por debajo del mínimo de Línea Base. Respecto del rango de variación para la abundancia detectada en verano 2025, estuvo dentro de lo observado en el período de verano de la Línea Base (Min 24; Max 10.110) en tres estaciones de monitoreo (LB-1, LB-2 y LB-3), con un rango Min 26 y Max 41. Las estaciones LP-23 y LP-24 (La Punta), en tanto, presentaron registros por debajo del límite mínimo de la LB (**Figura N° 13-108 B**).

Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano, se observó que para la riqueza fueron similares y para la abundancia los registros fueron menores en verano, exceptuando la estación LB-1.

Figura N° 13-108. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



* Valores con órdenes de magnitud menor a 1 cel/mL.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.Fuente: Elaboración propia.

En relación con las mayores representatividades a nivel de géneros fitoplanctónicos, invierno y verano en el tiempo en el sector **La Punta-La Brava**, se detectó que los registros fueron diferentes, entre las campañas de monitoreo y la LB.

Respecto a los géneros en periodo de invierno, se observó que las diatomeas *Navicula* y *Nitzschia* y *Denticula* (todas diatomeas) presentaron las mayores dominancias en la campaña de invierno 2024, los cuales también fueron los géneros dominantes en la LB para periodos de invierno. En periodo de verano, se observó que las diatomeas *Denticula* y *Halamphora* presentaron las mayores dominancias en la campaña de verano 2025, mientras que las clorofíceas *Chlamydomonas* y *Botryococcus* y las diatomeas *Proschkinia*, *Cymbella* y *Denticula*, presentaron las mayores dominancias en la Línea Base y además en los monitoreos para periodos de verano. Los registros de mayores representatividades de los géneros para invierno y verano son mostrados en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**.

Cabe destacar que, para ambos monitoreos, así como para la línea de base del fitoplancton en el sector La Punta y La Brava, la dominancia fue mayoritariamente para la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson *et al.*1996).

El Sector **vegas de Tilopozo** no presenta antecedentes de línea de base para fitoplancton, por lo tanto, su seguimiento y variación fue evaluada en relación con las campañas de monitoreo anterior considerando el mismo periodo estacional. Cabe señalar que la estación TB-2 no presentó agua superficial en las campañas de invierno 2019, 2020 y 2021.

Al comparar los registros de riqueza de géneros y de abundancia total de invierno con los de verano se observó que para la riqueza fueron similares y para la abundancia los registros fueron distintos para todas las estaciones entre las campañas.

El rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros para los periodos invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024, presentó diferencias detectándose los mayores registros en invierno 2016 y mínimos en invierno 2020. Rango (Min 11; Max 13) en invierno 2016; (Min 3; Max 5) en invierno 2017; (Min 1; Max 9) en invierno 2018; (Min 0; Max 3) en invierno 2019, (Min 0; Max 1) en invierno 2020, (Min 2; Max 3) en invierno 2021, (Min 4; Max 7) en invierno 2022, (Min 3; Max 8) en invierno 2023 y (Min 4; Max 8) en invierno 2024 (**Figura N° 13-109 A**).

Respecto del rango de variación mínimo y máximo de abundancia total detectado entre invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024, fueron mayores en invierno 2016 y menores en invierno 2019 y 2021. Rango (Min 232; Max 4.778) en invierno 2016; (Min 1; Max 325) en invierno 2017; (Min 44; Max 3.825) en invierno 2018; (Min 0; Max 0,66) en invierno 2019, (Min 0; Max 64,81) en invierno 2020, (Min 16; Max 26) en invierno 2021, (Min

27; Max 171) en invierno 2022, (Min 36; Max 152) en invierno 2023 y (Min 18,5; Max 61,5) en invierno 2024 (**Figura N° 13-109 A**).

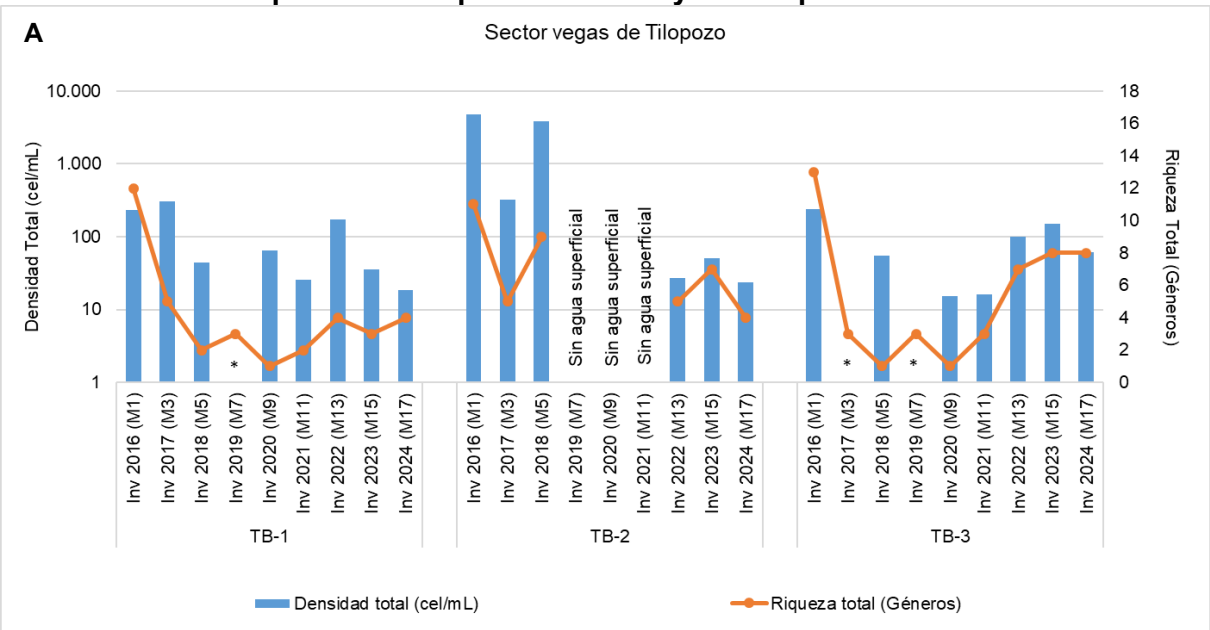
En tanto, para los periodos de verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025 presentaron diferencias, aun cuando hay vacíos de información, especialmente en la estación TB-2. La riqueza de géneros presentó mayores valores en verano 2017 (TB-1 y TB-3) y los menores en verano 2018, 2019, 2023 y 2024 (TB-1), verano 2022 (TB-2) y verano 2025 (TB-1 y TB-3), en tanto, la abundancia presentó mayores valores en verano 2018 observados en la estación TB-2 con 37.700 cel/mL, y los menores en verano 2018 en TB-1 con 5,1 cel/mL (**Figura N° 13-109 B**).

Las dominancias cambiaron respecto de los géneros representativos entre los periodos de invierno y verano, observándose un recambio de géneros en las campañas monitoreadas en el sector vegas de Tilopozo.

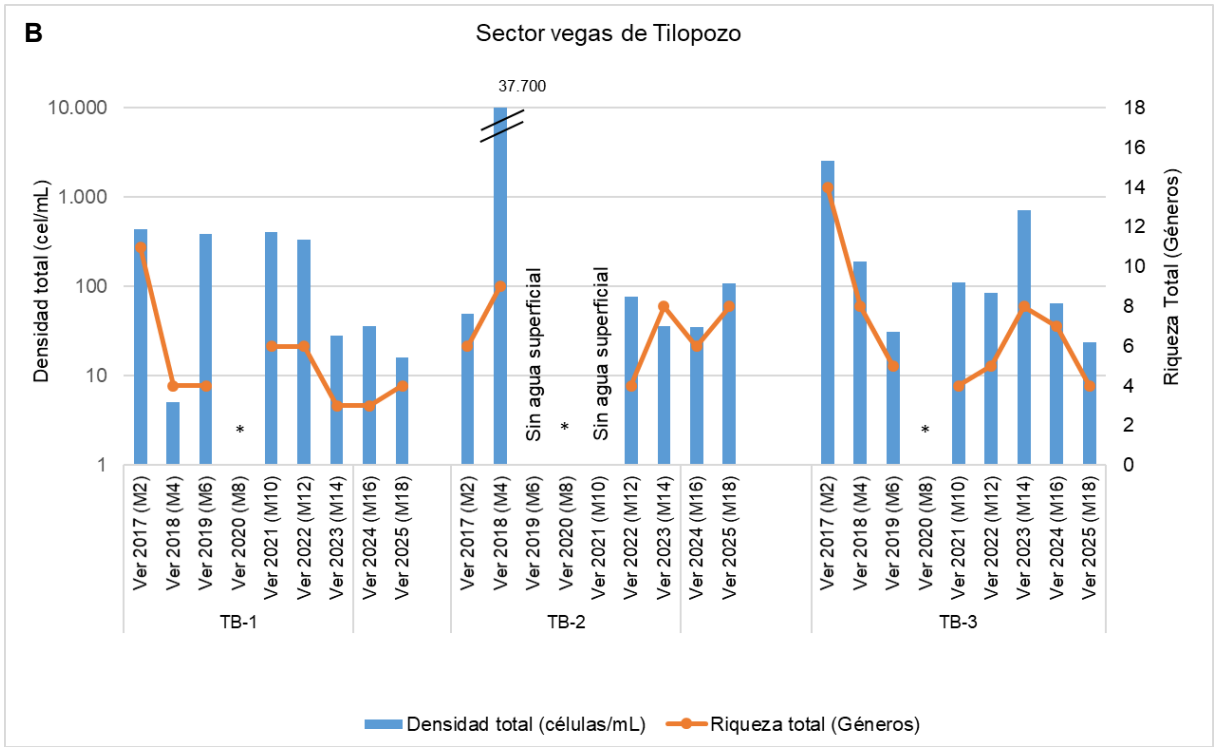
De acuerdo con lo anterior, en invierno 2016, dominaron los géneros *Anabaena* (cianofícea) y *Amphora* (diatomea). Estas representatividades fueron distintas a las detectadas en invierno 2017 donde se observó una alta predominancia de la zygnematoficea *Mougeotia*, las diatomeas *Nitzschia* y *Navicula* y las cianófitas (*Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*). En tanto, para invierno 2018, *Nitzschia* (diatomea), presentó la mayor abundancia relativa y en invierno 2019 las mayores representatividades las presentaron los géneros *Mougeotia* y *Spirogyra* ambas de la clase Zygnematophyceae. En la campaña de invierno 2020 la mayor representatividad fue para la diatomea *Diatoma* y en invierno 2021 la mayor representatividad se observó para la diatomea *Ulnaria* y para la zygnematoficea *Mougeotia*. En invierno 2022, se observó una mayor dominancia de los géneros *Halamphora* (diatomea) y *Oscillatoria* (cianófitas). En invierno 2023, correspondió a las diatomeas *Nitzschia* y *Denticula*. Por último, en invierno 2024, la mayor representatividad se observó para las diatomeas *Cocconeis* y *Ulnaria.*

Por el contrario, en verano 2017 se observó una alta predominancia de la diatomea *Amphora* y las cianobacterias *Gomphosphaeria* y *Oscillatoria*. Estas representatividades fueron distintas a las detectadas en verano 2018, donde se observó una alta predominancia de las diatomeas *Denticula*, *Nitzschia* y *Navicula*. Mientras que, para la campaña de verano 2019, predominó *Halamphora* (diatomea) y en verano 2021 la diatomea *Nitzschia* y la cianófita *Microcystis*. En verano 2022 se detectó la mayor dominancia de *Halamphora* y *Nitzschia*. En verano 2023 dominaron las cianobacterias *Microcystis* y *Merismopedia*. En verano 2024, correspondió a la diatomea *Cocconeis* y la zygnematoficea *Spirogyra*. Por último, en verano 2025 la mayor representatividad se observó para las diatomeas *Cocconeis* y *Fragillaria.*

Figura N° 13-109. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



* Valores con órdenes de magnitud menor a 1 cel/mL.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.Fuente: Elaboración propia.

En el **Sector Peine** la riqueza de géneros de fitoplancton, en el contexto comparativo entre campaña de monitoreo invierno 2024 y LB (periodos de invierno), respecto del rango de variación para la riqueza de géneros estuvo contenido dentro del observado en la LB. Rango (Min 4; Max 12) en invierno 2024 versus (Min 4; Max 12) en periodos de invierno LB. Para la abundancia total, el rango de variación mínimo y máximo detectada en invierno 2024, también estuvo dentro rango observado en la LB, a excepción de la estación SA-25 que obtuvo rangos inferiores a la LB. Rango (Min 21; Max 2.392) en invierno 2024 versus (Min 29; Max 5.280) en periodos de invierno LB (**Figura N° 13-110 A**).

Cabe señalar que para la campaña invierno 2024, no fue posible acceder a realizar labores de monitoreo a las estaciones S-9 y S-5, debido al cierre de las lagunas de Peine por el periodo reproductivo de flamencos. Durante la campaña verano 2025, no se tuvo acceso al sector, por el mismo motivo.

Respecto de las comparaciones entre campañas de monitoreo periodos de verano y LB (periodos de verano), se observó en su mayoría registros variables y en algunos bajo el límite inferior de la LB para la riqueza y valores bajos para la abundancia y en algunos casos bajo el límite inferior respecto de la LB. Entre campañas de monitoreo en periodo de verano, se ha observado un rango de variación mínimo y máximo de riqueza de géneros en un rango más amplio que lo observado en la LB, con un Rango (Min 3; Max 16) entre periodos de verano monitoreos versus (Min 6; Max 14) en periodos de verano LB (**Figura N° 13-110 B**). Respecto del rango de variación mínimo y máximo para la abundancia detectada entre monitoreos de verano, se observó que han presentado registros por debajo de lo observado en la LB, en su límite mínimo. Rango (Min 5 cel/mL; Max 711 cel/mL) versus (Min 90 cel/mL; Max 8.121 cel/mL) en periodos de verano LB. Se debe considerar, además, que las campañas de verano 2020, no fue monitoreada por ocurrencia de la pandemia COVID-19, y las campañas 2021, 2023, 2024 y 2025, porque no se pudo acceder al sector (**Figura N° 13-110 B**).

En relación con las mayores representatividades invierno y verano en el tiempo en el sector Peine, se detectó que los registros fueron similares observándose representaciones recurrentes de ciertos de géneros fitoplanctónicos, ya sea entre periodos estacionales y entre la LB y las campañas de monitoreo del correspondiente periodo estacional. Se observó que las diatomeas *Amphora, Navicula* y *Nitzschia* fueron dominantes entre monitoreos de invierno, mientras que, *Amphora, Navicula* y *Achnanthes,* presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de invierno. En tanto, se observó que las diatomeas *Amphora, Halamphora, Denticula, Navicula* y *Nitzschia* fueron dominantes entre monitoreos de verano, mientras que, *Cocconeis*, *Amphora, Navicula* y *Achnanthes,* presentaron las mayores dominancias en la LB para periodos de verano. Los registros de mayores representatividades de los géneros para invierno y verano son mostrados en el **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**.

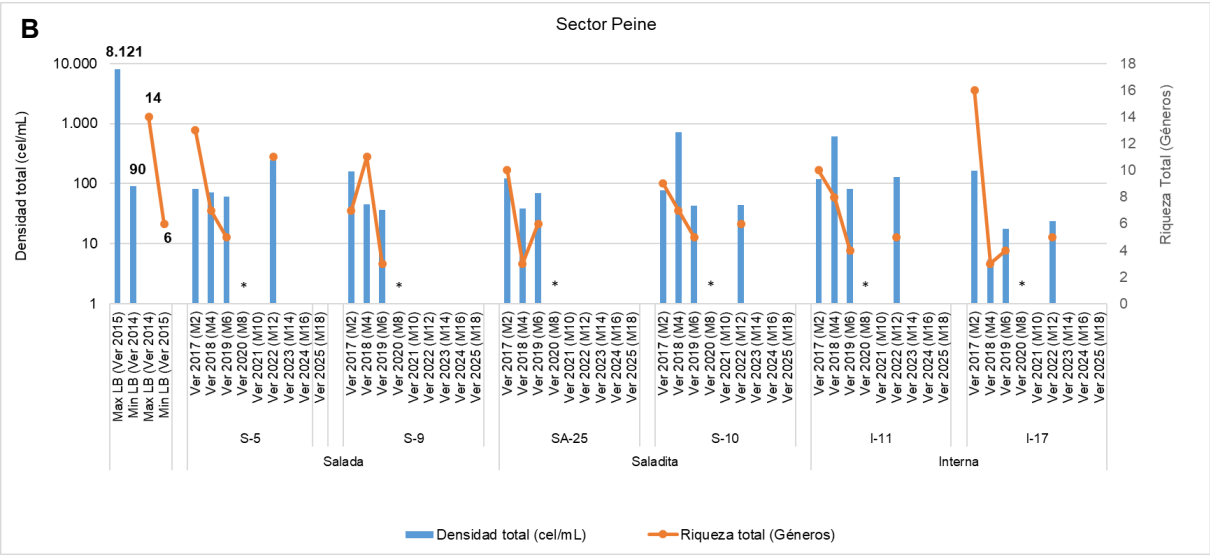
Cabe destacar que, para ambos monitoreos (verano e invierno), así como para la línea de base del fitoplancton en el sector Peine, la dominancia en el sector fue mayoritariamente para

la Clase Bacillariophyceae, resultado coherente para este tipo de sistemas acuáticos donde las diatomeas (Bacillariophyceae) son altamente predominantes (Stevenson et al.1996).

Figura N° 13-110. Rango de variación temporal para el fitoplancton del Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) En la campaña invierno 2023, no se realizó muestreo en lagunas de Peine y en la campaña invierno 2024 no se realizaron muestreos en las estaciones S-9 y S-5, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos.



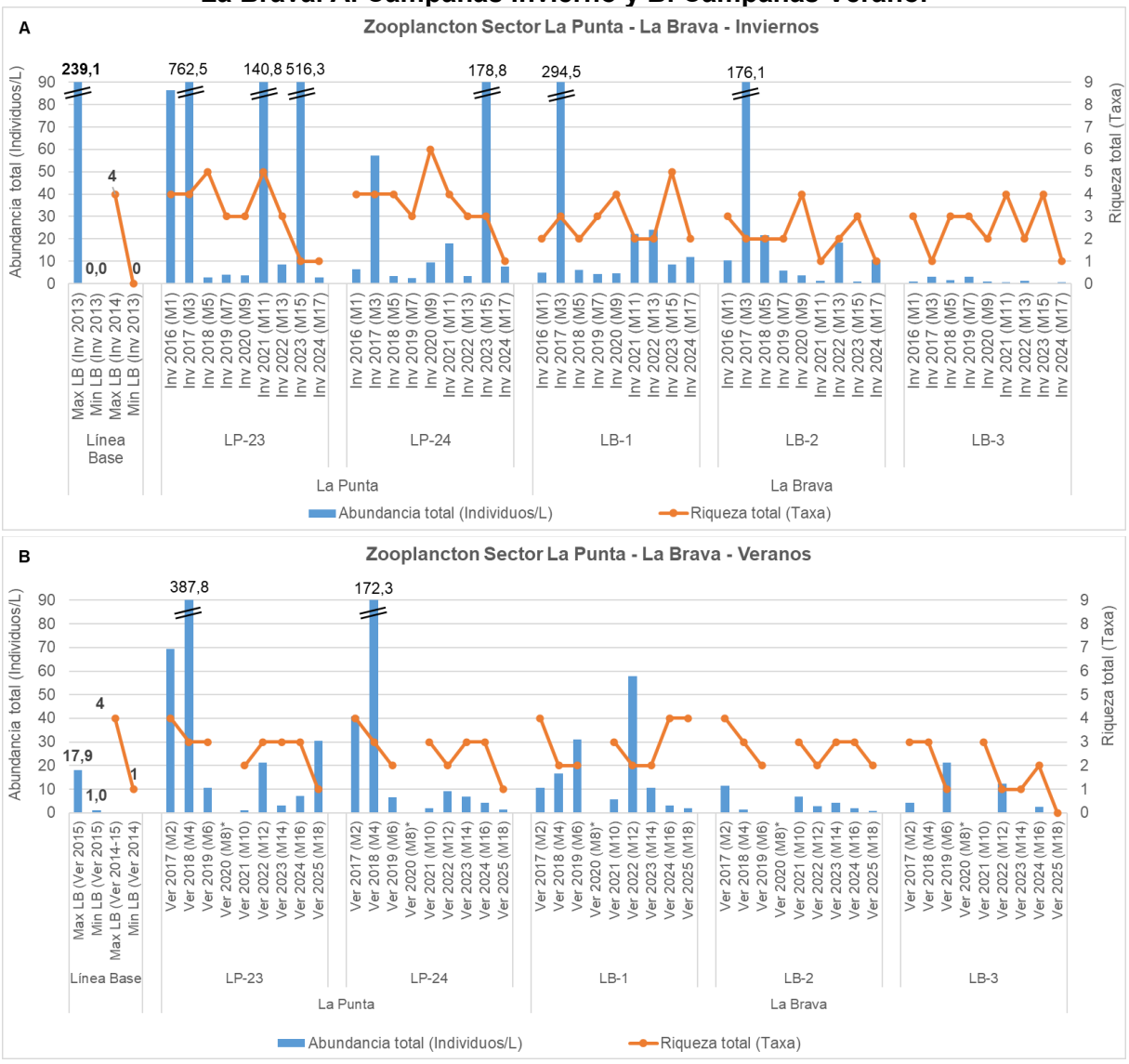
(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19: Para la campaña estival 2021, 2023, 2024 y 2025 no se realizó muestreo en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos. En la campaña verano 2022, no se tuvo acceso a las estaciones de laguna Salada (S-9) y de la laguna Saladita (SA-25). Fuente: Elaboración propia.

13.5.2.3.3 Zooplancton

La comunidad de zooplancton en La **Punta y La Brava**, se registraron algunos valores de abundancia total por sobre el rango establecido por la línea base del PMB, como en invierno 2017 en las estaciones LP-23 y LB-1, en verano 2017 y verano 2018 en las estaciones LP-23 y LP-24, en verano 2019 en las estaciones LB-1 y LB-3, en verano 2022 en las estaciones LP-23 y LB-1 y en invierno 2023 en LP-23, donde se sobrepasó en abundancia total. Las riquezas fueron bajas, entre 1 y 4 *taxa* en los periodos de verano y entre 1 y 6 en los inviernos monitoreados (**Figura N° 13-111**). En este sistema se observó que en invierno 2017 dominaron los copépodos Harpacticoidea (principalmente en La Brava), mientras que en verano 2018 hasta verano 2022 dominaron copépodos del género *Boeckella* y *Artemia franciscana,* siendo dominantes absolutos desde invierno 2023 hasta verano 2025 los copépodos *Boeckella poopoensis*. Por su parte, en LB-1 y LB-2, el zooplancton ha sido representado principalmente por *Artemia franciscana* y por el copépodo Harpacticoidea *Tigriopus* sp., aunque en invierno 2024 no se registró en La Brava *A. franciscana.* En las campañas de verano 2021 2023, 2024 y 2025, se registraron las menores abundancias totales dentro del Plan de Manejo Biótico, tanto en la laguna La Punta y como en La Brava.

Cabe mencionar que *Boeckella* se encontró mayoritariamente en laguna La Punta y *Artemia franciscana* en La Brava, lo que se puede relacionar con su nivel de tolerancia a la salinidad o bien, a las interacciones con otros organismos zooplanctónicos. Según la literatura especializada, algunos copépodos son animales omnívoros que filtran fitoplancton y también predan sobre protozoos y estadíos tempranos de desarrollo de otros zooplancteres, como es el caso de *Boeckella poopoensis* que preda sobre las larvas nauplio de *Artemia franciscana*, lo cual podría ser la causa que ambas especies no coexistan a pesar de que sus rangos de tolerancia a la salinidad lo permiten. Ahora bien, una característica importante de los cuerpos de agua en Chile es que se ha observado una mayor riqueza de zooplancteres en salinidades entre 5 g/L y 90 g/L, siendo posible encontrar conviviendo dos especies de copépodos. Sin embargo, sobre 90 g/L en salinidad, solo es posible encontrar presente a *Artemia franciscana* (De los Ríos-Escalante, 2010).

Figura N° 13-111. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



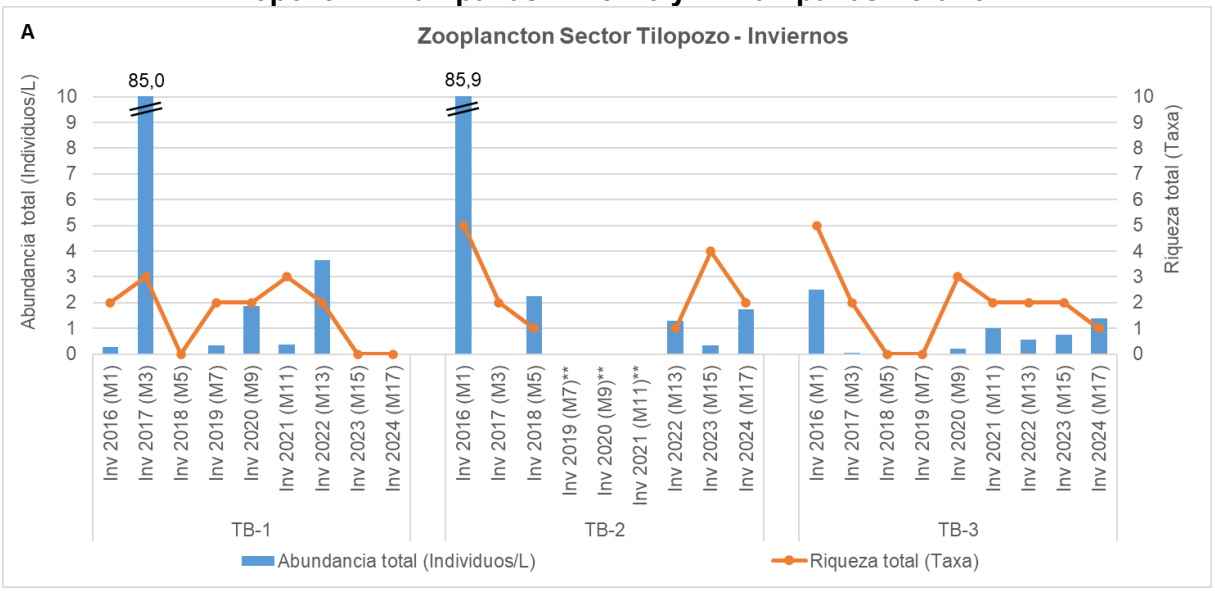
Fuente: Elaboración propia. (*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19.

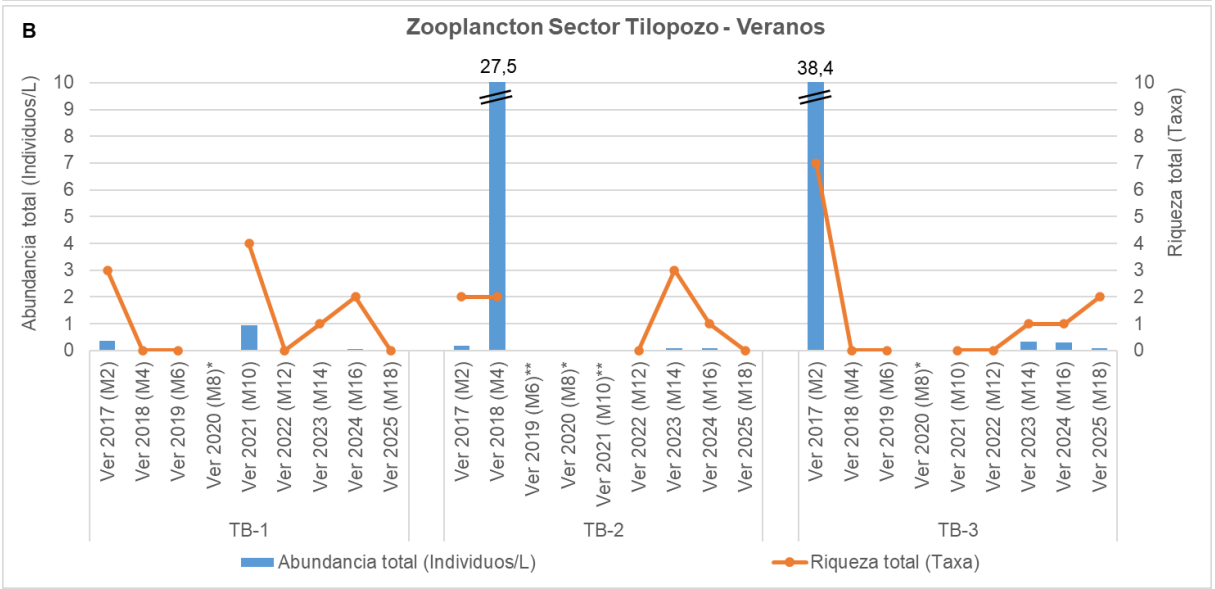
Para el sector **Tilopozo**, las riquezas totales estuvieron en el rango de 0 a 5 *taxa* en las campañas de invierno y entre 0 y 7 en las campañas de verano, mostrando en general bajas abundancias totales (menores a 86 ind/L). En las campañas de invierno se registraron las mayores abundancias totales (en TB-2 en invierno 2016 y en TB-1 en invierno 2017), mientras que en verano las mayores abundancias totales se registraron en verano 2018 para TB-2 y en verano 2017 para TB-3, alcanzando el máximo en esta última de 38,4 ind/L. En las estaciones TB-1 y TB-3 (pozas), no se encontraron organismos zooplanctónicos en los veranos 2018, 2019 y 2022. Adicionalmente, en la estación TB-3 no se encontraron organismos zooplanctónicos en las campañas de invierno 2018, 2019 y verano de 2021. Cabe mencionar que la estación TB-2, en los veranos de 2019 y 2021 e inviernos de 2019, 2020 y 2021, se encontró sin agua superficial al momento del muestreo (**Figura N° 13-112**).

En invierno dominaron copépodos ciclopoídeos en TB-1, en verano dominaron dípteros quironómidos en TB-2 (única estación con organismos zooplanctónicos). La ocurrencia de estos insectos en esa estación puede estar relacionada con el bajo nivel de agua encontrado en el sistema en ese periodo, catalogándose como pajonal hídrico. Cabe señalar que el sector de Tilopozo no posee registros de Línea Base dentro del Plan de Monitoreo Biótico, por lo que los resultados no se compararon con registros de este tipo.

En los últimos monitoreos desde verano 2023 en adelante, si bien se registraron bajas abundancias, el zooplancton registrado en el sector de Tilopozo, correspondió a fauna compuesta principalmente por organismos bentónicos y que eventualmente se encuentra en la columna de agua. Si bien, no es una situación extraña, cabe notar que entre los organismos se encontró a *Heleobia atacamensis*, que ha sido registrado históricamente como la única especie de gasterópodo en el sector Tilopozo, la cual es de significancia ya que está clasificada En Peligro Crítico (CR) según el DS 52/2014 (MMA).

Figura N° 13-112. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



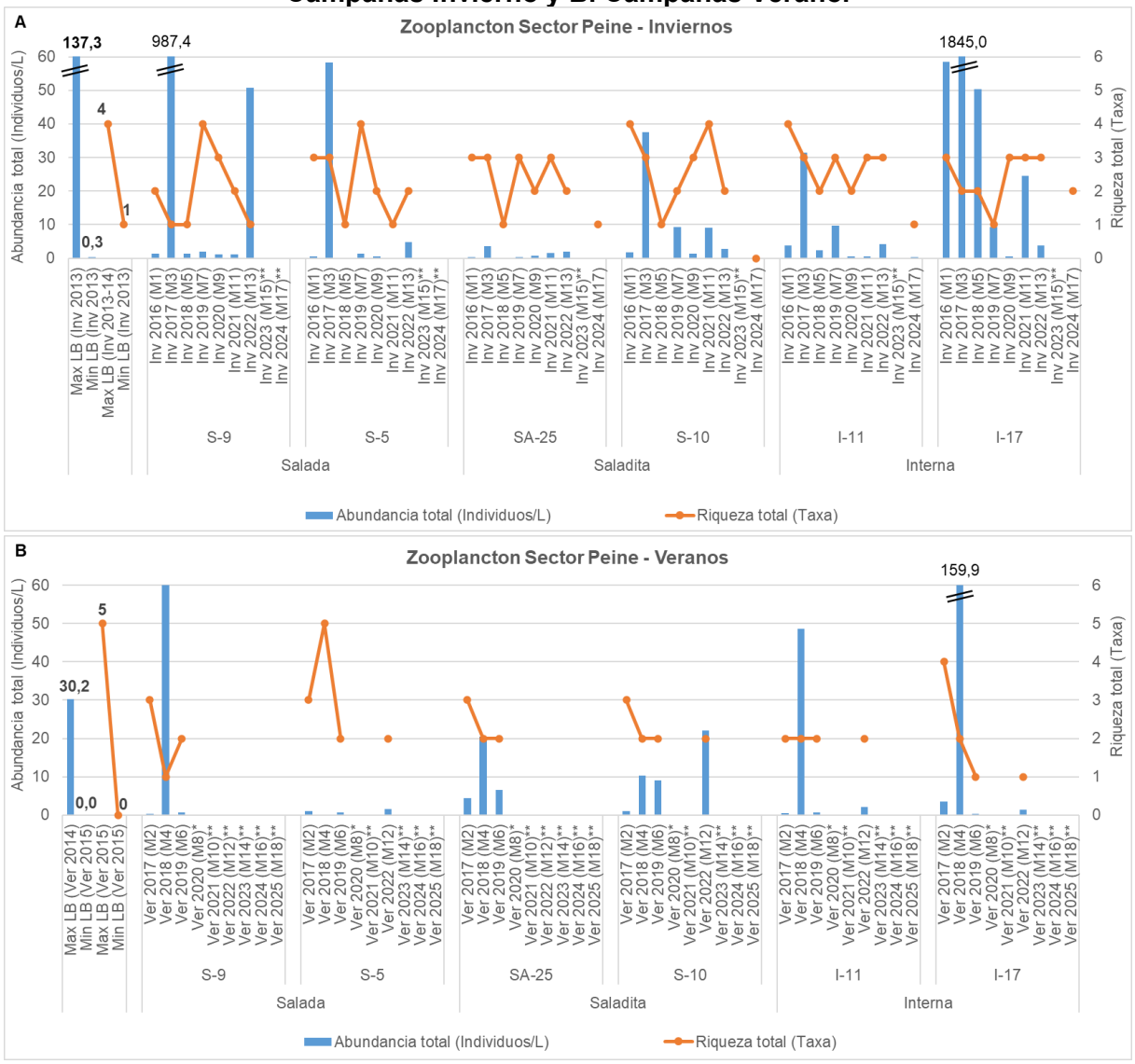


Fuente: Elaboración propia. (*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19. (**) La estación TB-2, en invierno 2019, 2020 y 2021 y en verano 2019 y 2021, se encontró sin agua superficial al momento del muestreo.

La comunidad de zooplancton en el **Sector Peine** registró en general valores de abundancia total y riqueza dentro del rango establecido por la LB para los inviernos del PMB, exceptuando por las abundancias registradas en S-9 (laguna Salada) e I-17 (laguna Interna) durante el monitoreo de invierno 2017, las cuales estuvieron por sobre el máximo registrado en la LB. Sin embargo, la mayoría de las abundancias totales en este sector estuvieron bajo los 10 ind/L en las campañas de invierno, tanto en laguna Salada como laguna Saladita. Mientras que en laguna Interna, se registraron las mayores abundancias totales en todos los monitoreos de invierno. Tales mayores abundancias totales, en especial I-17, fueron dadas principalmente por el branquiópodo *Artemia franciscana* o copépodos harpacticoídeos. En la campaña de invierno 2022 solo la estación S-9 tuvo una abundancia mayor a 50 ind/L, dado por la mayor abundancia del copépodo Harpacticidae *Tigriopus* sp. Las abundancias en este sector han sido variables, si bien en la campaña de invierno 2024 fueron muy bajas (máximo 0,38 ind/L en I-11), no es posible establecer una tendencia clara de incrementarse o disminuir a lo largo del PMB. Para las campañas de verano se registró en general valores de abundancia y riqueza dentro del rango establecido por la línea base del PMB, exceptuando por las abundancias registradas en S-9 (laguna Salada), I-11 e I-17 (laguna Interna) durante el monitoreo de verano 2018, las cuales estuvieron por sobre el máximo registrado en la LB. Tales mayores abundancias totales, principalmente en I-17, fueron dadas por el branquiópodo *Artemia franciscana*. Las menores abundancias totales se registraron en las campañas de LB de verano 2014 y 2015 y en el último monitoreo de verano 2019 (menores en general en este último). Las riquezas de *taxa* en general han sido bajas en todos los monitoreos de verano, con valores entre 1 y 5, con el máximo registro en laguna Salada (S-5) durante el verano 2018. Cabe mencionar que la campaña de verano 2020 no se realizó producto de la pandemia COVID-19 y que, para el sector de Peine en particular, tampoco se cuenta con las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023, verano 2024, parte de invierno 2024 y verano 2025, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de flamencos (**Figura N° 13-113**).

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° 13-113. Rango de variación temporal del zooplancton en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



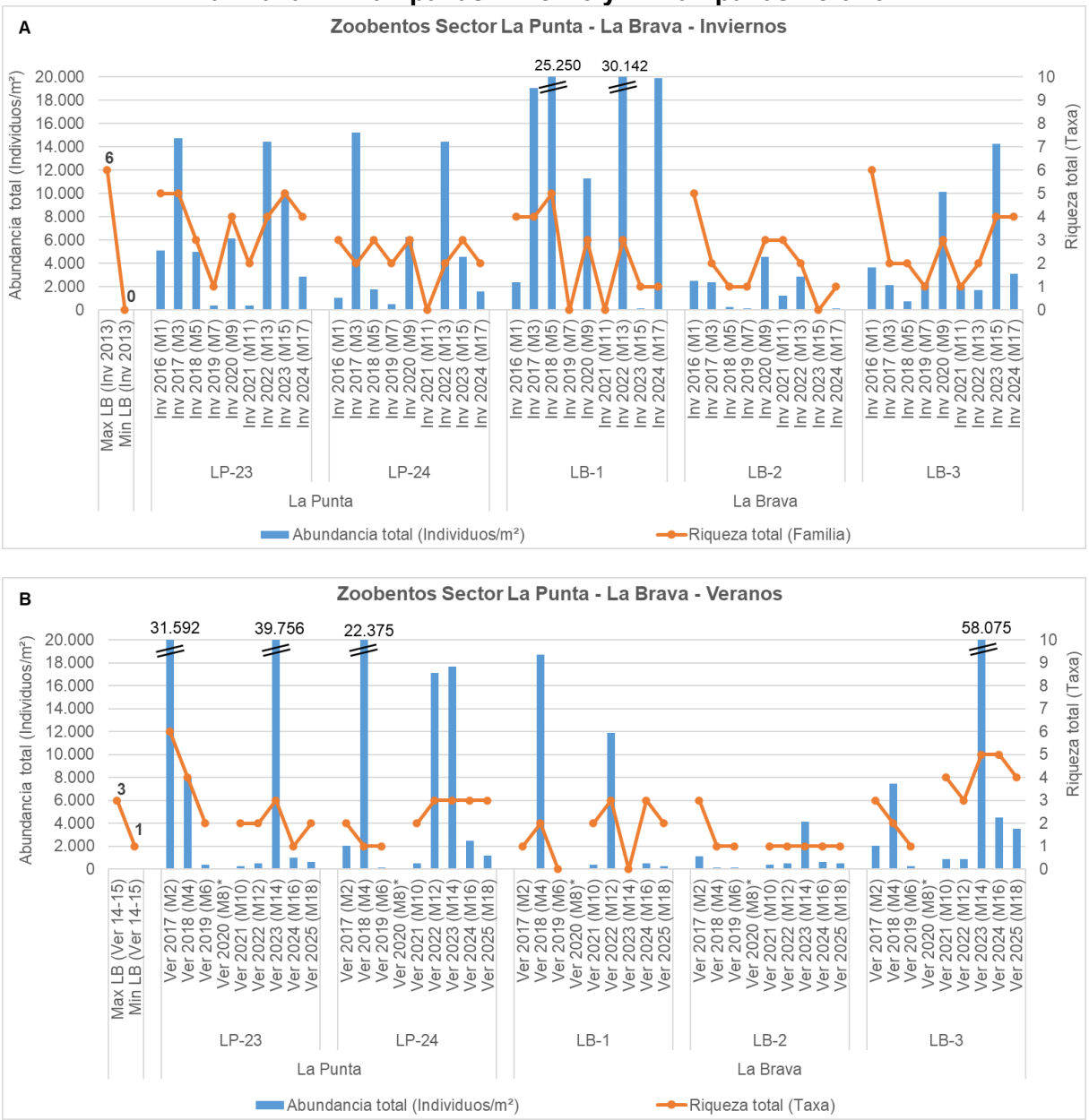
Fuente: Elaboración propia. (*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19. (**) En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023, verano 2024, parte de invierno 2024 y verano 2025, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

13.5.2.3.4 Zoobentos

La comunidad zoobentónica en el sector **La Punta** y **La Brava**, mostró que las riquezas totales por estación también fueron bajas en ese sector en todos los periodos, con un máximo de 6 *taxa*. Las abundancias totales en La Punta y La Brava durante los inviernos y veranos monitoreados mostraron valores en general menores a los 20.000 ind/m², sin embargo, se encontraron abundancias totales mayores a este valor en invierno 2018 e invierno 2022 (LB-1) y en verano 2017 (LP-23), verano 2018 (LP-24) y en verano 2023 (LP-23 y LB-3), alcanzando una máxima abundancia total de 58.075 ind/m² en LB-3 durante el verano 2023 (**Figura N° 13-114**).

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 la campaña. En La Punta, durante invierno 2018, dominaron en LP-23 y LP-24 los gasterópodos *Heleobia* sp. seguidos por los dípteros Ceratopogonidae. Por su parte, en la estación LB-1 de La Brava, dominaron ampliamente en verano 2019 los copépodos bentónicos Canthocamptidae y en las estaciones LB-2 y LB-3 de La Brava, en invierno 2018, dominaron los dípteros Ceratopogonidae, mientras que en verano 2019 fueron dominantes los dípteros Stratiomyidae. En verano 2022 los *taxa* dominantes correspondieron principalmente a copépodos Harpacticoidea seguidos por gasterópodos Cochliopidae (*Heleobia* sp.) Históricamente los *taxa* dominantes correspondieron principalmente a copépodos Harpacticoidea, seguidos por gasterópodos *Heleobia* sp., sin embargo, en las campañas de 2023 en adelante los *taxa* dominantes han sido los ostrácodos Cyprididae y el gasterópodo *Heleobia* sp.

Figura N° 13-114. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector La Punta y La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



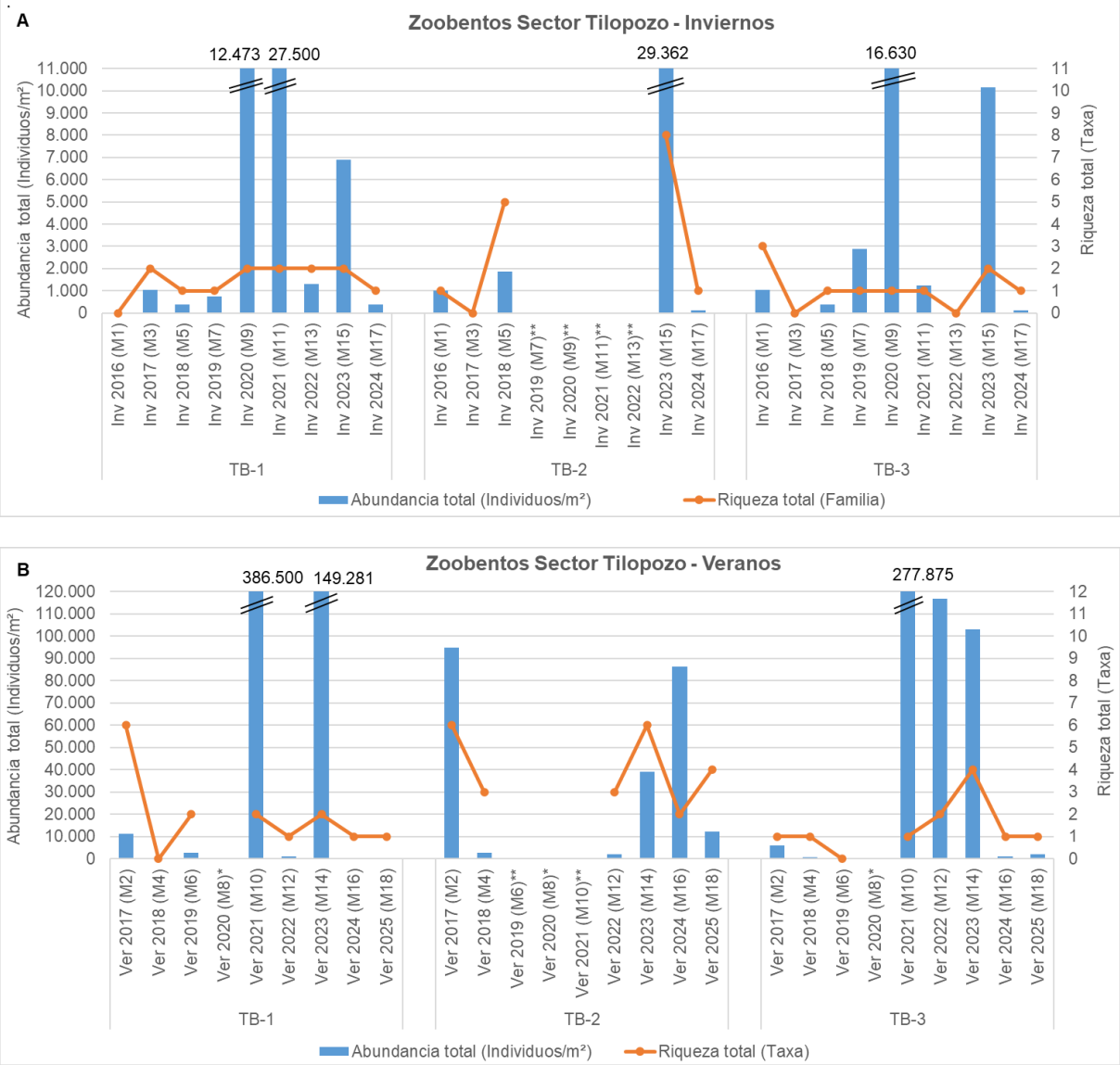
Fuente: Elaboración propia. La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

El zoobentos del **Sector de Tilopozo**, en las campañas de invierno y verano se registraron bajas riquezas de *taxa*, 0 a 8 en invierno y de 0 y 6 *taxa* en verano, con el mayor valor de riqueza en las estaciones TB-1 y TB-2 en verano 2017. Las mayores abundancias totales ocurrieron en verano 2021 en las estaciones TB-1 (386.500 ind/m²) y TB-3 (277.875 ind/m²), en verano 2022 en TB-3 (116.875 ind/m²), en verano 2023 tanto en TB-1 (149.281 ind/m²) como en TB-3 (102.899 ind/m²) y en verano 2024 en TB-2 (86.139 ind/m²). Durante las campañas de invierno la máxima abundancia total fue registrada en TB-2 en invierno 2023, alcanzando los 29.362 ind/m² (**Figura N° 13-115**).

En relación a los *taxa* dominantes registrados en las estaciones de Tilopozo durante estas campañas, se observó que en TB-1 y TB-3 dominó ampliamente el gasterópodo *Heleobia atacamensis*, tanto en invierno como en verano (ambas estaciones corresponden a pozas con afloramiento de agua subsuperficial). Las altas abundancias registradas en verano 2021, 2022 y 2023 en estas estaciones, corresponden casi exclusivamente a *H. atacamensis*. En la estación TB-2 (que corresponde a un pajonal hídrico de baja profundidad) dominaron los dípteros entre los años 2016 y 2018, sin embargo, en verano 2023, invierno 2023 y verano 2024, se ha registrado la dominancia de *H atacamensis*. Cabe mencionar que esta estación se encontró sin agua superficial en invierno 2019, 2020 y 2021 y verano 2019 y 2021.

La presencia de Cochliopidae, representado por *H. 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 y su presencia históricamente 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.

Figura N° 13-115. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.

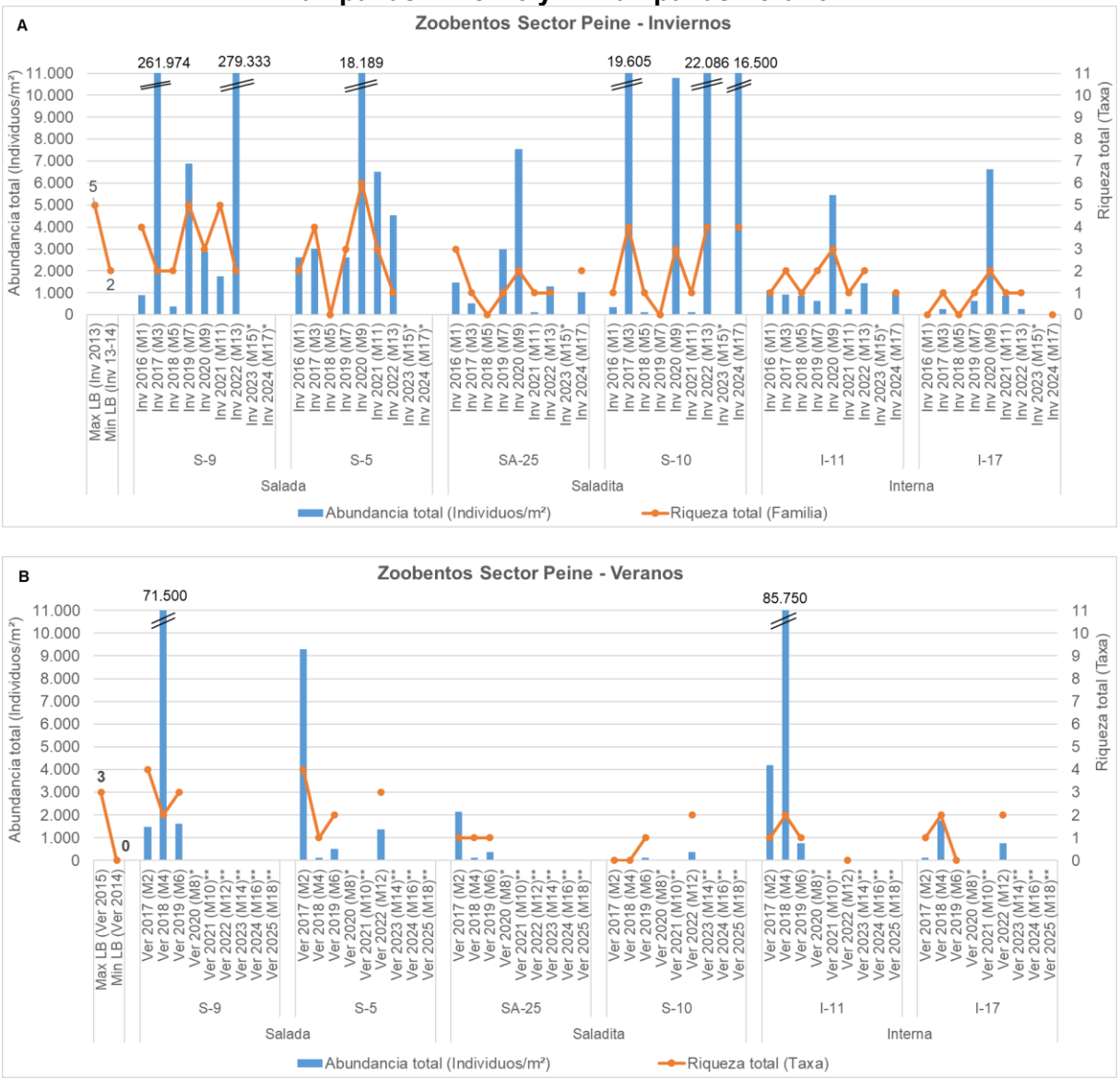


Fuente: Elaboración propia. (*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19. (**) La estación TB-2, en verano 2019 y 2021 y en los inviernos de 2019, 2020 y 2021 se encontró sin agua superficial al momento de los muestreos, mientras que en invierno 2022 no fue posible obtener muestras de sedimentos debido a la compactación y entramado de raíces del terreno.

El zoobentos del **Sector Peine** tanto en las campañas de invierno como en verano, mostró en general bajas riquezas de *taxa* (entre 0 y 6 *taxa* por estación), con mayores valores de riqueza en las estaciones de laguna Salada. Las abundancias totales en Peine durante los inviernos y veranos monitoreados mostraron valores en general bajo los 10.000 ind/m², excepto en invierno 2017 para las estaciones S-9 y S-10, en verano 2018 en las estaciones S-9 e I-11, en invierno 2020 en las estaciones S-5 y S-10, en invierno 2022 en las estaciones S-9 y S-10, registrándose un máximo de abundancia total de 279.333 ind/m² en S-9 en 2022 y en invierno 2024 en la estación S-10. Cabe mencionar que, en la mayoría de las estaciones del sector, se incrementaron las abundancias notoriamente en invierno 2020, lo cual se puede relacionar con su ciclo reproductivo anual, considerando que las campañas de muestreo se realizaron al finalizar el invierno (casi comienzos de primavera), donde se encuentran las condiciones favorables para su reproducción y desarrollo larvario (**Figura N° 13-116**).

En relación con 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 Ephydridae para laguna Interna.

Figura N° 13-116. Rango de variación temporal del zoobentos en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



Fuente: Elaboración propia. (*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia de COVID-19. (**) En las campañas de verano 2021, parte de verano 2022, en verano 2023, invierno 2023, verano 2024, parte de invierno 2024 y verano 2025, no se realizó el muestreo en el Sector Peine, debido al cierre de las lagunas por el periodo reproductivo de las poblaciones de flamencos presentes en este sistema lagunar.

13.5.2.3.5 Plantas vasculares acuáticas (Macrófitas)

En relación con el registro histórico de plantas vasculares acuáticas en los sectores La Punta y La Brava, vegas de Tilopozo y Peine, obtenidas en las campañas realizadas en la LB invierno (2008, 2013 y 2014) y los monitoreos invierno (2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024), se ha detectado un total de 11 especies. Mientras que, el registro histórico de plantas vasculares acuáticas en los sectores Peine, La Punta y La Brava y vegas de Tilopozo, entre las campañas realizadas en la línea de base verano (2014 y 2015) y los monitoreos verano (2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025), 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 californicus*, *Juncus balticus, Distichlis spicata, Puccinellia frigida, Triglochin concinna, Baccharis linearis* y *Sarcocornia fruticosa*. Salvo excepciones como *Potamogeton pectinatus* (hidrófita) y la helófita *Patosia clandestina* ambas reportadas solamente en campañas de línea de base de invierno. En relación con el origen, corresponden todas a especies nativas, la mayoría de la clase Liliopsida. Ninguna de las especies presenta categoría de conservación (**Tabla N° 13-42**).

Tabla N° 13-42. Resumen de especies detectadas en los sectores La Punta, La Brava, vegas de Tilopozo y Peine, en campañas de línea de base y monitoreo.

Clase	Familia	Especie	Nombre Común	Hábito	Origen
Liliopsida	Potamogetonaceae	*Potamogeton pectinatus**	Espiga de agua	Hidrófita	Introducida
	Juncaceae	*Patosia clandestina**	Cojín de vega	Helófita	Nativa
	Ruppiaceae	*Ruppia filifolia*	Pelo de Agua	Hidrófita	Nativa
	Zannichelliaceae	*Zannichellia palustris*	Cachagüita	Hidrófita	Nativa
	Cyperaceae	*Schoenoplectus* (*Scirpus*) *californicus*	Totora	Helófita	Nativa
	Juncaceae	*Juncus balticus*	Junco	Helófita	Nativa
	Juncaginaceae	*Triglochin concinna*	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	*Puccinellia frigida*	Sin nombre	Helófita	Nativa
	Poaceae	*Distichlis spicata*	Grama salada	Helófita	Nativa
Rosopsida	Chenopodiaceae	*Sarcocornia fruticosa*	Hierba sosa	Helófita	Nativa
Magnoliopsida	Asteraceae	*Baccharis linearis*	Romerillo	Helófita	Nativa

*Especies detectadas solo en Línea de Base en periodo de invierno.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con la riqueza histórica total detectada en el sector **La Punta - La Brava** y periodo estacional, se observó en periodo de invierno y verano un registro total de plantas vasculares acuáticas de 4 especies las que correspondieron a *Ruppia filifolia*, *Sarcocornia fruticosa, Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna*. 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**).

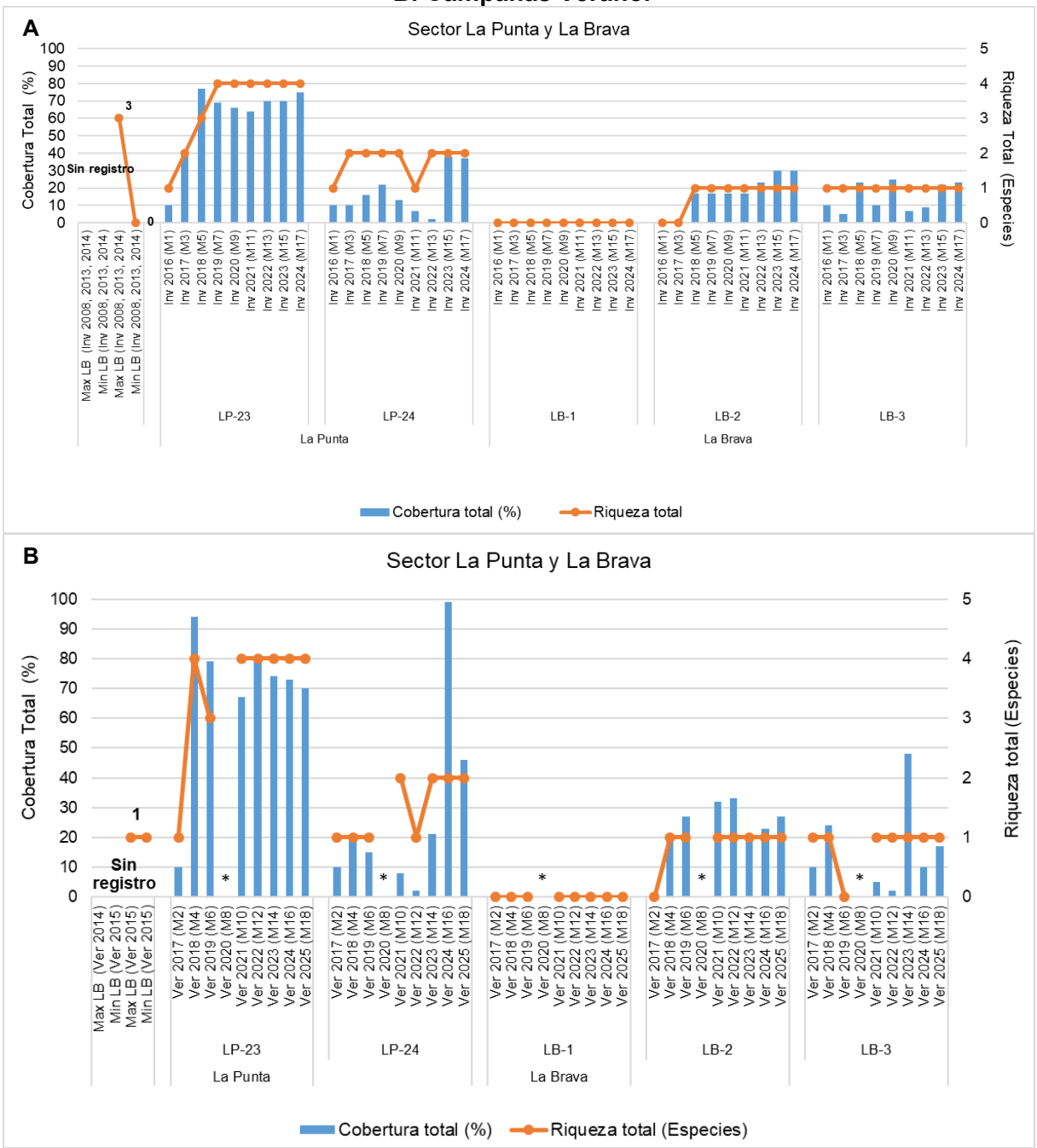
Cabe destacar que en las campañas de invierno y verano 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 (solo invierno), 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025 se observó que la hidrófita *Ruppia filifolia*, siempre estuvo sumergida y distribuida en el centro o en las orillas de las lagunas. Por otra parte, solo en las orillas de laguna La Punta se reportó la presencia de la helófita emergente *S. fruticosa*, además de *P. frigida*, mientras que, *T. concinna* fue reportada en invierno 2018, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 y en verano 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025 en las lagunas La Punta y La Brava.

En las campañas de LB, invierno 2008 no se registraron plantas vasculares acuáticas. En invierno 2013 se registró la presencia de *R. filifolia* en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava). En tanto en la laguna La Punta no se observó la presencia de plantas. Posteriormente en invierno 2014 se detectó la presencia de *P. pectinatus y P. clandestina* en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava) y en las estaciones LP-23 y LP-24 (ubicadas en la Laguna La Punta). Cabe destacar que en estas campañas no se registraron coberturas totales asociadas a estas especies (**Figura N° 13-117 A**). En las campañas de LB, verano 2014 y 2015 se registró la presencia de una especie de planta vascular acuática, *R. filifolia* en las estaciones LB-1, LB-2 y LB-3 (ubicadas en la Laguna La Brava) y en LP-23 y LP-24 (ubicadas en la laguna La Punta) (**Figura N° 13-117 B**).

La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (LB 3 especies y monitoreos 4 especies) en periodo invierno y verano, presentando máximos de 4 especies en invierno 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 y verano 2018, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025 en la estación LP-23 (**Figura N° 13-117 A**). Se aprecia un comportamiento intermitente respecto de la presencia de las especies en periodo de invierno y verano, lo que podría estar asociado a las condiciones del hábitat en el periodo, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura en las lagunas.

Respecto de las coberturas totales, si bien no existen registros de LB, se observa que la estación LP-23 ha presentado valores máximos en invierno con un 77% y en verano 2018 un 94%, manteniéndose normalmente con coberturas superiores a 60% (con excepción de la campaña de verano de 2017). Mientras que, para las restantes estaciones de monitoreo las coberturas presentaron valores diferentes entre campañas de invierno, con registros entre 7 y 53% y en campañas de verano con registros entre 3 y 53% (**Figura N° 13-117 B**).

Figura N° 13-117. Rango de variación temporal por estación de monitoreo y LB, de las plantas vasculares acuáticas en el Sector La Punta-La Brava. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

En relación con la riqueza histórica detectada en el sector **vegas de Tilopozo** se observó un registro de plantas vasculares acuáticas de 5 especies en invierno y 4 especies en verano. Las que correspondieron a la hidrófita libre flotante *Zannichellia palustris* y las helófitas *Schoenoplectus californicus, Juncus balticus* (solo invierno)*, Baccharis linearis* y *Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa.* El sector de vegas de Tilopozo no presenta registro de línea de base, por lo que se analizan los registros de invierno 2016 y de verano 2017 en adelante (**Ver Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

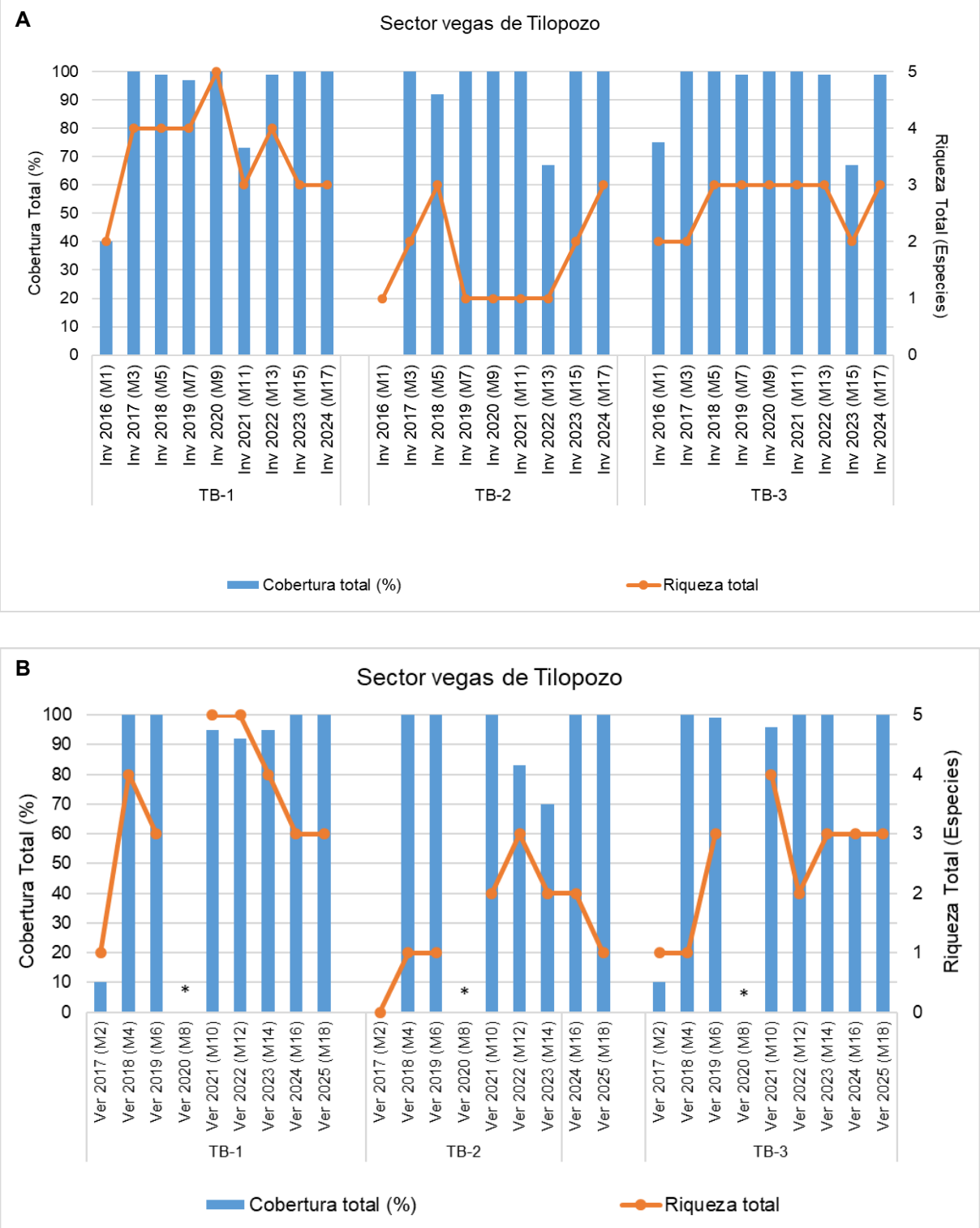
La riqueza de especies por estación de muestreo ha oscilado en términos temporales (monitoreos) entre 1 y 5 especies en invierno y verano, encontrándose diferencias entre estaciones de muestreo. Cabe consignar que, las estaciones TB-1 y TB-3 corresponden a afloramientos tipo pozas y la estación TB-2 corresponde a un pajonal hídrico (**Figura N° 13-118 A** y **B**).

En relación las coberturas totales de las plantas acuáticas, en periodos de invierno y verano, el sector vegas de Tilopozo, se han mantenido más bien estables y con valores altos. En invierno las coberturas entre las estaciones de monitoreo oscilaron entre 75 y 100%, excepto para la campaña de invierno 2016 que presentó una cobertura total de 40%. Mientras que, en periodos de verano, los valores también fueron altos oscilando entre 80 y 100%, excepto para la campaña de verano 2017 donde se observó una cobertura total del 10% (**Figura N° 13-118 A** y **B**).

Respecto de las coberturas se observa que en los monitoreos (dado que no existen registros de LB) las estaciones de muestreo presentan altas coberturas de la hidrófita *Zannichellia palustris* como de las helófitas reportadas. *Z. palustris* durante el periodo de verano cubrió buena parte de la superficie del espejo de agua de las pozas, además que sus hojas constituyen una buena base para el asentamiento de algunas lamas de microalgas, aumentando la cobertura vegetal en TB-1 y TB-3. Además de servir de ambientes refugiales y de desove para invertebrados y peces. Por otra parte, la estación TB-2, sigue presentando una alta cobertura de *S. californicus*, debido a que la estación sigue manteniendo agua subsuperficialmente manteniendo la disponibilidad para las plantas vasculares acuáticas.

Finalmente, en términos comparativos vegas de Tilopozo, registró un número mayor de especies respecto del sector Peine y La Punta y La Brava. Respecto de las plantas vasculares acuáticas reportadas en los tres sectores estudiados correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria (Ramírez y San Martín 2006).

Figura N° 13-118. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector vegas de Tilopozo. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19.Fuente: Elaboración propia.

En relación con la riqueza histórica detectada en el **sector Peine** se observó para la línea de base un bajo registro de plantas vasculares acuáticas en periodos de invierno, con 2 especies *Ruppia filifolia* y *Potamogeton pectinatus*, ambas detectadas de modo intermitente en periodo de invierno. Este comportamiento, estaría asociado a las condiciones del hábitat, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la temperatura en las lagunas.

En las campañas de invierno de LB respecto a la composición y riqueza de géneros, en invierno 2008 se observó *R. filifolia* únicamente en la estación S-5 (Laguna Salada), en invierno 2013 la misma especie fue registrada en las estaciones I-11 e I-17 de la laguna Interna y en la estación SA-25 (laguna Saladita). Posteriormente en invierno 2014 se detectó la presencia de *P. pectinatus* en las estaciones S-5 y S-9 ambas de la laguna Salada, en las estaciones S-10 y SA-25 ambas de la laguna Saladita y en las estaciones I-11 e I-17 de la laguna Interna (**Figura N° 13-119 A**). Por otra parte, en relación con la riqueza de géneros detectada en la campaña invierno 2022 y en las campañas históricas del PMB (2016-2021), solo se ha detectado la especie *R. filifolia* en algunas estaciones de monitoreo las que correspondieron a S-5 y S-9 (Laguna Salada), SA-25 y S-10 (Laguna Saladita). Cabe señalar que, en invierno 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2024 en la estación S-10 solo ha sido reportada la presencia de *R. filifolia*, debido a que esta especie ha presentado parches en el centro de la laguna (**Figura N° 13-119 A**).

Con relación a la riqueza de géneros detectada en las campañas históricas de verano LB (2014 y 2015) y PMB (2017-2022), se observó un bajo registro de plantas vasculares acuáticas, en la cual se han detectado solo 3 especies, las que correspondieron a *Ruppia filifolia, Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa* (**Figura N° 13-119 B**). En las campañas de línea de base verano 2014 y 2015 en la mayoría de las estaciones de las lagunas Salada, Saladita e Interna, fue reportada la presencia de *R. filifolia, D. spicata y S. fruticosa* (verano 2014) y de *R. filifolia* (verano 2014 y 2015). En las campañas de monitoreo de verano (2017-2022), y coincidiendo con el periodo de invierno, solo fue detectada *R. filifolia*, en algunas estaciones de monitoreo las que correspondieron a S-5 (Laguna Salada), SA-25 y S-10 (Laguna Saladita). En tanto, en la laguna Interna durante la LB para la riqueza, si bien se observó la presencia de un máximo de 3 especies en periodos de verano, posteriormente en las campañas de monitoreos de invierno y verano (2016 a 2025), no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas (**Figura N° 13-119 B**).

Por último, hay que señalar que excepcionalmente, no se registraron monitoreos en la campaña verano 2021, 2023, 2024 y 2025, debido al cierre por el periodo reproductivo de flamencos. debido a restricciones determinadas por la comunidad de Peine, y en la campaña verano 2020 debido a la pandemia COVID-19.

En relación con las coberturas totales en periodo de invierno, comenzaron a ser registradas desde la campaña de invierno 2016 en adelante, en tanto, las campañas de invierno 2008 y 2014 no fueron consideradas. Por otro lado, para el periodo de verano se empezaron a

registrar desde verano 2017 en adelante (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

Como se indicó el periodo de monitoreo de invierno, en Peine, solo ha sido detectada *Ruppia filifolia*, para la cual se han registrado coberturas totales en invierno 2016, en la estación S-5 (laguna Salada) y en las estaciones SA-25 y S-10 (ambas ubicadas en laguna Saladita) con porcentajes <10%. Así mismo, invierno 2017, se registró en la estación S-5 y en las estaciones SA-25 y S-10, coberturas entre 30 y 25% respectivamente. En invierno 2018, en las estaciones S-5 y SA-25 las coberturas para esta especie correspondieron a 73 y 25% y en invierno 2019 oscilaron entre 47 y 57% en las estaciones S-5 y SA-25 respectivamente. En tanto, en invierno 2020, se reportó *R. filifolia* en las estaciones S-5, SA-25 y S-10, con coberturas de 10 y 47% en S-5 y SA-25 respectivamente. Mientras que, en invierno 2021 fue detectada en S-5 (13%), S-9 (23%) y SA-25 (55%). En invierno 2022, se detectó *R. filifolia* en las estaciones de Salada, Saladita e Interna, excepto en la estación I-17 que no presentó plantas acuáticas. Las coberturas presentaron registros variables los que oscilaron entre 4 y 77%. Además, se reportó la presencia de *S. fruticosa* en la estación S-9 en invierno 2022. Por último, en invierno 2023 solo se detectó *R. filifolia* en las estaciones SA-25 Y S-10 con una cobertura de 62% y 47%, respectivamente (**Figura N° 13-119 A**).

Cabe señalar que, en invierno 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 y 2024 en la estación S-10 solo ha sido reportada la presencia de *R. filifolia*, dado que esta especie presentó parches en el centro de la laguna y en la estación S-9, en la campaña de invierno 2021 y 2022 fue detectada la presencia de plantas vasculares acuáticas (**Figura N° 13-119 A**).

Con relación a la riqueza histórica detectada en periodo de verano**,** como se señaló anteriormente no hubo acceso en verano 2023, 2024 y 2025, por tanto, se realizará el comparativo entre las campañas históricas de verano LB (2014 y 2015) y PMB (2017-2025). En la LB se observó un bajo registro de plantas vasculares acuáticas, en la cual se han detectado solo 3 especies, *Ruppia filifolia, Distichlis spicata* y *Sarcocornia fruticosa*. En las campañas de línea de base verano 2014 y 2015 en la mayoría de las estaciones de las lagunas Salada, Saladita e Interna, fue reportada la presencia de *R. filifolia, D. spicata y S. fruticosa* (verano 2014) y de *R. filifolia* (verano 2014 y 2015).

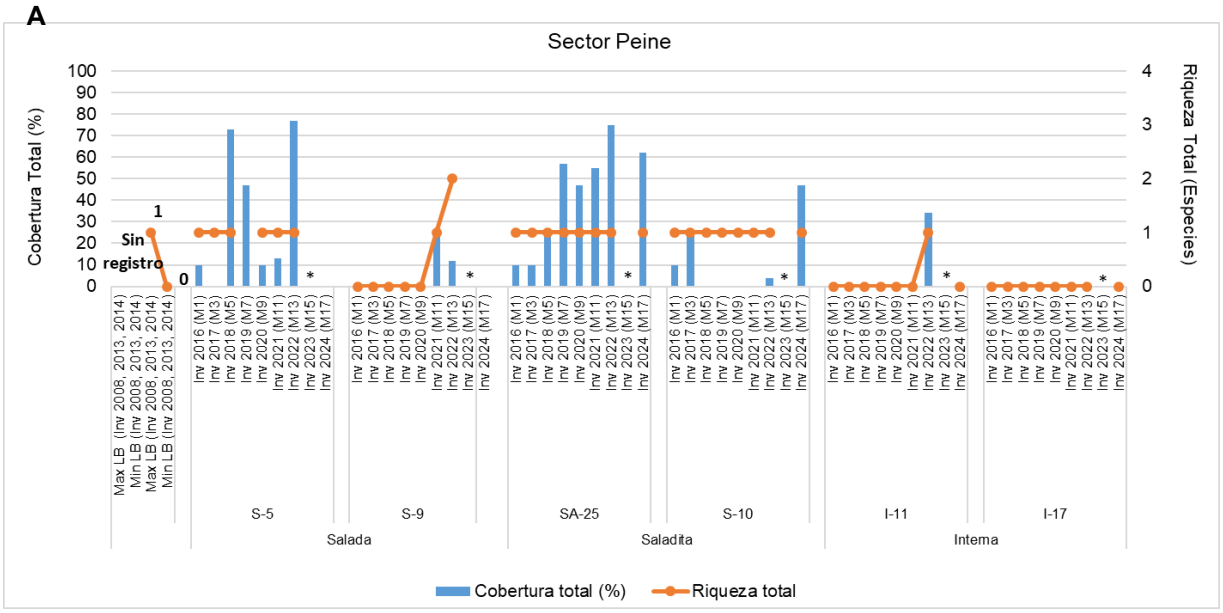
La riqueza de especies por estación de monitoreo, han oscilado en términos temporales (línea de base y monitoreos) en periodos de verano entre 0 y 4 especies. Cabe destacar que, en la laguna Interna en los monitoreos de verano no se ha reportado la presencia de plantas vasculares acuáticas.

Respecto de las coberturas totales, han sido registradas desde verano 2017 en adelante, no existiendo registros de línea de base (Ver **Anexo Limnología y Tapetes Microbianos - Calidad de Agua**).

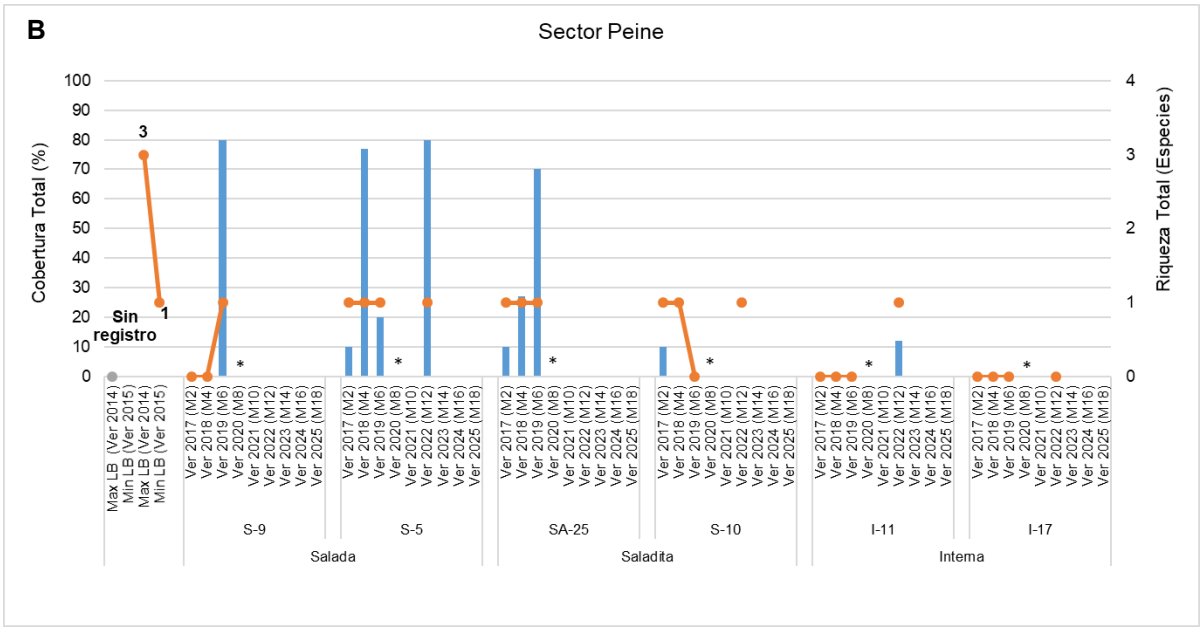
En periodo de verano desde 2017 a 2022, en la estación S-5, se registraron coberturas de *R. filifolia* entre 10 y 80%, en tanto, en la estación S-9 se tiene coberturas solo para verano 2019 del orden del 80%. Por otro lado, en la laguna Saladita, estación SA-25, se observaron coberturas entre 10 y 70%, en tanto, en S-10 en verano 2019 se reportó una cobertura del 10%, y en los restantes periodos de verano solo ha sido registrada la presencia en la parte del centro de la laguna (**Figura N° 13-119 B**). Cabe destacar, que en las campañas de línea de base de verano 2014 y 2015 no se registraron coberturas totales asociadas a estas especies.

Para las coberturas, en monitoreos de verano en la estación S-5 (laguna Salada) y SA-25 (laguna Saladita), se ha observado un aumento en términos temporales, hasta sus registros de 2019 (**Figura N° 13-119 B**). Cabe señalar que no se han registrado campañas de monitoreo en verano 2020, 2021, 2022 (solo algunas estaciones), 2023, 2024 y 2025 por no acceso y por la pandemia COVID-19.

Figura N° 13-119. Rango de variación temporal de las plantas vasculares acuáticas en el Sector Peine. A. Campañas Invierno y B. Campañas Verano.



(*) Para la campaña de invierno 2023 no se realizó monitoreos en lagunas de Peine, debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos.



(*) La campaña estival de 2020 no fue evaluada por cierre de actividades relacionadas con la pandemia por COVID-19: Para la campaña estival 2021, 2023, 2024 y 2025 no se realizó monitoreos en lagunas de Peine debido a su cierre temporal por el periodo reproductivo de flamencos. En la campaña verano 2022, no se tuvo acceso a las estaciones de laguna Salada (S-9) y de la laguna Saladita (SA-25). Fuente: Elaboración propia.

13.6 En relación con Área de Lagunas

13.6.1 Comparación de monitoreos con registros históricos

El análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua determinadas para el noveno año de monitoreo 2024 con respecto a los registros históricos se presenta en la Tabla N°13-43.

Tabla N°13-43. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales y datos obtenidos en el monitoreo 2024 (invierno y verano), respecto de los registros históricos (Adenda 5 RWL, 2015).

Sistema Lagunar	Superficies Lagunares (ha) - Mínima Histórica - Adenda 5**		Superficies Lagunares (ha) - Monitoreo Fase Operación*			
			Invierno 2024		Verano 2024/2025	
	ha	m²	ha	m²	ha	m²
Imágenes alta resolución						
La Punta y La Brava	31,6 feb-14	316.000	40,7	407.332,2	24,4	243.682,9
Peine	48,9 mar-06	489.000	31,4	313.749,3	27,5	275.083,5
Imágenes media resolución						
La Punta y La Brava	19,2 mar-73	192.000	40,0	400.103,0	34,0	340.036,7
Peine	25,4 nov-75	254.000	42,4	424.333,4	22,8	227.885,9

Dónde: *Superficies a partir de modelo de clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre y agosto 2024. (**): Las fechas en que se obtuvieron los registros históricos, corresponden a las que se presentaron en el "*Apéndice B. Determinación Espacio Temporal de la Vegetación Azonal y Cuerpos de agua*" del "*Anexo 2 Plan de Manejo Biótico*" y que se enmarcan en las áreas definidas por los polígonos indicados en la RCA N°21/2016 (Considerando N°7), "*Polígonos en Tabla de 3-4 del Anexo 3"* del PSAH del proyecto.
Fuente: Elaboración Propia

De los resultados de las campañas para el año 2024, se puede concluir que las estimaciones de superficies lagunares mediante imágenes de alta resolución, para la condición de invierno 2024 se encuentran por sobre el mínimo histórico en los sectores La Punta – La Brava y bajo el mínimo histórico en los sectores Peine; y para la estación de verano (diciembre 2024) los sistemas presentaron superficies bajo el mínimo histórico. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies de referencia en AR son determinadas en meses distintos (entre enero y abril) a los reportados semestralmente en el PMB (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada en los sistemas lagunares. Al respecto, cabe destacar que por este motivo, los valores de referencia no necesariamente fueron registrados en el período de registros mínimos anuales, lo que puede influir en la comparación que se hace entre estos y el seguimiento. Este tema se analiza en

mayor detalle más adelante. En el caso de las imágenes satelitales de media resolución, los resultados muestran que en ambos sectores y para las temporadas de invierno y verano, las superficies se encuentran sobre el mínimo histórico; a excepción del sector Peine para verano 2024 - 2025.

Con el objetivo de fortalecer el análisis de la serie temporal que abarca las superficies de las lagunas, y teniendo en cuenta que durante la evaluación del proyecto se recopilaron datos que ahora forman parte de los registros históricos, en este noveno año del PMB, se incorporan al análisis comparativo las superficies de las lagunas obtenidas a partir de imágenes Landsat desde 1972 hasta 2014, las cuales fueron presentadas durante la evaluación ambiental del proyecto.

Este enfoque tiene como objetivo principal explorar la evolución de las superficies lagunares a lo largo de los últimos nueve años de seguimiento semestral. Se busca determinar si estas variaciones forman parte de una variabilidad histórica tanto interanual como intranual. Este análisis se realiza considerando todos los factores que influyen en el funcionamiento de las lagunas en cada uno de los sistemas que conformar el área de estudio.

Es importante destacar que, además de las imágenes de alta resolución ya disponibles, se han incorporado imágenes de media resolución, provenientes de Landsat, para ampliar la perspectiva y enriquecer la comprensión de las dinámicas lagunares. El análisis de estas imágenes se integra en la presente discusión, contribuyendo así a una evaluación más completa y robusta de la evolución temporal de las superficies lagunares en el contexto del PMB.

De esta forma, y desde el punto de vista de las imágenes Landsat, se cuenta con los siguientes conjuntos de información, cuyo alcance metodológico particular para el análisis de la superficie lagunar se describe brevemente a continuación:

1. Superficie mediante imágenes Landsat, 1972-2014, Adenda 5 RWL (2015).

La comparativa de los datos históricos desde 1972 a 2014, realizados durante la evaluación del proyecto (por el proveedor Argongra), estudió la evolución de las superficies lagunares en fechas representativas de la máxima y mínima extensión de las lagunas (invierno, verano; julio y diciembre, respectivamente). La metodología empleada establece un proceso de clasificación en función de un índice de agua (NDWI) y un proceso de depuración de las zonas obtenidas, mediante fotointerpretación. El resultado, son las superficies de los cuerpos de agua en metros cuadrados (m^2) de los sistemas lagunares La Punta - La Brava y Peine permitiendo con ello la visualización de la evolución temporal interanual de los sistemas estudiados (Apéndice L. *Monitoreo de dinámica espaciotemporal de lagunas de la Zona Marginal del Salar de Atacama a través de imágenes satelitales LANDSAT***,** del Anexo 1: *Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama*, de la Adenda 5).

2. Superficie mediante imágenes Landsat, 2016-2024, PMB N°8 (serie complementaria al seguimiento de Albemarle).

Como complemento al análisis mencionado previamente, se incluye en este informe de PMB la serie temporal interanual correspondiente a los años 2016 a 2024. En este contexto, la metodología empleada se asemeja a la aplicada en la Adenda 5 RWL (2015). Se mantiene la referencia a meses característicos de los períodos de invierno y verano, que corresponden a las condiciones de máxima y mínima extensión lagunar, así como la estimación de la superficie lagunar a través del índice NDWI. No obstante, en esta ocasión, la estimación de la superficie lagunar se realiza mediante la creación de "máscaras de agua", es decir, una clasificación binaria que distingue entre valores de agua y no agua. El resultado final implica el análisis de la frecuencia de píxeles con valores positivos para agua (NDWI > 0, con un umbral establecido en 0) y su conversión a metros cuadrados (m^2). El valor de umbral se determinó a través de la observación de histogramas, el muestreo aleatorio de píxeles y la verificación de los umbrales utilizados en los monitoreos realizados entre 2016 y 2024. Este ejercicio permitió identificar que los píxeles con valores positivos reflejan la variación del índice NDWI en áreas ocupadas por la laguna, mientras que los valores negativos están mayormente asociados a otros tipos de cobertura.

Para todas las imágenes, la automatización del proceso de adquisición de los registros de NDWI se lleva a cabo mediante la plataforma Google Earth Engine (GEE). Dentro de las etapas metodológicas y durante el preprocesamiento de cada imagen Landsat, se aplica la corrección atmosférica de la reflectancia superficial. Este proceso elimina los efectos de la atmósfera en las mediciones de la luz reflejada por la superficie terrestre. Utilizando algoritmos especializados dentro de la plataforma GEE, se estimaron y ajustaron los efectos atmosféricos en las bandas espectrales, lo que permite obtener valores de reflectancia más precisos y comparables entre diferentes imágenes y momentos de captura, de acuerdo con los valores de georreferenciación ya determinados.

3. Superficie mediante imágenes Landsat, 2016-2024, PMB N°1 a N°9 (frecuencia semestral y parte del seguimiento RCA 21/2016).

En tercer lugar, se dispone de los resultados obtenidos de superficie lagunar mediante imágenes Landsat, los cuales han sido reportados en el marco de la RCA 21/2016 en los informes PMB N°1 a N°9, y cuya metodología se explica en detalle en la sección 11.1.5 de este informe. Como puede desprenderse de dicha sección, la metodología considera un modelo de clasificación supervisada basado en una serie de parámetros espectrales, así como la validación en terreno/fotointerpretativa.

De esta forma, las superficies resultantes del PMB entregan en mayor detalle las superficies de los cuerpos de agua, ya que cuentan con la combinación de cuatro índices espectrales y el trabajo en terreno y/o fotointerpretativo como base para la definición de áreas del recubrimiento agua. No obstante, estas pueden ser contrastadas referencialmente con la serie de tiempo de

NDWI histórica (1972 – 2014) y su complemento (2016 – 2024), ya que estas establecen los rangos ocupados por cuerpos de agua en un contexto de larga data. A pesar de que las áreas determinadas a partir de las imágenes Landsat involucran diversas metodologías utilizadas por distintos proveedores en su análisis para Albemarle en el pasado, estas diferencias no constituyen obstáculos para ampliar la perspectiva global sobre el comportamiento histórico de los sistemas lagunares, en el sentido de las tendencias y cambios presentados. Las principales diferencias radican en la automatización del proceso y la validación fotointerpretativa como parte del cálculo de superficies. En resumen, la información recopilada a partir de las imágenes Landsat ofrece una visión comprensiva y de más larga data acerca del comportamiento histórico, y por ende, se analiza de manera conjunta, tanto a largo plazo (tendencia) como a corto plazo (respuesta frente a eventos de precipitación) Este enfoque busca ampliar el espectro de variabilidad en las superficies lagunares en comparación con el análisis basado en imágenes de alta resolución (AR). Respecto de esto último, es importante señalar que las imágenes de alta resolución corresponden únicamente a 4 o 5 entre los años 2006 y 2015. Además, es pertinente destacar que estas imágenes se tomaron específicamente en marzo-abril para el sistema Peine, y entre enero y abril para La Punta La Brava, no coincidiendo con el período del seguimiento y no correspondiendo necesariamente a registros mínimos anuales.

En síntesis, de manera complementaria al análisis interanual realizado con imágenes Landsat, en la presente sección se realiza un análisis por sector de la variación intranual que toma como referencia la máxima cantidad de imágenes Landsat disponibles por año (Ver **Anexo Área de Lagunas**) tomando en consideración aquellas que no presenten errores de origen o alta cobertura de nubes. La serie intranual permite visualizar los cambios entre periodos secos – lluviosos y su posible relación con variables ambientales (precipitación).

Finalmente, se presenta para cada sector un análisis de los resultados de superficie lagunar obtenidos en el marco de PMB, utilizando imágenes de alta resolución, los cuales son contrastados referencialmente con datos de superficie lagunar determinados mediante imágenes de alta resolución en el Anexo 2 de la Adenda 5.

Considerando lo anterior, a continuación se describe brevemente para cada sistema lagunar, su funcionamiento y dinámica; y su análisis considerando los registros históricos tanto interanuales como intranuales. La caracterización del funcionamiento lagunar, toma como base la información del Apéndice I: *Funcionamiento Lagunar*, del Anexo 1: *Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico*, de la Adenda 5.

13.6.1.1 La Punta - La Brava

- Funcionamiento del Sistema Lagunar

De acuerdo con la información histórica, el origen de la alimentación de las lagunas del Sistema La Punta - La Brava se sitúa en las zonas distales en el extremo sur de la cuenca a mayor altura, caracterizadas por aguas cloruradas sódicas, dulces a salobres y de composición isotópica ligera representativa de las aguas de recarga de la región, provenientes de los acuíferos de Monturaqui y Negrillar. Después de atravesar los acuíferos de Monturaqui y Negrillar, las aguas alcanzan la Zona Marginal, de manera subterránea y sub-superficialmente, procedente desde flujos del Callejón de Tilopozo, no existiendo evidencias de un cauce activo que pudiese producir escorrentía superficial. En menor medida, también se producen entradas procedentes del Cordón de Lila en la zona de Tucúcaro.

Una vez que las aguas subterráneas llegan a la Zona Marginal, en las proximidades de las Vegas de Tilopozo, comienza a producirse evaporación directamente desde el terreno, comenzando la dinámica de disolución y precipitación de sales. La evolución de la composición química del agua de sur a norte indica que el enriquecimiento en sales se produce principalmente por fenómenos de disolución hasta llegar a las lagunas.

En la mayor parte de la Zona Marginal la evaporación es suficiente para mantener los niveles por debajo de la superficie. Sin embargo, en el área de las lagunas de este sistema, debido a la magnitud del flujo subterráneo procedente del sur y al encuentro con la salmuera, se genera una interfase salina (zona de mezcla entre el agua dulce y salmuera) que se dispone perpendicular al flujo por lo que el agua dulce-salobre se ve forzada a ascender, aflorando en superficie y dando origen a las lagunas. Ocasionalmente se produce un mayor caudal de entrada a las lagunas, después de períodos húmedos y coincidiendo con la época invernal, lo que produce flujos subsuperficiales hacia el Núcleo que alcanzan el límite con la costra de cloruros formando los “open pools”, donde se evapora y disuelve la costra, enriqueciéndose en sales disueltas que avanzan en el tiempo hacia el interior del Núcleo, convirtiéndose en salmuera.

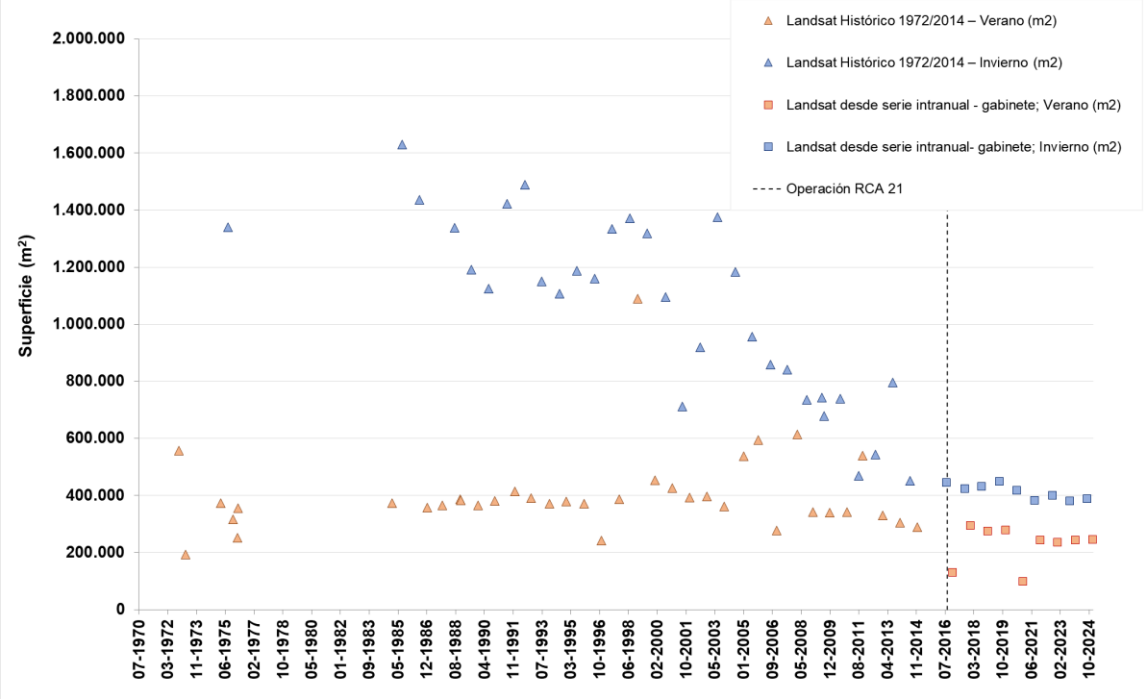
Finalmente, se indica que la superficie de las lagunas está condicionada principalmente por la variación estacional de la evaporación, y en menor medida por la ocurrencia de episodios de lluvia, que lo que provocan es un aumento general de los máximos y mínimos anuales en función de si se está en un período húmedo o uno seco.

- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 RWL (2015) y seguimiento PMB)

En la Figura N°13-120 se presenta la serie histórica entre los años 1972 - 2014 de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, asociadas al índice NDWI. Esta serie permite analizar tendencias o evolución. En ella se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce durante los meses de invierno (indicados en colores celestes); y con los registros más bajos (o mínimos) en verano.

Se observa una tendencia histórica al descenso de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto), y para las superficies registradas en los veranos (enero – febrero, noviembre - diciembre) presentan variabilidad en sus valores. En general, se observa que la diferencia entre superficies entre los inviernos y veranos se ha ido acortando desde el año 2008, y posterior a esa fecha, se presentaría un quiebre en la tendencia de las superficies de invierno, con un descenso en las coberturas estimadas en invierno 2020 a invierno 2024. Con respecto a los resultados de verano, el verano de 2020 presenta las menores superficies estimadas, aunque dicho registro correspondería a un valor atípico (ver Figura N°13-120 a Figura N°13-122). Al respecto, cabe destacar que los valores de verano que se encuentran en general en el límite inferior del rango de superficies y que durante los últimos años presentan valores relativamente estables.

Figura N°13-120. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava.



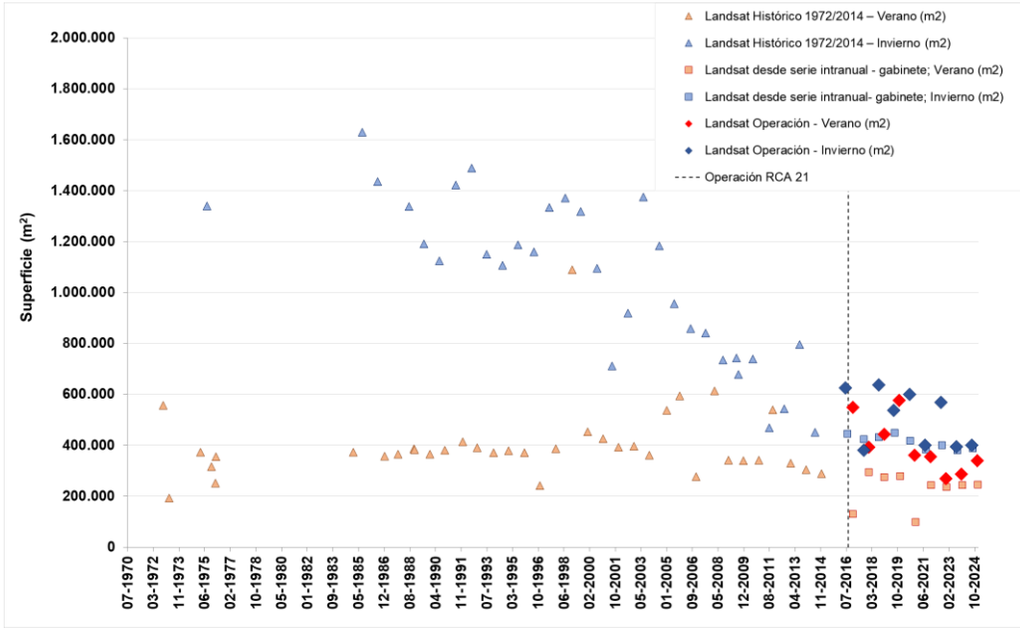
Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: *Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama*, de la Adenda 5 RWL (2015); y serie complementaria de las superficies mediante imágenes Landsat, 2016-2024. Valores registrados en verano de 2017 y 2020 (serie Landsat intranual) corresponden a observaciones atípicas (outliers).

- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie PMB) en relación con las superficies históricas (serie Adenda 5 RWL (2015) y serie complementaria)

Los registros de superficies calculadas con Landsat observadas durante el monitoreo 2016 a 2024, como parte del PMB, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI para el sector La Punta - La Brava y similares a los datos históricos, tanto en invierno y verano, considerando las superficies históricas de 1972 - 2014 y también las superficies Landsat de los años 2016 - 2024, como se observa en la **Figura N°13-121**.

Para efectos de esta comparación, es importante tener presente que, tal como se indica previamente, existen algunas diferencias en los métodos utilizados para cada una de las series comparadas.

Figura N°13-121. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PMB e históricas, Sector La Punta - La Brava.



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5 RLW (2015); y serie complementaria de las superficies mediante imágenes Landsat, 2016-2024. Valores registrados en verano de 2017 y 2020 (serie Landsat intranual) corresponden a observaciones atípicas (outliers).

- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat

En relación con las variaciones intranuales, la Figura N°13-122 muestra la fluctuación de las superficies lagunares, considerando el índice NDWI a partir de imágenes Landsat, tal como se presentó en el proceso de evaluación del proyecto, para los años 2013-2014. Para el presente análisis, se ha llevado a cabo un ejercicio similar para el periodo enero 2016 - diciembre 2024, presentando además las precipitaciones registradas en la estación meteorológica de la Planta Salar Albemarle y otros datos pluviométricos del sector cercano.

Desde este análisis intranual, se observa que durante los años 2016-2024 (Figura N°13-122), si bien se observa aumentos de superficie lagunar en invierno y descensos en período de verano, la amplitud de la variación es pequeña y no se observa una correspondencia directa entre las superficies observadas con los datos pluviométricos, sino más bien se da una respuesta puntual e inmediata, dependiendo a su vez de la magnitud y duración de las precipitaciones, como se verifica por ejemplo en el abrupto aumento de la superficie producto de la precipitación caída en invierno en agosto 2020 (23,8 mm estación planta; 36,8 mm pluviómetro sector LPLB (PLS-10)). Posterior a ello, la superficie lagunar retoma la tendencia previa al evento de lluvia. Los datos resultantes de los pluviómetros por sector muestran respuesta inmediata a los eventos de precipitaciones de enero - febrero 2019 y agosto 2020 con las variaciones en las superficies lagunares, pero con la consiguiente baja abrupta a estos eventos. Así, de acuerdo a los registros, el efecto de la precipitación en las superficies

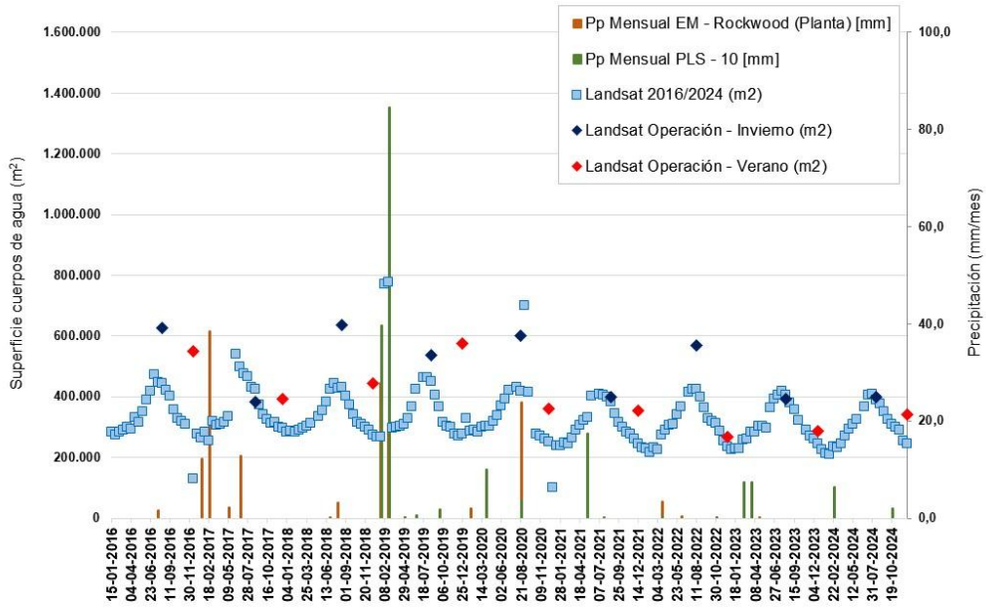
lagunares, es, desde el punto de vista temporal, acotado y no se extiende más allá de 1-2 meses luego del evento.

No se han registrado a la fecha eventos de precipitaciones en este sector que puedan generar un aporte a las superficies lagunares en seguimiento como lo observado en las fechas citadas.

De ambas series intranuales, se observa que las superficies más altas se tienen en los meses de invierno, entre julio hasta mediados de septiembre y los valores mínimos en primavera – verano, entre noviembre – marzo. De lo anterior, se puede señalar que la variación intranual de las superficies lagunares de La Punta-La Brava, tendría una relación directa con la evapotranspiración y por ende con los niveles de aguas subsuperficiales, dejando la precipitación como un factor secundario dado que esta produce variaciones significativas de la superficie sólo para eventos de "alta precipitación" y de muy corto plazo; incluso no llegando a variar las superficies si se presentan en una cantidad menor a 10 mm.

Este comportamiento es coherente con el observado en los niveles de pozos y barrenos del sector. De los registros de superficies calculadas semestrales del PMB durante los monitoreos 2016 – 2024, Figura N°13-122, se observa que coinciden temporalmente con las variaciones en la serie de tiempo de NDWI intranual y el mayor aporte de precipitaciones (agosto 2020).

Figura N°13-122. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava.



Fuente: Elaboración Propia. Valores que aparecen bajo la serie corresponden a observaciones atípicas (outliers).

Por otra parte, y a modo de complemento, la Figura N°13-123 siguiente presenta la serie Landsat histórica período dic1984-2025, elaborada para Informe[43] de Investigación de Causas

[43] Informe Técnico de Investigación de Causas Nº5, por Activación Plan Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (junio 2025)- Entregado a la SMA a través de Comprobante Cód. 1072035 del 06-06-2025, Entrega Informe de Investigación.

Nº5, por Activación PAT Sector Alerta Acuífero de Albemarle (junio 2025), con el objetivo de poder estudiar la tendencia de largo plazo de los cuerpos lagunares a través del tiempo de mayor data. Los registros obtenidos fueron utilizando la misma técnica de clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI).

Al igual que para la serie 2016-2022, se utilizaron imágenes satelitales de libre disponibilidad LANDSAT y dado el período, se recopilaron imágenes de los satélites LANDSAT-5, 7, 8 y 9. Estas escenas contienen datos de reflectancia superficial (Surface Reflectance, Level-2), una resolución espacial de 30m de píxel, y se filtraron de acuerdo con su nubosidad (condición despejada) y su calidad radiométrica (no saturada).

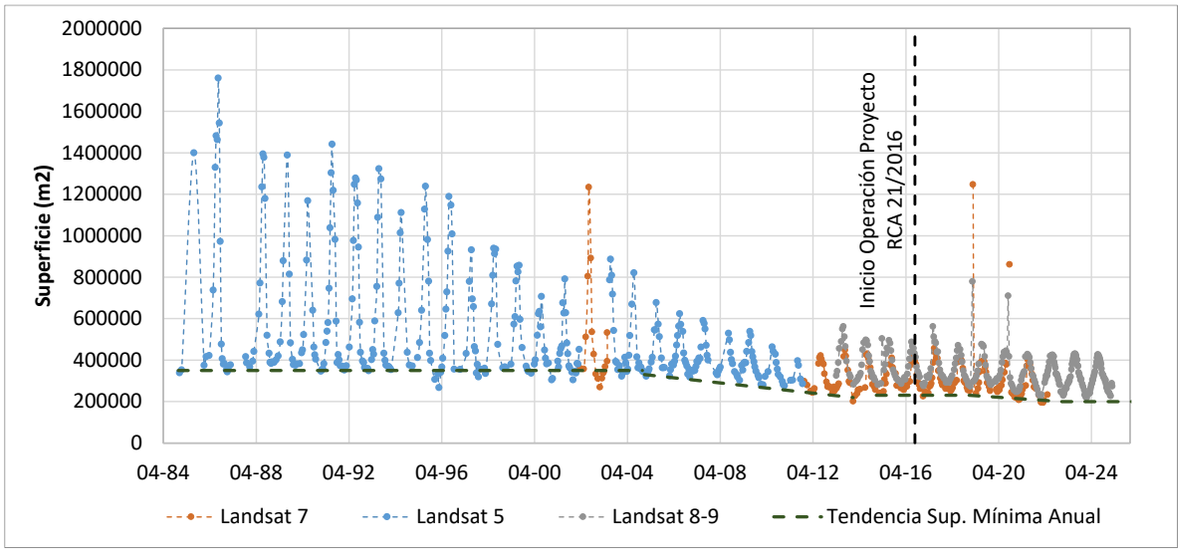
Si bien esta serie incorpora un período en que los registros se traslapan con los de la serie de tiempo de NDWI histórica (1972 – 2014), los registros no son necesariamente coincidentes, dadas sus diferencias metodológicas. Por otra parte, también presenta un período coincidente con la serie de registros intranuales obtenidos a partir de imágenes Landsat 8 (2016-2024, ver Figura N°13-122). En dicho caso, hay mayor similitud en las metodologías empleadas, lo que se manifiesta en que las series de tiempo tienen, en términos generales, muy pocas diferencias.

De la variación histórica, Figura N°13-123, se observa en primer lugar un período relativamente estable con dinámica estacional y registros máximos en invierno, que se extendió hasta alrededor de 1994/97. Con posterioridad, se verificaron dos periodos de descenso en las áreas máximas anuales previo al año 2012 (con un período intermedio de incremento debido a precipitaciones ocurridas en 2001 y 2002), en los cuales la superficie se redujo en cerca de un 70%, disminuyendo desde valores referenciales del orden de 1.200.000/1.400.000 m^2 a registros en torno a 400.000 m^2 entre 1994/97 y 2012. Adicionalmente, en este período hubo una disminución de la superficie mínima de verano, de menor magnitud, entre 2004 y 2012.

Finalmente, en el periodo 2013 a 2024 se observa una cierta estabilidad en el tamaño máximo y mínimo del área de las lagunas, que podría estar asociado al efecto amortiguador de los eventos de precipitaciones que habían ocurrido con una frecuencia de 2 años durante los meses de verano de 2013, 2015, 2017, y 2019 (y también agosto de 2020) (ver Figura N°13-122). Si bien se evidencia una leve disminución en los registros máximos y mínimos, en los últimos años estos han sido relativamente estables.

En resumen, considerando el periodo de 1984 a 2024 para el Sistema Lagunar La Punta y La Brava, se puede observar una tendencia a la baja histórica y una cierta estabilización en el último período. En efecto, durante los últimos años no se observan cambios significativos en los registros máximos y mínimos anuales.

Figura N°13-123. Variación histórica Sistema Lagunar La Punta-La Brava, Landsat NDWI (1985-2024).

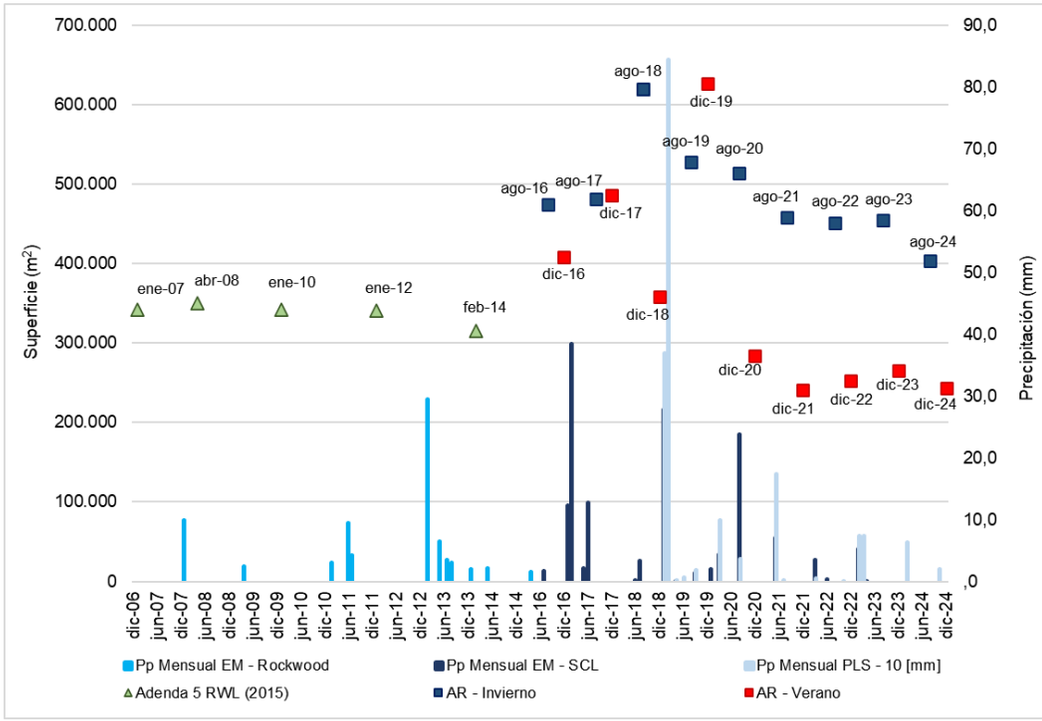


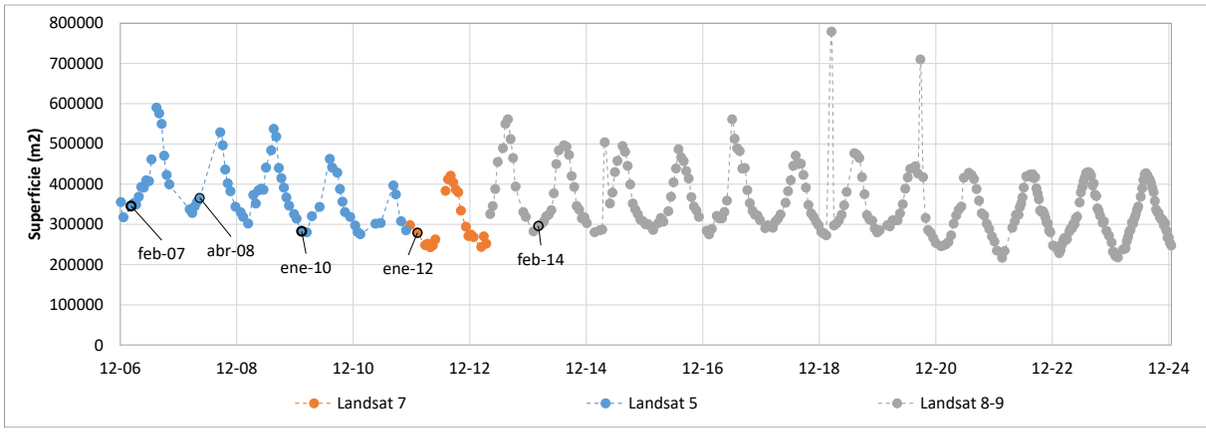
Fuente: Albemarle-HIDROMAS, 2025. Informe de Investigación N°5.

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

Con respecto a la variación de las superficies lagunares semestrales del PMB, en la **Figura N°13-124** se presentan las imágenes de alta resolución para el sector La Punta - La Brava, junto a las superficies históricas AR presentadas en la Adenda 5 RWL (2015). Las superficies semestrales derivadas de imágenes de alta resolución del PMB muestra variaciones con respecto las superficies lagunares de los registros históricos, especialmente durante los meses de verano. Hasta el verano de diciembre de 2019, estas superficies se encontraban por encima de los valores históricos. No obstante, a partir del verano de 2020, se ha observado que se sitúan por debajo de dichos valores. Para los meses de invierno no hay variaciones, con valores sobre los registros de la Adenda 5 RWL (2015). Es importante destacar que las superficies históricas en alta resolución han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PMB (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente. Para evidenciar el efecto que tienen estas diferencias en el período de medición de los registros históricos referenciales, en la **Figura N°13-124** inferior se muestra la serie Landsat con registros quincenales, en la que se destacan los cinco (5) valores asociados a las mediciones históricas. Es notable, por ejemplo, como las mediciones de abril de 2008 y de enero de 2012 están alejadas de los registros mínimos de sus respectivos años, sobrestimando dicha condición.

Figura N°13-124. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta - La Brava (superior). Serie histórica de registros Landsat, destacando mediciones de línea base (2006-2024)





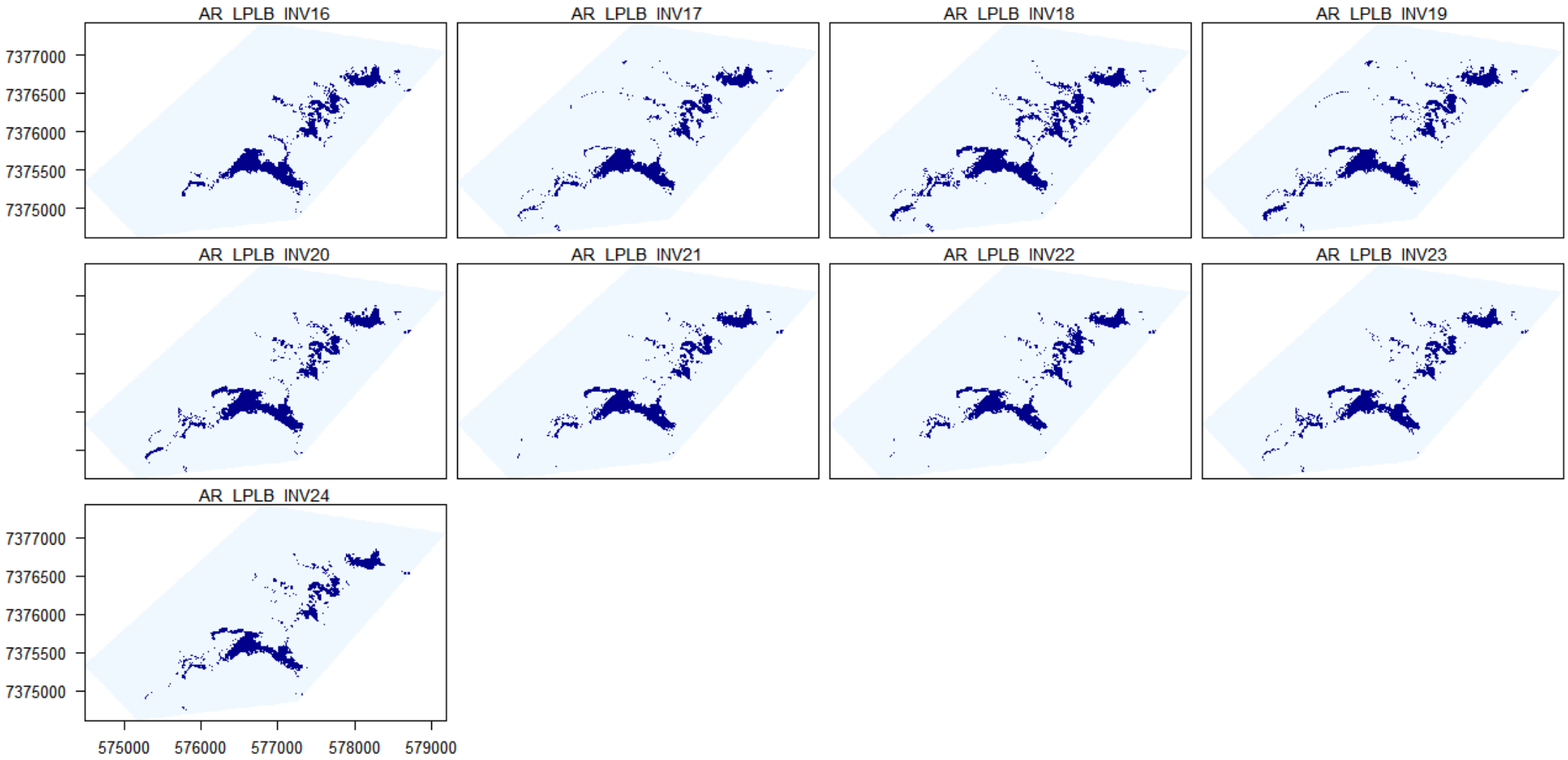
Fuente: Superior: Elaboración Propia. Inferior: Modificado de *Albemarle-HIDROMAS, 2025. Informe de Investigación N°5.*

- Comparación de imágenes de la representación espacial de las superficies lagunares entre monitoreos 2016 al 2024

Las Figura N°13-125 a la **Figura N°13-128**, muestran las superficies de los cuerpos de agua según tipo de imagen por año de monitoreo, desde 2016 a la fecha y su representación espacial respectivamente. Para el sector de La Punta - La Brava, la comparación de la superficie calculada en este sistema revela patrones cíclicos. En los **registros de invierno** la superficie de cuerpos de agua del sistema lagunar entre agosto 2016 y agosto 2024, utilizando imágenes satelitales de alta resolución (Pleiades 1A) y media resolución (Landsat 8), muestra 2 periodos. Entre agosto 2016 y agosto 2020, se observa un periodo cíclico de variación con valores mayores en agosto 2018 y agosto 2020, cuando ambas fuentes reportan valores cercanos a las 60 hectáreas. Posterior a este periodo, entre diciembre 2020 hasta la actualidad diciembre 2024, en general se tienen superficies lagunares menores, a partir de agosto 2021 comienza un periodo de disminución de las superficies de invierno. En este último año 2024, las superficies de invierno son similares a las del invierno 2023.

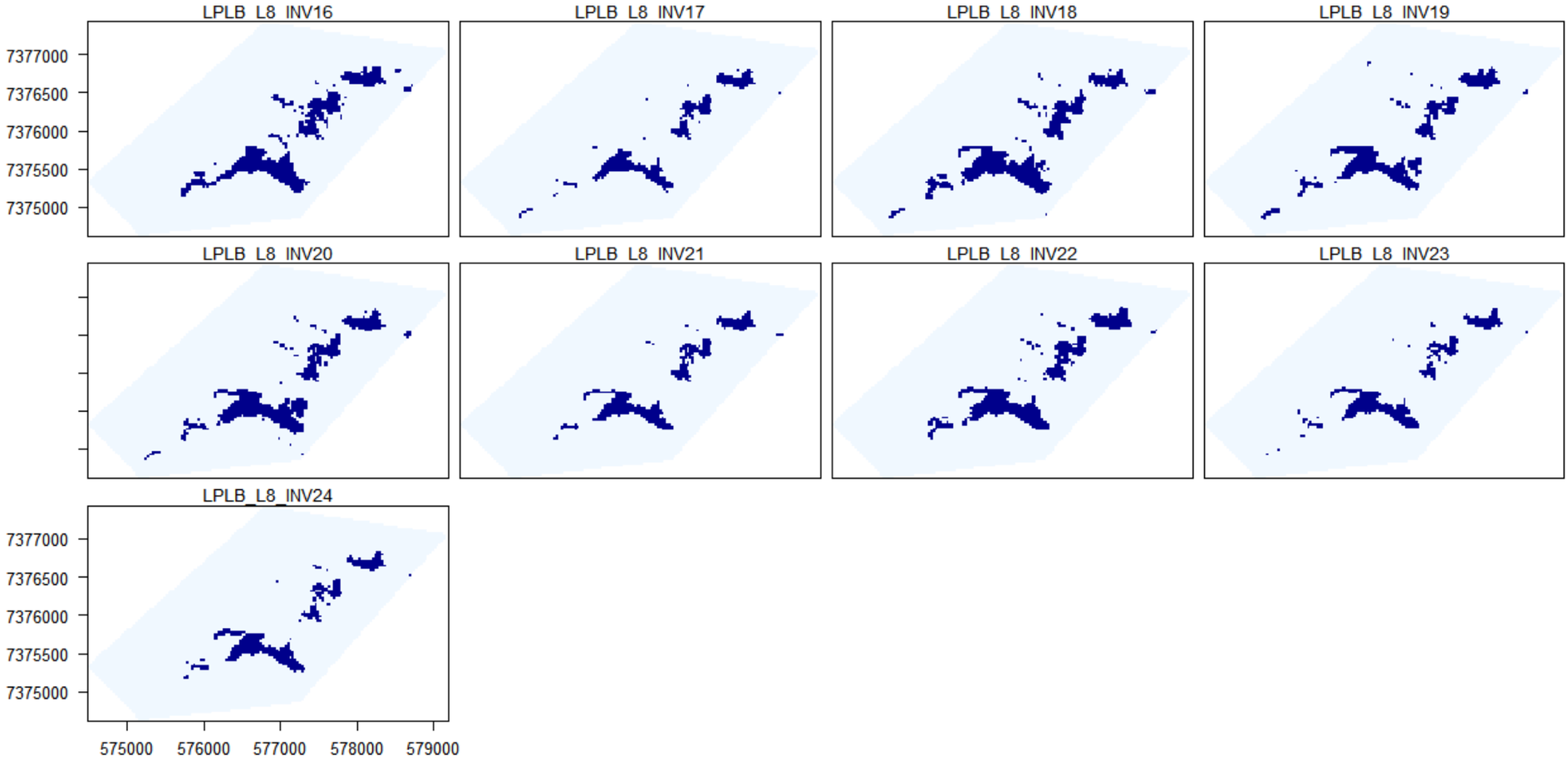
Por otra parte, el análisis de la superficie de cuerpos de agua en los **registros de verano** entre 2016 y 2024, muestra que entre 2016 y 2019 existe un aumento en la superficie de los cuerpos de agua. Durante el periodo de 2020 a 2024, la superficie en general muestra una disminución de la condición de verano, reduciéndose a valores inferiores a 28 hectáreas para AR. Landsat 8 presenta un leve incremento en 2024, mientras que Pleiades 1A mantiene valores similares a los de los años anteriores. Las diferencias entre las mediciones de Pleiades y Landsat coinciden en la tendencia general: un crecimiento inicial, seguido de una fase de reducción y mantención. En este último año 2024, las superficies de verano son muy similares a las de verano 2023.

Figura N°13-125. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



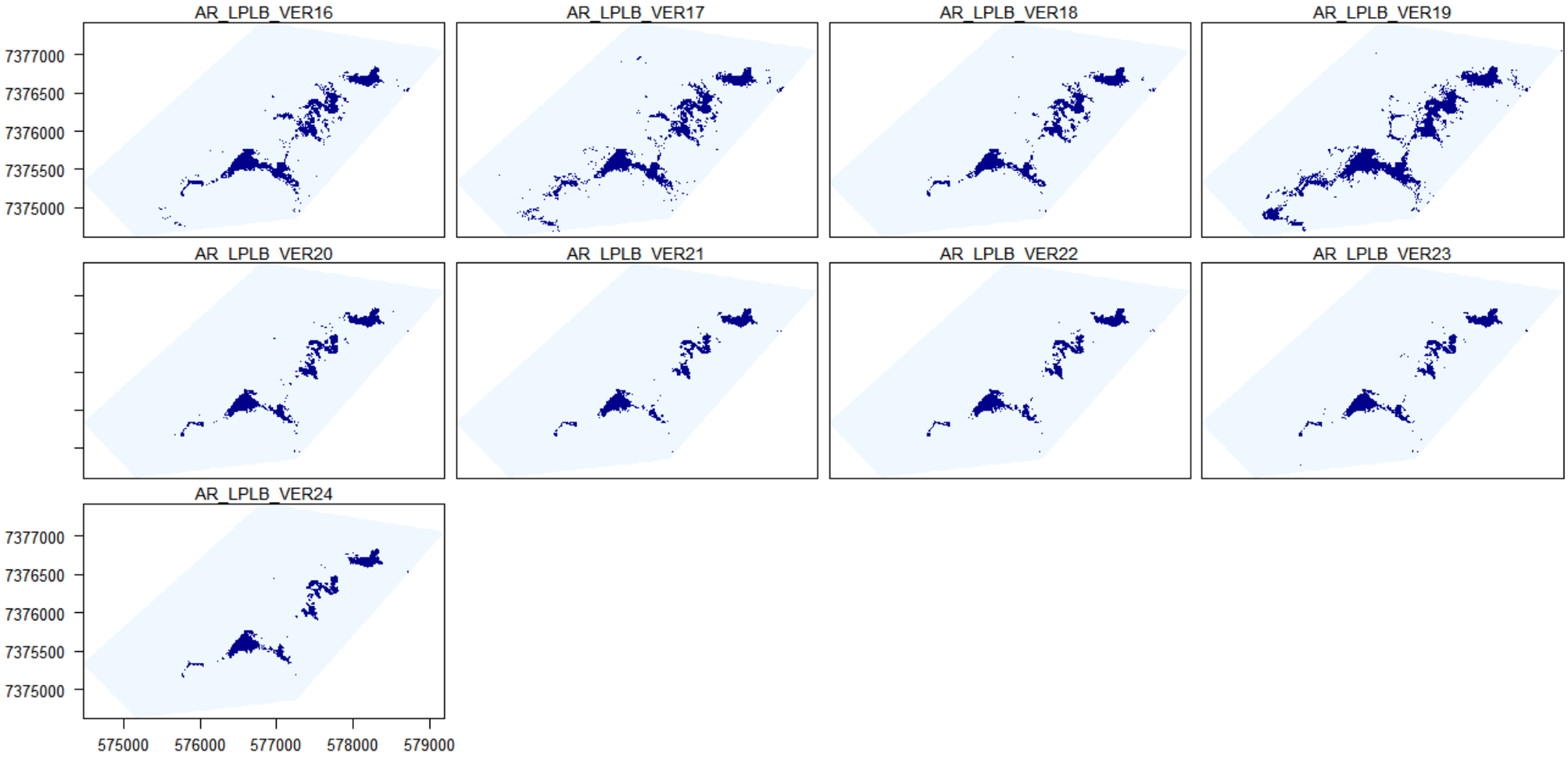
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2024

Figura N°13-126. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



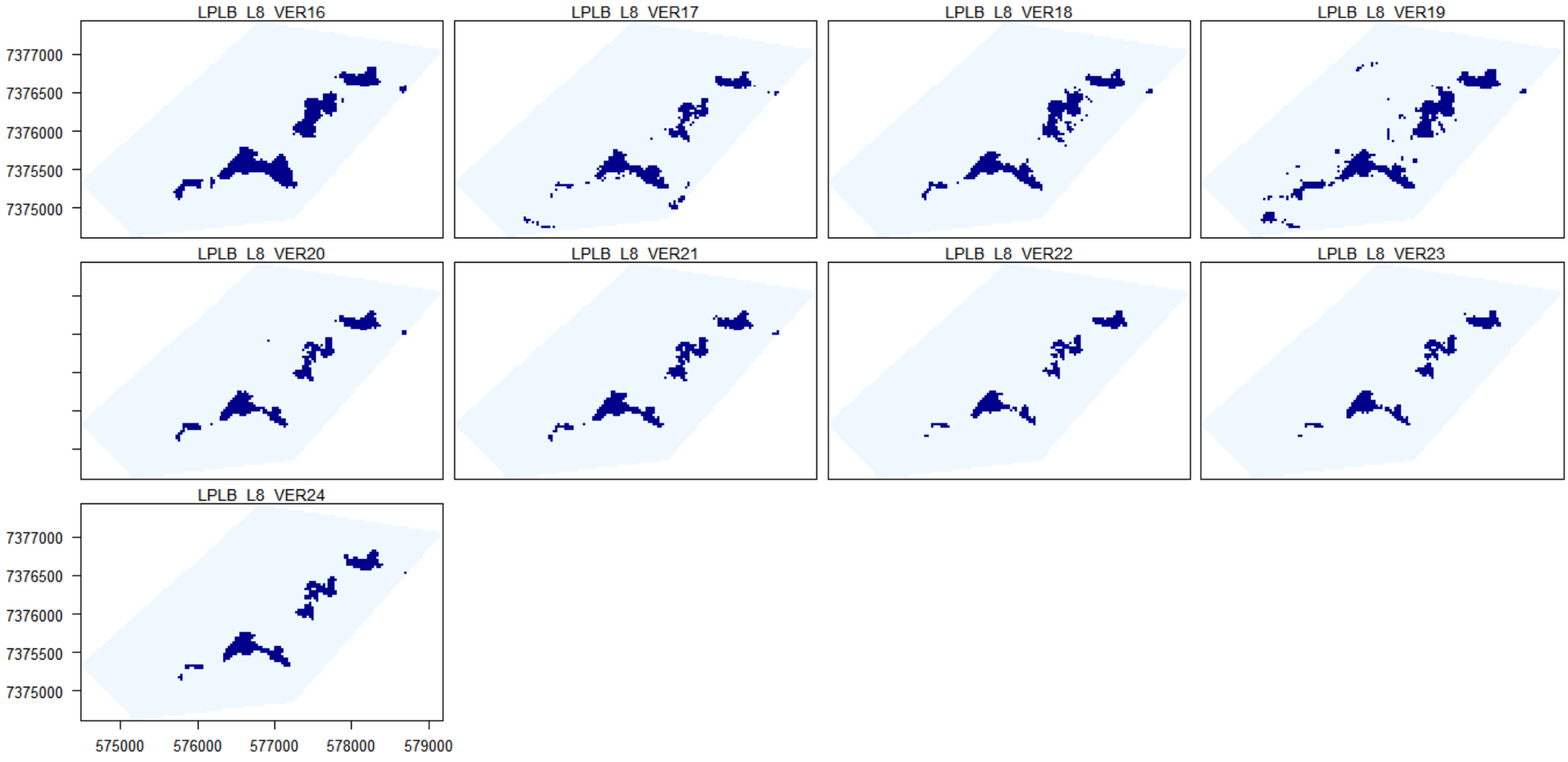
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2024

Figura N°13-127. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2024

Figura N°13-128. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2024

13.6.1.2 Peine

- Funcionamiento del Sistema Lagunar

El Modelo conceptual del funcionamiento del Sistema Peine indica que las aguas de las lagunas son alimentadas por agua subterránea procedente del sureste. En la zona donde el nivel freático del acuífero de agua salobre intercepta la superficie del terreno, se sitúan los puntos de surgencia que se disponen a lo largo de un canal situado a unos 2 km al sur de la Laguna Salada. Una vez en superficie, el agua comienza a sufrir proceso de evaporación con más intensidad, fluyendo a través de la Laguna Salada luego por la Laguna Saladita y finalmente hacia la Laguna Interna, a través de una serie de canales de ancho variable y muy poco espesor de lámina de agua. Por último, el agua de la Laguna Interna acaba adentrándose en el Núcleo de salmuera de manera superficial, disolviendo la costra de cloruros y enriqueciéndose paulatinamente en sales disueltas, hasta que finalmente, ya convertida en salmuera, se incorpora al Núcleo.

Junto con lo anterior, además se observa que en los meses estivales se produce precipitación de sales por sobresaturación debida a evaporación, mientras que en los meses de invierno y primavera es cuando mayor es el caudal hacia la Laguna Interna, produciéndose disolución.

Las columnas litológicas obtenidas en las perforaciones realizadas en la zona (Adenda 5 RWL (2015)), han mostrado la existencia de sedimentos finos laminados; principalmente limos carbonatados y materia orgánica, cuyo origen es la deposición en el fondo de antiguas lagunas. Este tipo de sedimentos presenta valores bajos de conductividad hidráulica vertical por lo que la conexión entre el acuífero y el fondo de las lagunas no es buena. El aporte principal es por tanto superficial, ya sea a través de los canales existentes, o bien a través de las orillas de las lagunas.

Para las lagunas de Peine, del modelo conceptual se tiene que existiría una cierta correlación entre el área ocupada por las lagunas, y la precipitación registrada. No se observa una variación estacional significativa de la superficie lagunar por influencia de la evaporación (en comparación con el efecto que tiene la precipitación en la misma), si fuese así se observaría un aumento de superficie en julio de 2014 (Figura N°13-129) lo cual se corrobora con el análisis intranual año 2016-2024 de la misma Figura.

De la línea base y funcionamiento de las lagunas presentado en la Adenda 5 RWL (2015), se tiene de los datos y análisis químicos e isotópicos que, "*las lagunas Saladita e Interna presentan una estrecha relación con el régimen de precipitaciones de la zona, enriqueciéndose isotópicamente en verano y empobreciéndose en invierno. Mientras que el contenido isotópico*

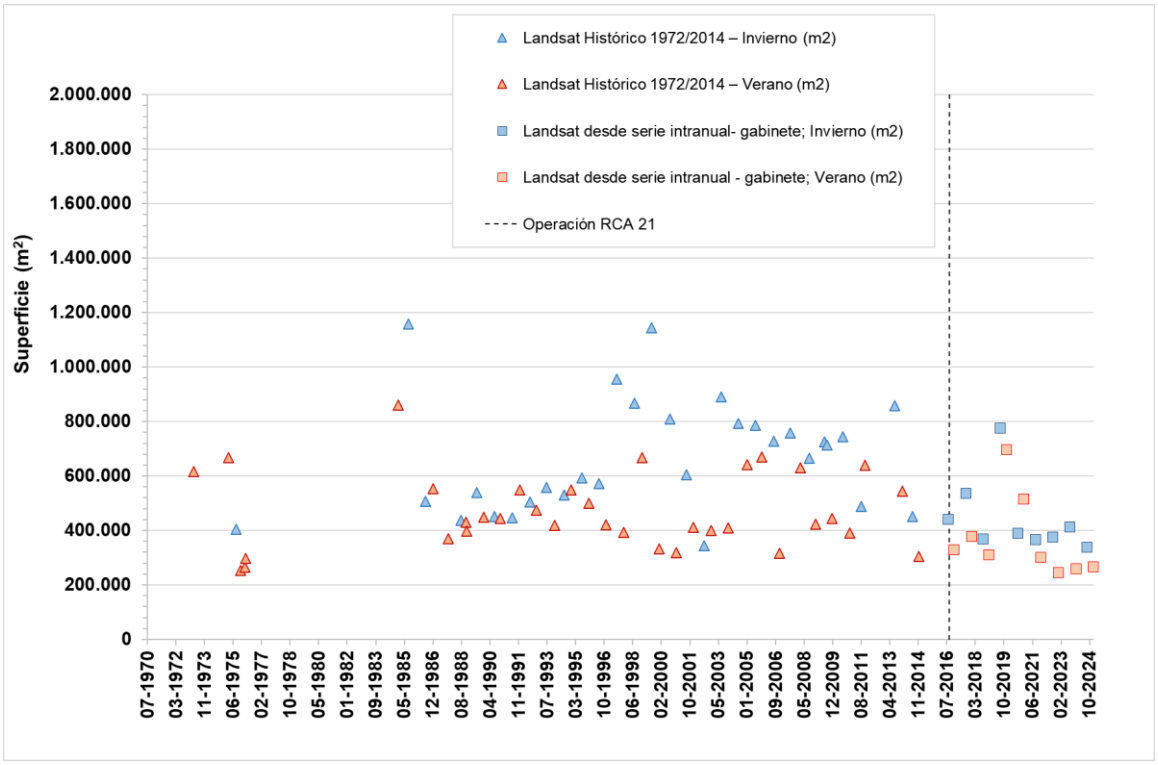
y químico de la Laguna Salada tiende a ser menos evidente a los cambios de temperatura y de evaporación". La explicación para esto se encontraría dada su cercanía a la fuente que da origen a estas lagunas.

- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 RWL (2015) y serie complementaria).

En la Figura N°13-129, se presenta la serie histórica (1972 – 2024) de imágenes de mediana resolución. Durante los inviernos hasta 2014, se observa una variabilidad marcada, con cifras máximas alcanzadas en el orden de los 1.150.000 m², y cifras mínimas de 405.000 m².

En contraste, los veranos hasta 2014 revelan una dinámica estacional diferente, con patrones de crecimiento y decrecimiento en las extensiones lagunares. Sin embargo, la serie temporal a partir de 2016 hasta 2024 muestra una más bien leve tendencia a la baja en ambas estaciones, con una cifra máxima importante en el invierno de 2019, alcanzando 774.900 m² (relacionada con las lluvias del verano del mismo año); y en los veranos desde el 2021, rangos de superficies similares a los estimados durante los años 1976/1977 (ver Figura N°13-129).

Figura N°13-129. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.

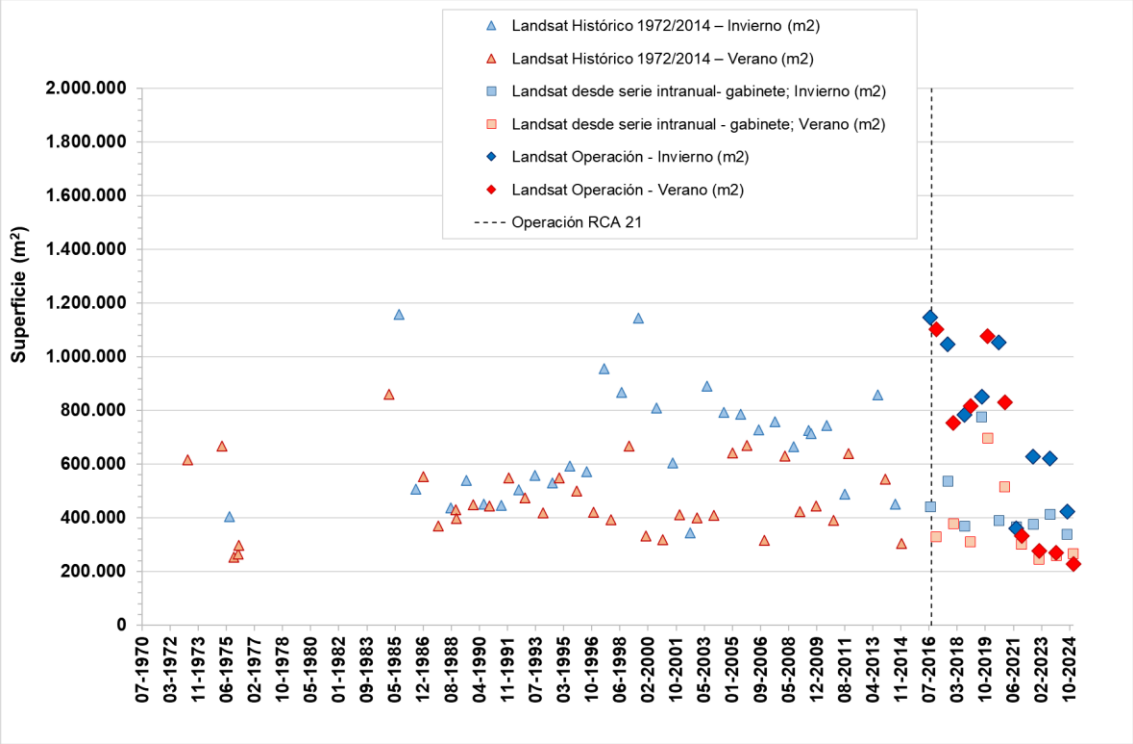


Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie PMB) en relación con las superficies históricas (serie Adenda 5 RWL (2015) y serie complementaria).

En la Figura N°13-130 se presentan las superficies lagunares observadas en el PMB entre los años 2016-2024, con relación a las superficies históricas determinadas mediante NDWI – Landsat (1972-2014). Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2024 como parte del PMB, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según la variación del índice NDWI, tanto en invierno como en verano, y para las series 1972 – 2014 y 2016 - 2024. Para los años 2016, 2017 y 2020 las superficies de invierno reportadas se encuentran en el rango de las superficies máximas, así como los registros de verano de 2016 y 2019; mientras que las mínimas se presentan en los registros de invierno y verano de 2021 y veranos de 2022, 2023 y 2024, siendo los veranos los que presentan un mayor descenso.

Figura N°13-130. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PMB e históricas, Sector Peine.



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

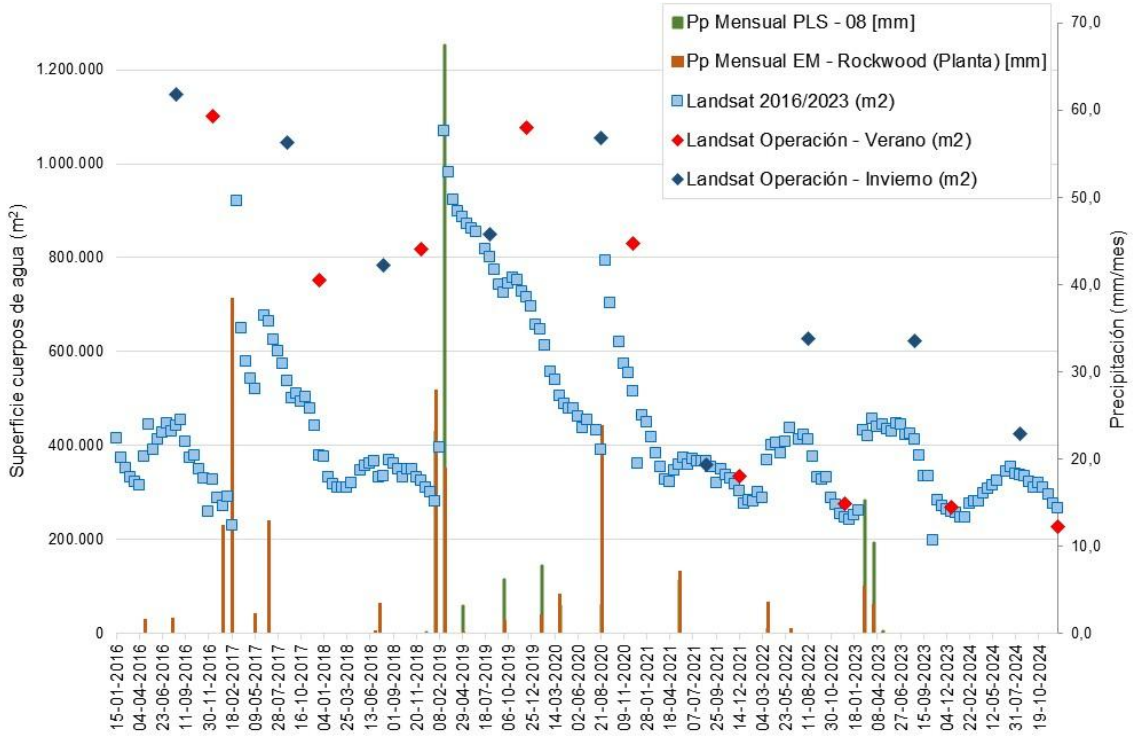
- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat

Respecto a las variaciones intranuales para el sector Peine, en la Figura N°13-131 se observa la variación de las superficies lagunares mediante el índice NDWI - Landsat para los años 2016 – 2024 y junto con ello las precipitaciones registradas en las estaciones Rockwood (ubicada en Planta Salar Albemarle) y LS08 (sector Peine). De este análisis intranual se puede apreciar que, para el período analizado, la variación intranual está principalmente dominada por los efectos producidos por los eventos de precipitación en la superficie lagunar, presentándose el mayor rango de variación en los años en que se verificaron los eventos de mayor magnitud (por ej., 2017, 2019 y 2020). Si bien la superficie presenta una dinámica estacional asociada a la evaporación, esta es de menor magnitud.

En la Figura N°13-131, se observa un ligero aumento en las superficies lagunares de Peine de mayo a septiembre de 2013, manteniéndose estables de noviembre 2013 a julio 2014. Para el periodo de 2016-2024, la serie Landsat/NDWI muestra un aumento significativo entre febrero 2019 y septiembre 2020, seguido por una disminución en los valores desde diciembre de 2020 a la fecha, valores que se mantienen por debajo de los 500.000 m^2. Estas variaciones al alza se relacionan con eventos de precipitación, como se refleja con los datos pluviométricos de enero- febrero 2019, agosto 2020 y febrero 2023.

En relación con las fluctuaciones en las superficies de lagunas según el índice Landsat/NDWI entre 2016 y 2024, así como los registros calculados como parte del PMB, se destaca que estos últimos se sitúan dentro de los valores máximos y mínimos registrados hasta diciembre de 2024. No obstante, es relevante señalar que los registros de invierno y verano de 2021 – 2022 – 2023 y 2024, se encuentran en el rango mínimo de las superficies calculadas según el índice NDWI para la serie 2016 – 2024.

Figura N°13-131. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.



Fuente: Elaboración propia

Complementario a lo anterior, y tal como se han estudiado las lagunas La Punta y La Brava, con el objetivo de analizar la evolución histórica que ha tenido el sistema Peine, es que durante el año 2022 Albemarle actualizó el estudio de las superficies lagunares de este sistema desde una ventana temporal más amplia, con el objetivo de obtener la tendencia de largo plazo de los cuerpos lagunares en un análisis de larga data. La Figura N°13-132 presenta esta serie Landsat histórica período 1985-2025, estimada para el Informe[44] de Investigación de causas Nº5 Activación PAT Sector Alerta Acuífero de Albemarle (junio 2025). Los registros se obtuvieron utilizando la misma técnica de clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), y considerando todo el sistema Peine en su conjunto, es decir, lagunas Salada, Saladita e Interna.

Para la actualización, se utilizaron imágenes satelitales de libre disponibilidad LANDSAT y dado el período, se recopilaron imágenes de los satélites LANDSAT-5, 7, 8 y 9 entre los años 1984 y 2025. Estas escenas contienen datos de reflectancia superficial (*Surface Reflectance,*

[44] Informe Técnico de Investigación de Causas Nº5, por Activación Plan Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (junio 2025)- Entregado a la SMA a través de Comprobante Cód. 1072035 del 06-06-2025, Entrega Informe de Investigación.

Level-2), una resolución espacial de 30m de píxel, y se filtraron de acuerdo con su nubosidad (condición despejada) y su calidad radiométrica (no saturada).

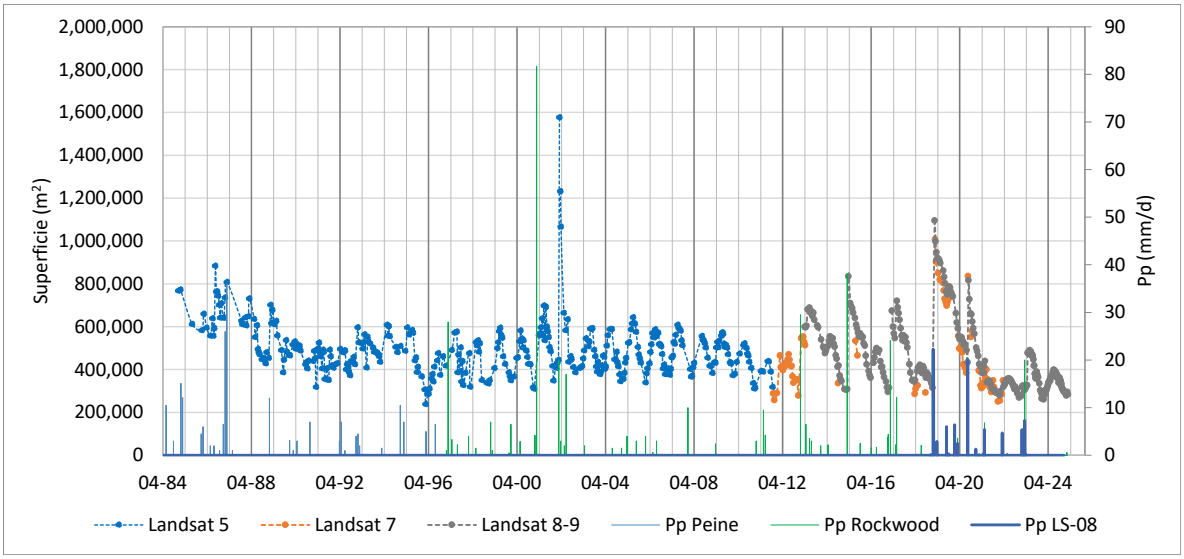
Si bien esta serie incorpora un período en que los registros se traslapan con los de la serie de tiempo de NDWI histórica (1972 – 2014), los registros no son necesariamente coincidentes, dadas sus diferencias metodológicas. Por otra parte, también presenta un período coincidente con la serie de registros intranuales obtenidos a partir de imágenes Landsat 8 (2016-2024, ver Figura N°13-131). En dicho caso, hay mayor similitud en las metodologías empleadas, lo que se manifiesta en que las series de tiempo tienen, en términos generales, muy pocas diferencias.

Analizando la variación histórica de las superficies lagunares, a través de las imágenes Landsat NDWI (1985-2024), Figura N°13-132, se observa que hubo un primer período caracterizado por una variabilidad estacional más o menos en rangos estables, principalmente entre los años 1996 y 2013, en que varió entre valores dentro del rango de 400.000 m^2 a 600.000 m^2 aproximadamente, con la excepción de una subida abrupta en marzo del año 2002, asociados a un evento de precipitaciones. Con posterioridad, desde el año 2013, el Sistema lagunar cambió su comportamiento, presentando una variación no estacional y con aumentos abruptos de superficies en promedio cada 2 años aprox. Estos aumentos grandes o peaks de áreas, han coincidido con las precipitaciones relevantes del último período (ver Figura N°13-131).

Como se puede observar, los valores registrados durante el seguimiento ambiental y en particular el año 2024, se encontraría dentro de los rangos de variabilidad histórica del sistema Peine, y de años previos (1996-2013) el que ha fluctuado de manera dinámica y variable a través del tiempo. Las variaciones de las superficies lagunares del último período, podrían estar condicionadas a la morfología de las tres lagunas que conforman el sistema Peine, en especial de la laguna Interna, dados sus desbordes y cambios en sus flujos, así como por las condiciones climatológicas del lugar.

En resumen, considerando el periodo de diciembre 1984 a 2024 para el Sistema Lagunar Peine, se puede observar una variabilidad histórica y una cierta dependencia de las condiciones locales físicas e hidrológicas, y que en principalmente en el período 2013 - 2022 se ve muy relacionado con el aporte de precipitaciones. Los dos últimos períodos, se observan con variaciones de menores rangos de amplitud, similar al comportamiento de años previos al 2013.

Figura N°13-132. Variación histórica Sistema Lagunar Peine, Landsat NDWI (1985-2024)



Fuente: Albemarle-HIDROMAS, 2025. Informe de Investigación N°5.

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

En relación con las variaciones de las superficies semestrales del PMB a través de imágenes de alta resolución para el sector Peine (ver Figura N°13-133), se evidencia una cierta variabilidad estacional manifestada por la diferencia entre las áreas de invierno y verano. Esta variación es apreciable en la mayoría de los años; sin embargo, se evidencia una disminución en esta diferencia con registros más cercanos entre inviernos y veranos. Estos hallazgos, respaldados por los resultados obtenidos a partir de imágenes Landsat, revalidan el modelo conceptual formulado durante la evaluación del proyecto. Según dicho modelo, en general, no se observa una variación estacional significativa en la superficie lagunar de Peine debido a la influencia de la evaporación, estando asociadas las variaciones principales a eventos de precipitación.

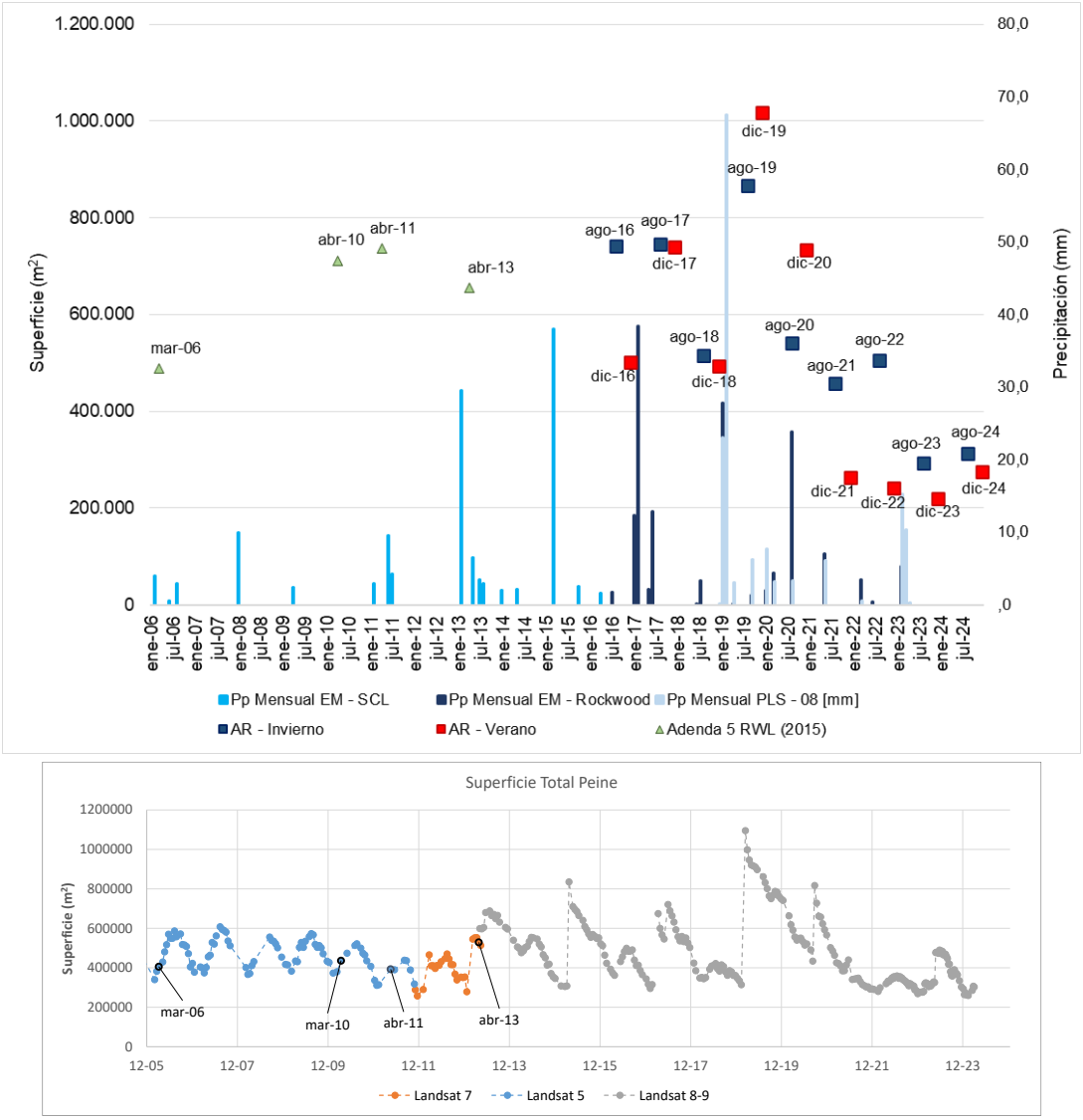
En relación con las magnitudes de las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015), se observa que las superficies semestrales del PMB, desde el invierno de 2021 hasta la fecha, se sitúan por debajo del mínimo histórico en AR, de 489,000 m^2. Es importante resaltar en esta comparativa que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses diferentes a los informados semestralmente en el PMB, específicamente en agosto y diciembre. Este aspecto es significativo considerando la variabilidad intranual previamente demostrada, ya que las condiciones pueden diferir notablemente entre los meses mencionados. Para evidenciar el efecto que tienen estas diferencias en el período de medición de los registros históricos referenciales, en la Figura N°13-133 inferior se muestra la serie Landsat con registros quincenales, en la que se destacan los cuatro (4) valores asociados a las mediciones

históricas. Es muy notorio como en ninguno de los casos se representa una condición mínima anual, lo que es más evidente en el caso de la superficie de abril de 2013.

Con respecto a las precipitaciones para el sector[45], y considerando las precipitaciones registradas por estación Peine y en los últimos años la estación de Albemarle LS-08, observando la Figura N°13-133 y los análisis descritos previamente se desprende que, principalmente desde 2013 en adelante, las precipitaciones de mayor aporte generan aumentos en la extensión lagunar, en particular por el incremento de la zona de desborde, cuyos efectos pueden mantenerse por un período de tiempo de varios meses, por lo que en algunos casos se evidencian en los registros semestrales..

[45] La recopilación de información de precipitaciones anuales de la estación meteorológica DGA – Peine, actualizada en línea hasta mayo de 2020, posterior a esta fecha no existen datos en DGA, encontrándose en estado de suspensión (diciembre 2024); por lo tanto, se agregan datos de las estaciones meteorológicas Planta Albemarle para contextualización.

Figura N°13-133. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine.

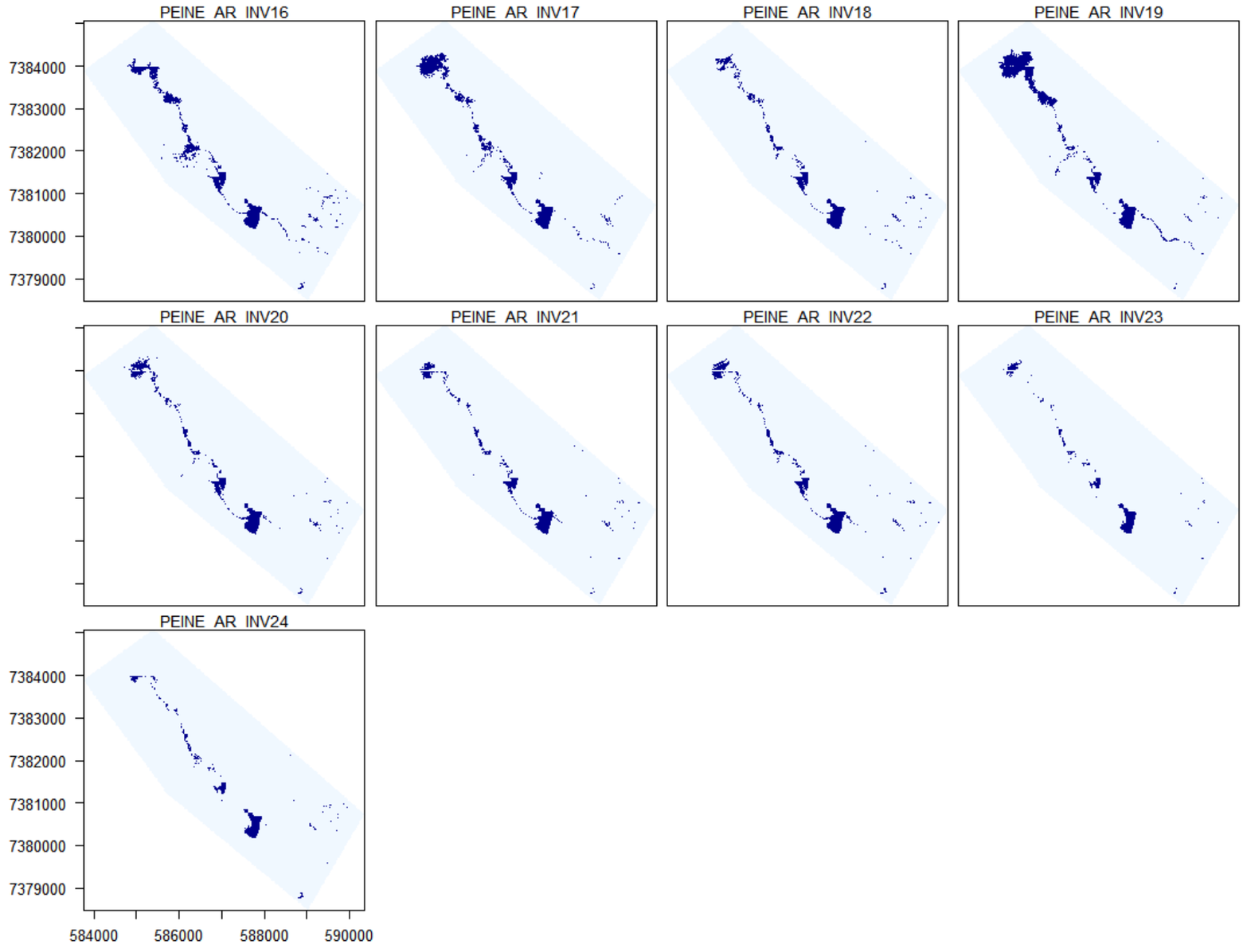


Fuente: Superior: Elaboración Propia. Inferior: Modificado de *Albemarle-HIDROMAS, 2025. Informe de Investigación N°5.*

- Comparación de imágenes de la representación espacial de las superficies lagunares entre monitoreos 2016 al 2024

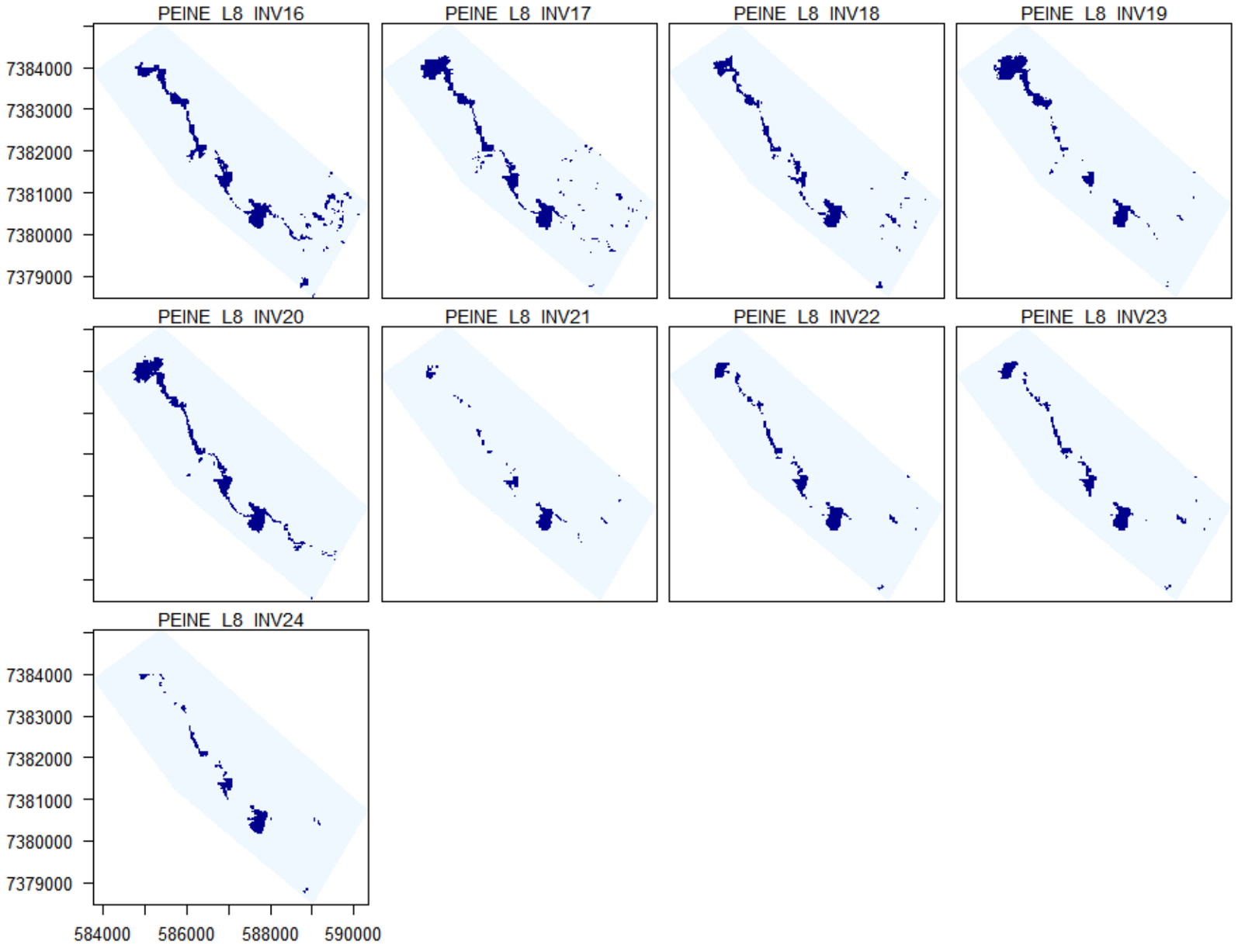
La **Figura N°13-134** a la Figura N°13-137, muestran el análisis de las superficies de lagunas en el sector Peine, evidenciando variaciones significativas en su extensión a lo largo de los años. Se observa un menor crecimiento en los inviernos de 2016 y 2017, seguido por una disminución en 2018. En el invierno de 2019, se registra un aumento considerable debido a las precipitaciones. Estas fluctuaciones indican la influencia de condiciones climáticas y otros factores en la dinámica de las lagunas. La Laguna Interna destaca como una parte significativa de los cambios, mostrando variaciones notables en su zona de inundación. En el verano de 2024, se observa además, tal como en años anteriores, una disminución de la superficie del canal en el tramo intermedio entre la Laguna Interna y la Laguna Salada. Además, el análisis de imágenes de alta resolución revela una reducción en las coberturas de cuerpos de agua desde el verano de 2021, especialmente en las áreas de Laguna Interna y Saladita, debido a variaciones en la inundación.

Figura N°13-134. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



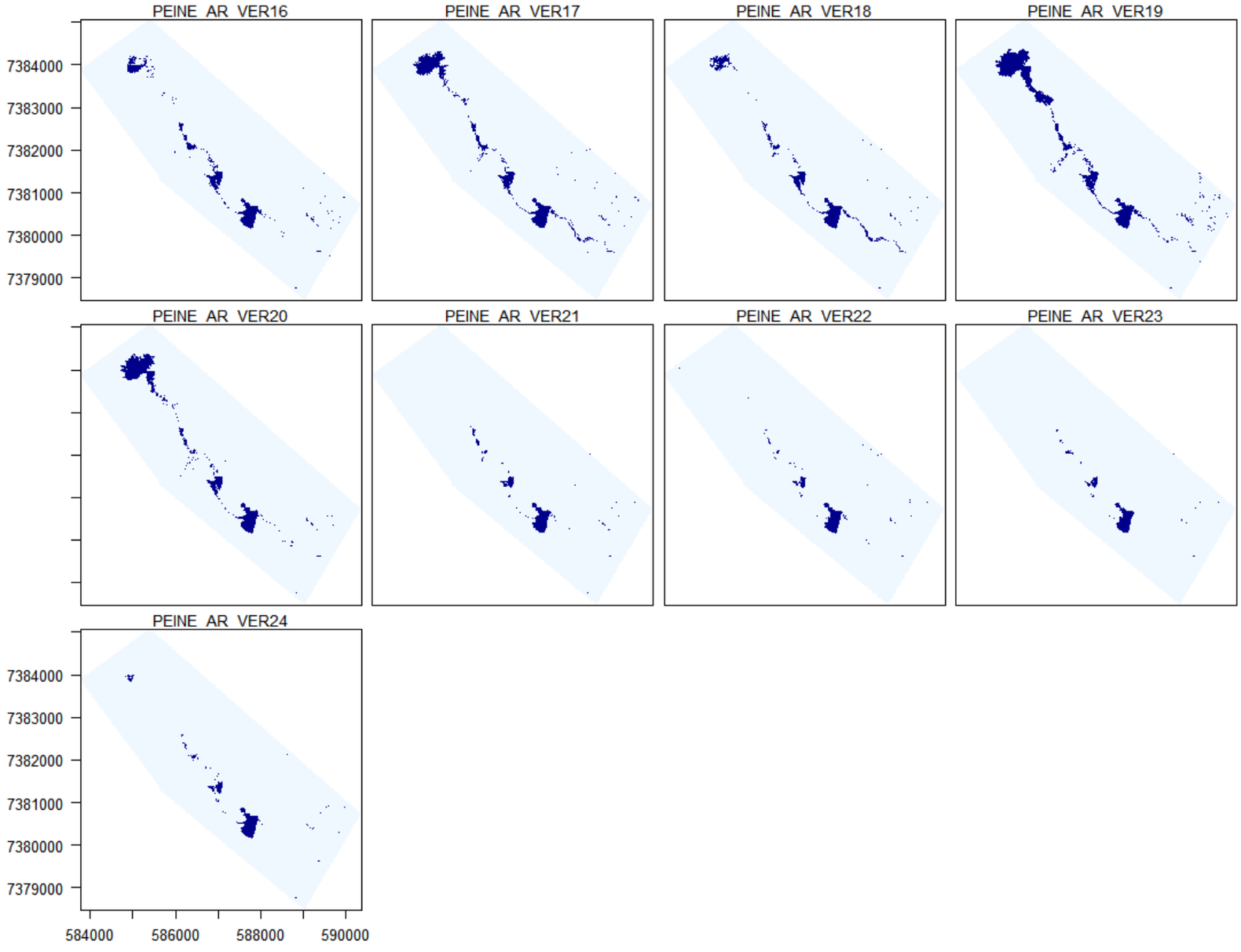
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2024.

Figura N°13-135. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



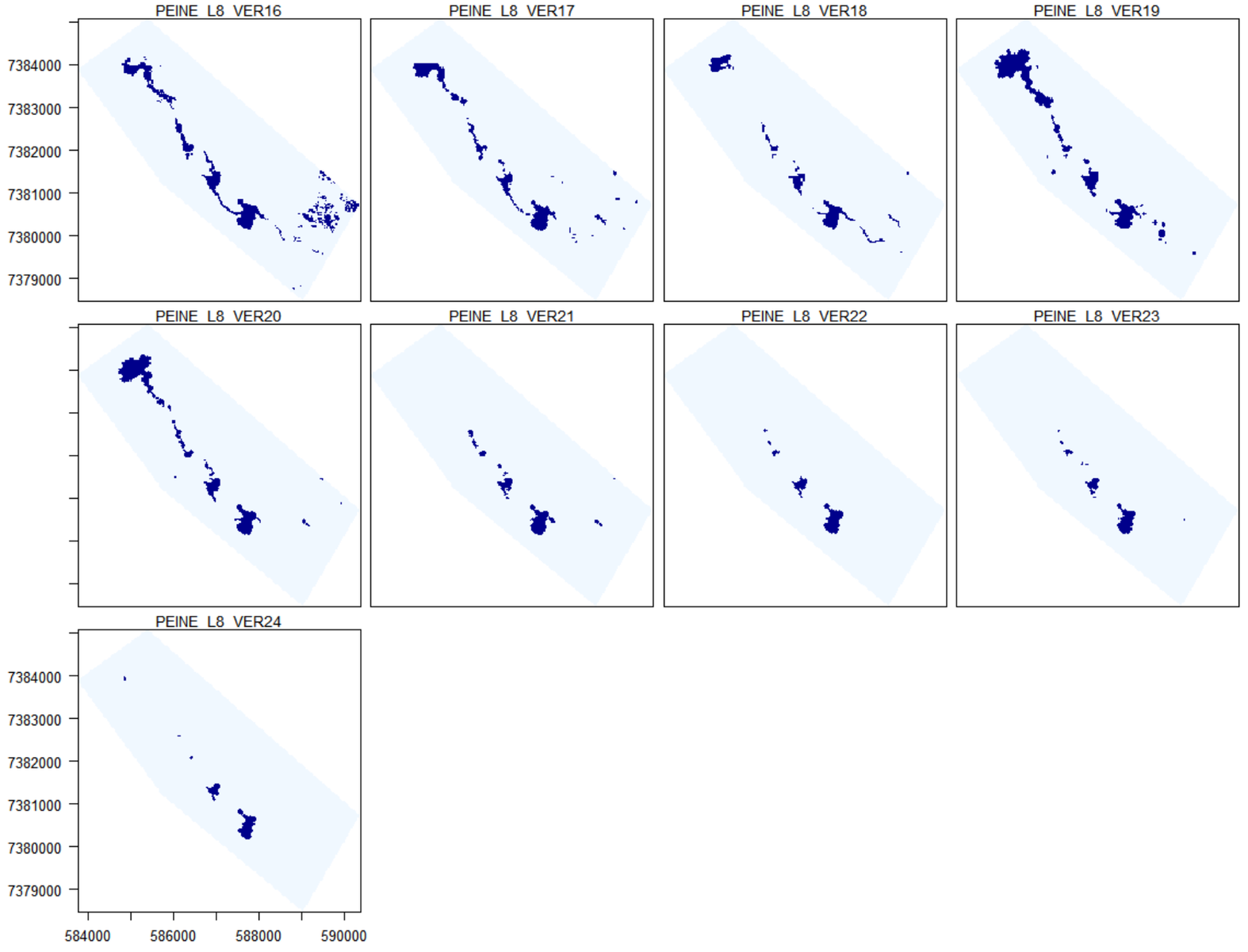
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2024.

Figura N°13-136. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2024.

Figura N°13-137. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2024), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2024.

13.6.2 Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

En general, el modelo de clasificación presenta ajustes que van de *moderado a considerable*[46] para los sistemas lagunares, con valores promedio del índice *Kappa* para el periodo 2016 – 2024 que van entre 0,80 (Peine) y 0,62 (La Punta - La Brava) desde imágenes de alta resolución; con un valor mínimo *moderado* de 0,41 en La Punta - La Brava para diciembre de 2022 y diciembre 2024, y un valor máximo *casi perfecto* de 0,96 para Peine en agosto 2020. Respecto de Landsat 8, los valores promedio del índice *Kappa* observados en el periodo 2016 – 2024 van entre 0,77 (Peine) y 0,56 (La Punta - La Brava), presentando un valor mínimo de 0,41 en La Punta - La Brava para agosto de 2023 y agosto 2024 y un valor máximo de 0,93 para Peine en agosto de 2021.

De lo anterior, se señala que los mayores ajustes corresponden a los sectores que muestran una mayor definición de los cuerpos de agua, por sus características de topografía y tipo de sustrato, ya que se encuentran total o parcialmente delimitados por una diferencia de nivel de costra salina; por lo tanto, las respuestas espectrales son más claras, facilitando la determinación de umbrales de los parámetros del modelo y la clasificación final es mayormente coincidente con los determinado en terreno o por fotointerpretación visual. Así mismo, los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes lagunares, conformando un ecotono de vegetación, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua proveniente principalmente de los parámetros NDVI y NIR, esto ocurre especialmente en invierno o en aumentos de las superficies inundadas, periodos en que la humedad del suelo alcanza mayores superficies combinados con otros recubrimientos (vegetación); sin embargo, otro factor sería el retroceso de zonas inundadas con la exposición del sustrato, que muchas veces está asociado a otros componentes como microorganismos, o en las que se acentúa la discontinuidad de las inundaciones generando parches que no son captados como unidades independientes. Además, la formación de costras salinas con un cierto grado de humedad también podría afectar los registros, disminuyendo la precisión en sitios de transición seca - húmeda.

[46] Los rangos de valores para *Kappa* son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

Tabla N°13-44. 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 - La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor
PLEIADES 1A - AR	ago-16	Superficie (ha)	47,4	74,1	33,4	258,9
		Índice Kappa	*0,45*	*0,89*	*0,72*	*0,89*
	dic-16	Superficie (ha)	40,9	50,2	18,8	255,6
		Índice Kappa	*0,82*	*0,91*	*0,86*	*0,90*
	ago-17	Superficie (ha)	48,1	74,6	122,9	336,3
		Índice Kappa	*0,50*	*0,86*	*0,55*	*0,83*
	dic-17	Superficie (ha)	48,6	74,1	27,8	220,3
		Índice Kappa	*0,73*	*0,83*	*0,59*	*0,84*
	ago-18	Superficie (ha)	61,9	51,5	85,2	257,6
		Índice Kappa	*0,78*	*0,88*	*0,67*	*0,85*
	dic-18	Superficie (ha)	35,9	49,4	13,0	164,1
		Índice Kappa	*0,83*	*0,80*	*0,75*	*0,94*
	ago-19	Superficie (ha)	52,8	86,7	57,8	232,9
		Índice Kappa	*0,66*	*0,83*	*0,66*	*0,92*
	dic-19	Superficie (ha)	62,7	101,7	39,8	216,5
		Índice Kappa	*0,79*	*0,91*	*0,76*	*0,95*
	ago-20	Superficie (ha)	51,4	54,2	17,2	255,3
		Índice Kappa	*0,64*	*0,96*	*0,88*	*0,98*
	dic-20	Superficie (ha)	28,4	73,5	8,5	168,9
		Índice Kappa	*0,62*	*0,73*	*0,37*	*0,94*
	ago-21	Superficie (ha)	45,8	45,7	15,6	204,0
		Índice Kappa	*0,80*	*0,92*	*0,69*	*0,91*
	dic-21	Superficie (ha)	24,1	26,4	8,9	142,3
		Índice Kappa	*0,61*	*0,78*	*0,67*	*0,92*
	ago-22	Superficie (ha)	45,1	50,5	18,3	190,1
		Índice Kappa	*0,67*	*0,90*	*0,57*	*0,95*
	dic-22	Superficie (ha)	25,3	24,2	6,2	135,5
		Índice Kappa	*0,41*	*0,71*	*0,50*	*0,87*
	ago-23	Superficie (ha)	45,5	29,4	18,9	177,3
		Índice Kappa	*0,56*	*0,52*	*0,40*	*0,89*
	dic-23	Superficie (ha)	26,6	22,0	5,9	112,9
		Índice Kappa	*0,46*	*0,62*	*0,64*	*0,82*
	ago-24	Superficie (ha)	40,7	31,4	70,9	155,5
		Índice Kappa	*0,46*	*0,53*	*0,62*	*0,99*
	dic-24	Superficie (ha)	24,4	27,5	3,0	125,8
		Índice Kappa	*0,41*	*0,79*	*0,48*	*0,95*
		Promedio Kappa	***0,62***	***0,80***	***0,63***	***0,91***
LANDSAT 8 - MR	ago-16	Superficie (ha)	62,6	114,7	58,2	269,9

Tipo de imagen	Fecha monitoreo	Indicadores de monitoreo	Sistema Lagunar			
			La Punta - La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor
		Índice Kappa	*0,47*	*0,83*	*0,72*	*0,78*
	dic-16	Superficie (ha)	55,0	110,3	41,6	233,8
		Índice Kappa	*0,62*	*0,83*	*0,74*	*0,77*
	ago-17	Superficie (ha)	38,2	104,6	263,8	393,3
		Índice Kappa	*0,50*	*0,74*	*0,71*	*0,73*
	dic-17	Superficie (ha)	39,3	75,3	103,7	189,7
		Índice Kappa	*0,54*	*0,59*	*0,57*	*0,82*
	ago-18	Superficie (ha)	63,7	78,4	88,6	296,1
		Índice Kappa	*0,55*	*0,73*	*0,72*	*0,83*
	dic-18	Superficie (ha)	44,4	81,7	17,4	255,3
		Índice Kappa	*0,84*	*0,83*	*0,63*	*0,90*
	ago-19	Superficie (ha)	53,8	85,1	40,9	234,3
		Índice Kappa	*0,54*	*0,79*	*0,81*	*0,81*
	dic-19	Superficie (ha)	57,7	107,8	49,9	248,2
		Índice Kappa	*0,59*	*0,76*	*0,86*	*0,88*
	ago-20	Superficie (ha)	60,0	105,4	18,7	331,6
		Índice Kappa	*0,56*	*0,77*	*0,80*	*0,78*
	dic-20	Superficie (ha)	36,1	83,0	8,5	225,5
		Índice Kappa	*0,44*	*0,73*	*0,75*	*0,72*
	ago-21	Superficie (ha)	40,0	36,0	15,6	216,1
		Índice Kappa	*0,92*	*0,93*	*0,75*	*0,93*
	dic-21	Superficie (ha)	35,5	33,4	24,0	235,1
		Índice Kappa	*0,50*	*0,87*	*0,51*	*0,84*
	ago-22	Superficie (ha)	56,9	62,8	36,0	196,3
		Índice Kappa	*0,59*	*0,83*	*0,52*	*0,94*
	dic-22	Superficie (ha)	26,9	27,7	17,8	184,8
		Índice Kappa	*0,46*	*0,75*	*0,64*	*0,81*
	ago-23	Superficie (ha)	39,4	62,2	28,8	219,7
		Índice Kappa	*0,41*	*0,75*	*0,45*	*0,94*
	dic-23	Superficie (ha)	28,8	26,9	13,0	119,1
		Índice Kappa	*0,57*	*0,72*	*0,47*	*0,83*
	ago-24	Superficie (ha)	40,0	42,4	59,8	154,0
		Índice Kappa	*0,41*	*0,75*	*0,58*	*0,98*
	dic-24	Superficie (ha)	34,0	22,8	6,2	141,2
		Índice Kappa	*0,56*	*0,62*	*0,37*	*0,93*
		Promedio Kappa	***0,56***	***0,77***	***0,64***	***0,85***

Fuente: Cedrem Consultores.

13.7 En relación con Nivel Freático en Lagunas

En la Figura N° 12-3 y Figura N° 12-4 y, se observa gráficamente la variación temporal del nivel freático desde el año 2013 a la fecha (marzo 2025). Es importante tener presente que, si bien se cuenta con alrededor de 12 años de registros, la línea base presentada en el Anexo 3 de la Adenda 5 se extendió por 2 años y 4 meses (entre mayo de 2013 y agosto de 2015). Considerando que la construcción del Proyecto comenzó en abril de 2016, esto implica un total de 3 años de mediciones históricas (mayo 2013 a abril de 2016), entendiendo por período "Histórico" al previo al inicio del Proyecto.

13.7.1 Análisis comparativo invierno 2024 y verano 2025

Los registros de los pozos se presentan en la Figura N° 12-3 y Figura N° 12-4. En estas se observa para el presente período de monitoreo (abril 2024 a marzo 2025) que el nivel freático mantuvo una variabilidad natural cíclica (estacional), con valores de cota de nivel generalmente más altos (agua más somera) en invierno (junio a agosto) y más profundos en verano (diciembre a marzo), dando cuenta del efecto de la evapotranspiración en el nivel freático. La variabilidad antes mencionada es muy marcada para los pozos del sector La Punta – La Brava, con ciclos anuales bien definidos. En el caso del Sector Peine, se observa esta estacionalidad en BA-22, mientras que en BA-21 se aprecia una mayor influencia de las precipitaciones, en tanto que el efecto de la evapotranspiración es de menor magnitud, presentando una muy baja variabilidad estacional. Esto puede observarse en los cambios en el nivel freático, luego de eventos de precipitación tales como marzo 2015, marzo 2017, enero-febrero 2019 y agosto 2020.

Con respecto a la amplitud de la variación estacional del nivel freático para el período 2024-2025, en La Punta - La Brava el rango varió entre 10,3 cm (BA-05) y 6,4 cm (BA-16), disminuyendo estos valores respecto al año previo. Para los pozos del Sector Peine, no es posible determinar una amplitud representativa de la variabilidad estacional, dado que no se cuenta con registros del período de mayor profundidad del nivel freático (diciembre – marzo), por la imposibilidad de acceso entre los meses octubre de 2024 y marzo de 2025 (a excepción de un monitoreo en el pozo BA-21 en el mes de octubre), debido a que la Comunidad de Peine no permitió el ingreso por corresponder a la época de reproducción de flamencos. La diferencia entre los valores máximos y mínimos registrados entre junio de 2024 y octubre de 2024 para el punto BA-21 correspondió a 0,5 cm, mientras que la diferencia en el punto BA-22, entre junio de 2024 y septiembre de 2024, fue de 0,8 cm.

13.7.2 Análisis comparativo con valores históricos

En esta sección se realiza un análisis de la variación del nivel freático por piezómetro y por sector, respecto de los valores previos al inicio de la operación del proyecto.

13.7.2.1 Nivel freático en Sector La Punta - La Brava.

Para el **Sistema La Punta - La Brava**, en la Tabla N° 13-45 se presentan los valores de línea base e "histórico" (correspondiendo este último al período previo al inicio de la construcción del Proyecto), incluyendo los mínimos registrados y el valor mínimo y promedio en el período del último año de monitoreo.

Tabla N° 13-45. Valores Mínimos y Promedio de la Serie Sector LP-LB

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abril 2013 - Agosto 2015) Período Histórico (Abril 2013 - Marzo 2016)		Abril 2024 - Marzo 2025 (m s.n.m)[1]
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio
BA-05	LP-LB	2.300,148	2.300,131	2.300,160
BA-07	LP-LB	2.299,990	2.299,990	2.299,964
BA-16	LP-LB	2.300,845	2.300,836	2.300,867

[1]En el caso de meses con más de un registro, se utilizó el primer dato del mes, de modo de no asignarle un mayor peso en el cálculo a los meses con más mediciones.
Fuente: Elaboración propia.

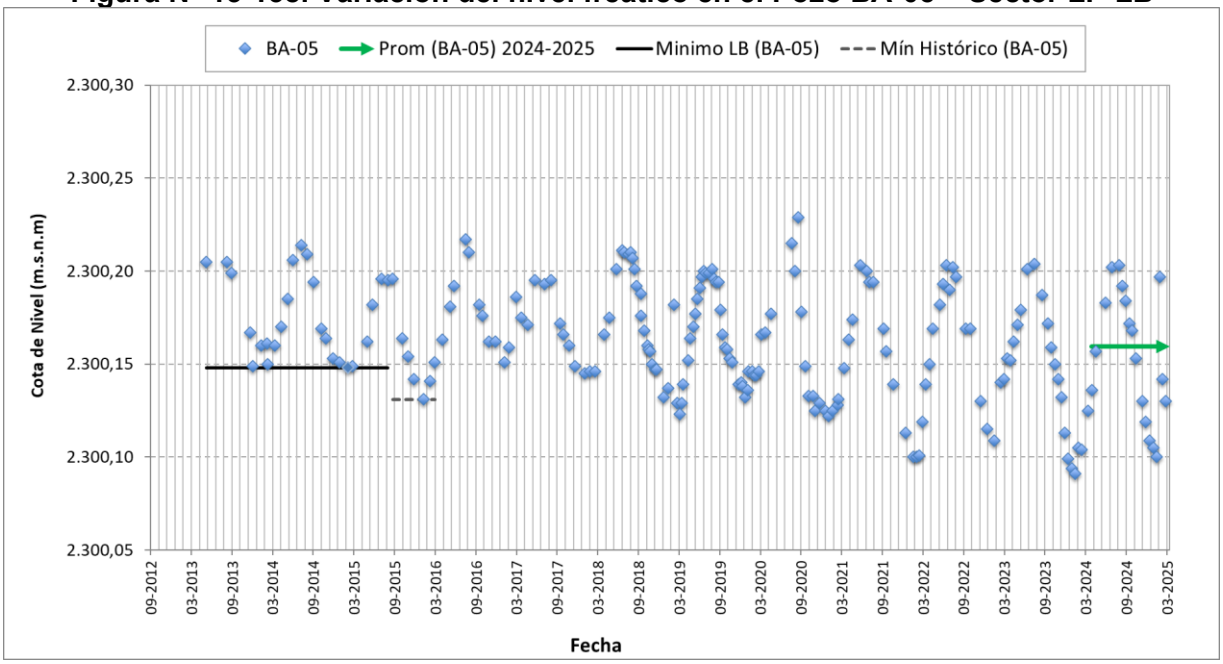
Respecto a los registros de la Tabla N° 13-45, se debe señalar que los valores de línea base corresponden al periodo desde abril 2013 hasta agosto 2015, de acuerdo a lo señalado en el Anexo 2 "Plan de Manejo Biótico" de la Adenda 5 del proyecto (Numeral 4.2.7.1 Anexo 2). Asimismo, el período "Histórico" corresponde a todo el período con registros previo al inicio de la fase de construcción del Proyecto (abril 2016). La mantención del monitoreo posterior a la línea base definida en la Adenda 5, fue para entregar continuidad a los registros de niveles mensuales, y también para poder mostrar la variabilidad y cambios que se pudieran producir previo al inicio de la fase de construcción (abril 2016) y operación del Proyecto (28 de septiembre de 2016). Tal como se observa de la Tabla N° 13-45, los registros mínimos de los pozos BA-05 y BA-16 del período septiembre 2015 – marzo 2016 (posteriores a la línea base en la Adenda 5 y previos al inicio de la fase de construcción del Proyecto), fueron inferiores a los de la Línea Base.

En las Figuras siguientes se presentan gráficamente todos los registros medidos a la fecha para los pozos del Sector La Punta - La Brava, junto con los estadígrafos antes indicados. Se muestran las gráficas por sector y además por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical.

Para el **pozo BA-05** (Figura N° 13-138 los registros muestran una leve tendencia general al descenso y un mínimo del período "histórico" en enero del año 2016 (2.300,131 m s.n.m.), inferior al valor mínimo de la línea base (2.300,148 m s.n.m), indicado con línea discontinua

(este registro corresponde al valor mínimo previo a la etapa de construcción y operación del proyecto). Desde el año 2019 se han registrado durante el período de verano diferentes mediciones inferiores al mínimo del período previo al inicio del Proyecto, con un valor mínimo igual a 2.300,091 m s.n.m, en enero de 2024. En relación al verano de 2024-2025, el registro mínimo se verificó en enero de 2025, correspondiendo a 2.300,100 m s.n.m, valor superior al registrado el año anterior. Además se destaca un aumento del nivel durante el mes de febrero de 2025, que alcanzó un nivel similar al máximo de invierno de 2024 (2.300,197 m s.n.m), influenciado por un evento de precipitación ocurrido durante la primera quincena del mes de febrero, el cuál duró 5 días y en donde se registró un valor de precipitación acumulada levemente superior a 10 mm al sur del sector La Punta – La Brava (estaciones LZA10-1, de SQM y pluviómetro de LS-10, de Albemarle). Esto da cuenta de un aumento del registro mínimo en relación el año previo. Por otra parte, se destaca que los valores máximos del período de invierno han sido relativamente estables desde el año 2021. El valor promedio anual del nivel freático durante el último año (abril 2024 – marzo 2025) fue superior a los valores mínimos de línea base y del periodo histórico.

Figura N° 13-138. Variación del nivel freático en el Pozo BA-05 – Sector LP-LB

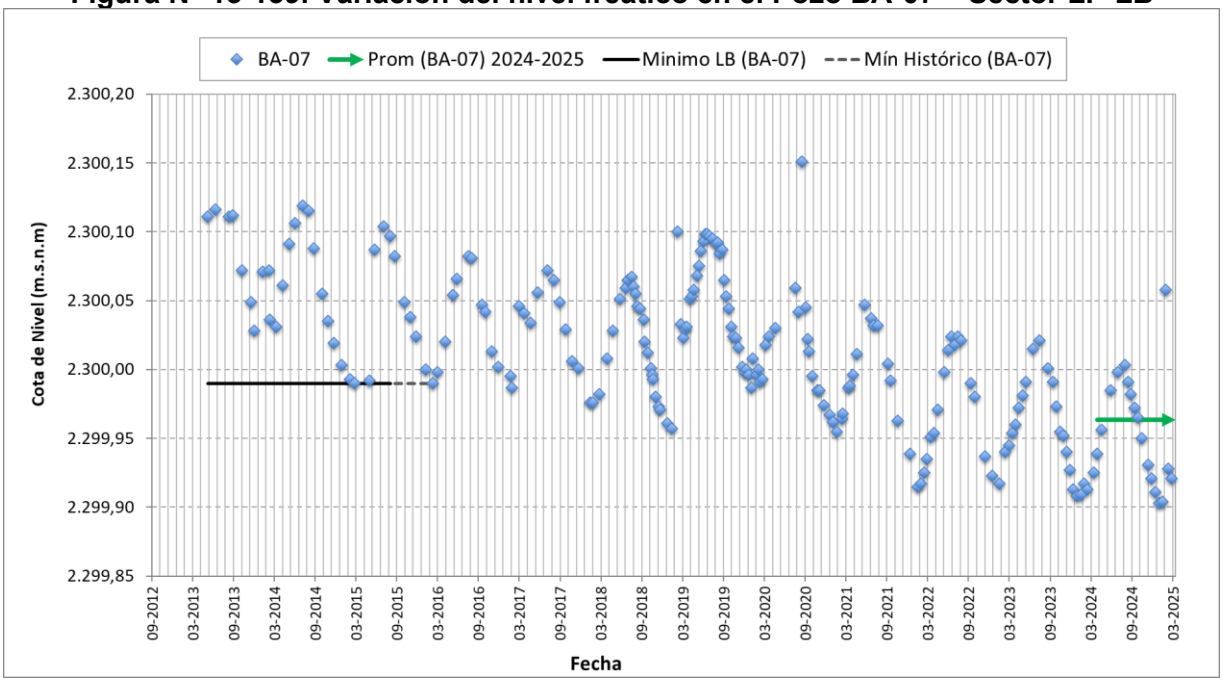


Fuente: Elaboración propia

Para el **pozo BA-07** (Figura N° 13-139), los registros de la serie presentaron una tendencia al descenso desde mayo 2013 hasta enero 2019, lo que produjo que fueran registrados valores mínimos inferiores a los del período "Histórico". Luego del peak de febrero de 2019, asociado a las lluvias del mismo año, el pozo presentó una recuperación en su nivel freático. Sin embargo, desde el año 2020 volvió a mostrar tendencia a la profundización. Si bien entre los años 2022 y 2023 se verificó una estabilización del nivel en el pozo, reduciéndose la tendencia al descenso, el nivel mínimo registrado en el período abril 2024 - marzo 2025 fue inferior (nivel más profundo) que el mínimo del año previo y corresponde al registro más bajo medido desde mayo de 2013 (2.299,9 m s.n.m, enero de 2025). En relación a los registros de máximos de invierno, también se verificó una disminución en relación a los valores medidos en años

previos. No obstante, cabe señalar que el valor máximo medido en verano de 2025 (2.300,058, registrado en febrero) fue superior al máximo valor medido el año anterior, siendo este valor explicado por el evento de precipitaciones de febrero de 2025 indicado previamente. El promedio anual del período abril 2024 - marzo 2025 es inferior al nivel mínimo del período "Histórico" y al de línea base. Cabe señalar que la profundización del nivel freático de este pozo, dio origen a la toma de acciones preventivas por la superación del umbral desde diciembre de 2024 para el PAT sector Acuífero.

Figura N° 13-139. Variación del nivel freático en el Pozo BA-07 – Sector LP-LB



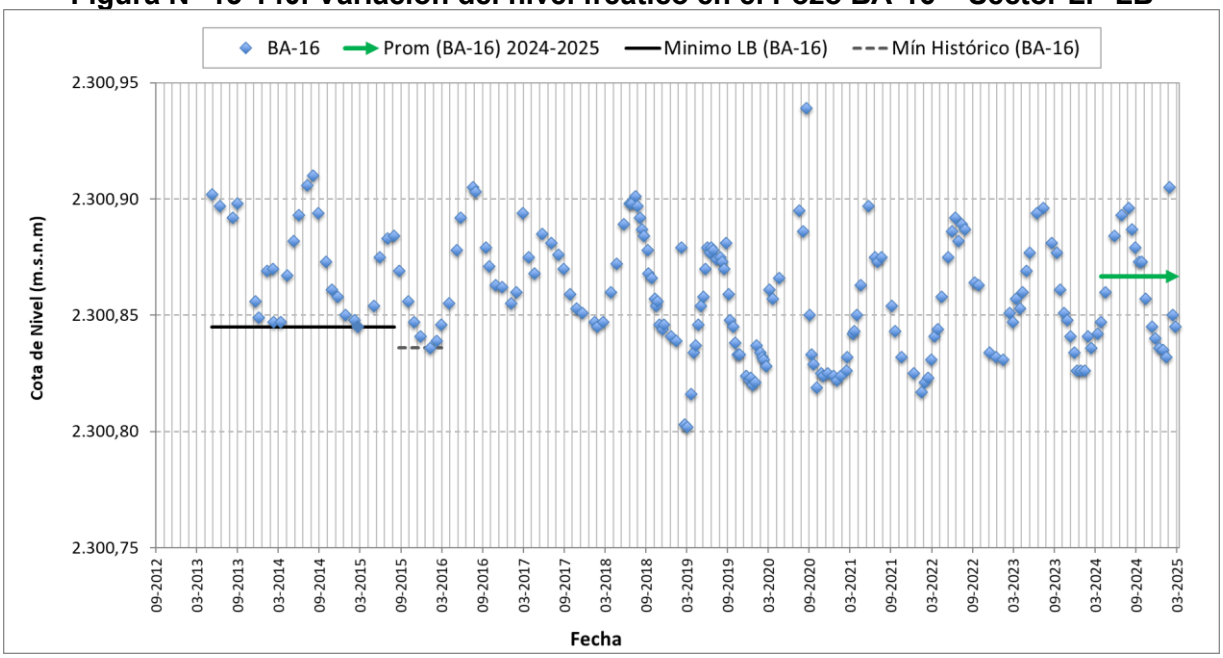
Fuente: Elaboración propia

El **pozo BA-16** (Figura N° 13-140) presenta variabilidad estacional y también cambios en su tendencia. De modo similar al pozo BA-05, su valor mínimo del período previo al inicio del Proyecto, es posterior al período de línea base presentado en la Adenda 5 (enero del 2016). Para el período de análisis, abril 2024 a marzo 2025, los niveles fueron similares a los del año previo. El registro durante el invierno de 2024 fue similar al del año 2023, y en el caso de la época de verano 2025, el mínimo fue superior al registrado el año anterior (verano 2024). Durante el mes de febrero de 2025 se registró un valor máximo de nivel de 2.300,905 m s.n.m, superior al máximo medido durante todo 2024, valor que puede ser explicado por el evento de precipitaciones de febrero de 2025 indicado previamente.

En general se observa una cierta estabilización del nivel en el pozo desde el año 2019, con un aumento de los valores mínimos registrados durante el presente periodo, en relación al año previo, existiendo una leve tendencia al alza desde 2022 para los registros de verano. No obstante lo anterior, los registros mínimos medidos en este período fueron inferiores al mínimo de línea base y también al mínimo del periodo histórico (previo al inicio de la construcción del

Proyecto). Sin perjuicio de lo anterior, el promedio anual para BA-16 fue superior al registro mínimo de la línea base.

Figura N° 13-140. Variación del nivel freático en el Pozo BA-16 – Sector LP-LB



Fuente: Elaboración propia

Para el período de análisis, abril 2024 a marzo 2025, el nivel freático mínimo medido en los pozos BA-05 y BA-16 presentó un aumento en comparación a los valores registrados el año anterior, mientras que el pozo BA-07 presentó una leve profundización en relación a los valores registrados el año anterior. En el caso particular de BA-07, estos valores corresponden a los inferiores medidos en este pozo en todo el período de registros (desde mayo de 2013). Respecto a los valores del período de invierno, los pozos BA-05 y BA-16 muestran valores máximos similares a los del período previo, mientras que en el caso del pozo BA-07, el registro máximo de invierno fue levemente inferior al del año previo. Cabe señalar que durante verano de 2025, como consecuencia de precipitaciones registradas durante el mes de febrero, en los pozos BA-07 y BA-16 se observaron niveles superiores a los máximos medidos considerando todos los registros del año 2024.

Los valores promedio de los registros del período anual abril 2024 - marzo de 2025 fueron superiores a los valores mínimo de línea base y del período “histórico” en los pozos BA-05 y BA-16, mientras que en el caso del pozo BA-07 dicho valor medio fue inferior a los registros de línea base y del período “histórico”.

13.7.2.2 Nivel freático en Sector Peine

Los registros del período 2024-2025 de los pozos BA-21 y BA-22, ubicados en el **Sistema Lagunar Peine**, no dan cuenta de toda la variabilidad del nivel freático del sistema, debido que no fue posible realizar mediciones en el periodo estival en este sector, período en el que se presentan los registros mínimos del nivel freático (principalmente en el pozo BA-22, con dinámica marcadamente estacional), debido a la que la Comunidad de Peine no permitió el ingreso al sector donde se ubican los pozos, por corresponder a la época de reproducción de los flamencos (ver **Anexo Cartas y Prohibiciones**).

Los registros del período en el que se tuvo acceso (junio 2024 – septiembre 2024 para el pozo BA-22 y junio 2024 – octubre 2024 para el pozo BA-21), muestran que en el pozo BA-22 el valor máximo (2.300,298 m s.n.m, medido en agosto) fue levemente inferior al del año anterior (2.300,300 m s.n.m), mientras que en BA-21 el valor máximo (2.300,068 m s.n.m, en el mes de octubre) también fue inferior al del año previo (2.300,081 m s.n.m). Tal como se indicó previamente, ambos pozos presentan una dinámica diferente, correspondiendo la evapotranspiración a la forzante principal del nivel en el pozo BA-22, que muestra una dinámica estacional, mientras que en el caso del pozo BA-21 su principal forzante es la precipitación, presentando una baja estacionalidad.

En la Tabla N° 13-46 se presentan los valores mínimos, para línea base y para el periodo denominado “Histórico”, correspondiente al período previo al inicio de la construcción del Proyecto (abril de 2016), así como también el promedio en el período de los registros del último año de monitoreo, que solamente consideran el período junio 2024 – octubre 2024 para el caso del pozo BA-21 y el periodo junio 2024 – septiembre 2024 para el pozo BA-22, por lo que no son característicos del promedio anual del nivel freático.

Tabla N° 13-46. Valores Mínimos y Promedio de la Serie – Sector Peine

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abr 2013 – Agosto/Sept 2015)		Jun 2024 – Oct 2023[1] (m s.n.m)
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio
BA-21	Peine	2.300,072	2.300,072	2.300,065
BA-22	Peine	2.300,274	2.300,268	2.300,294

[1]En el caso de meses con más de un registro, se utilizó el primer dato del mes. Solamente se cuenta con registros hasta octubre de 2024 en el caso del pozo BA-21 y hasta septiembre de 2024 para el pozo BA-22.
Fuente: Elaboración propia.

Como fue señalado de manera previa, se desarrolló una continuidad del monitoreo posterior a la línea base presentada en la Adenda 5, que permitió contar con información previa a la entrada de fase construcción (abril 2016) y operación del Proyecto (septiembre 2016), pero posterior a la línea base. Esto permitió verificar la existencia de registros de mayor profundidad que los reportados en la línea base presentada en la Adenda 5, pero previos al inicio del Proyecto. En particular, esto se observó para el pozo BA-22 (ver Tabla N° 13-46).

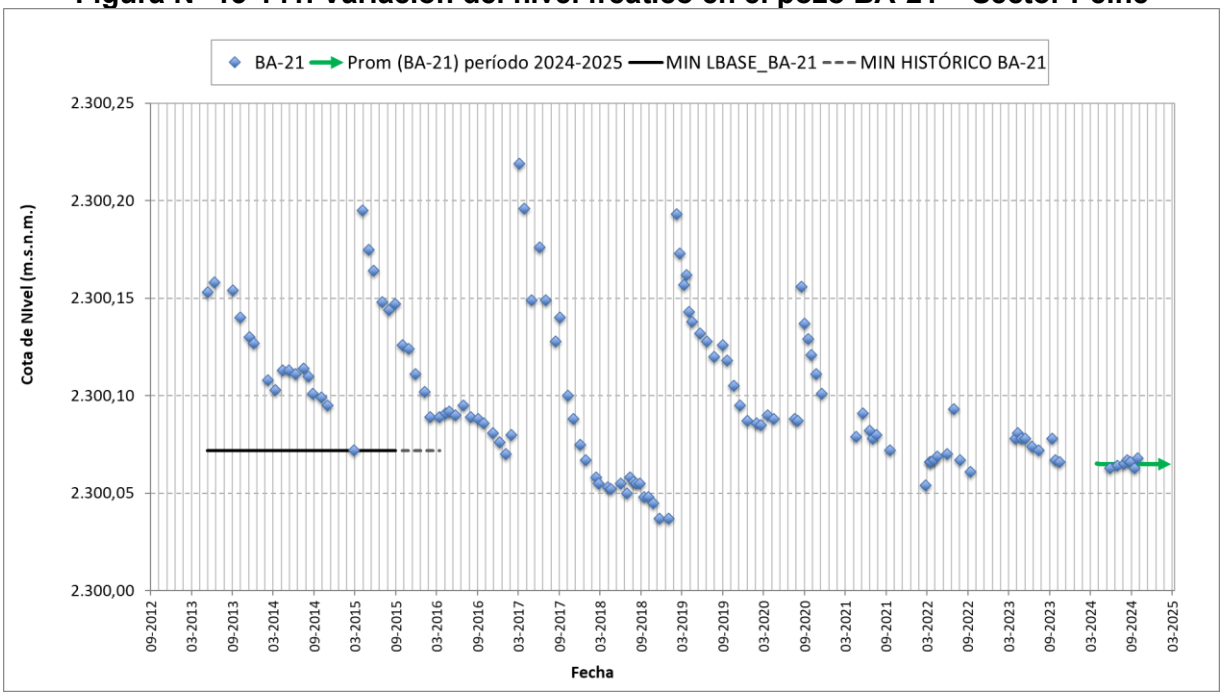
En las Figuras siguientes se presentan gráficamente los registros históricos a la fecha para los pozos del Sector Peine, junto con los estadígrafos antes indicados.

Para el **pozo BA-21** (Figura N° 13-141), se observa una dinámica diferente a la de los pozos ubicados en el Sector La Punta – La Brava, mostrando el nivel freático una baja estacionalidad y una alta influencia de los eventos de precipitación de alta intensidad, como se aprecia en el incremento abrupto del nivel freático luego de las lluvias de los años 2015, 2017, 2019 y 2020. Con posterioridad al incremento del nivel luego de dichos eventos, en todos los casos indicados se produjo una profundización del nivel freático. Esta dinámica se asemeja a la dinámica de los pozos ubicados en el Núcleo del Salar de Atacama.

Los registros de nivel freático del pozo BA-21 muestran que hasta el año 2019 se produjo una disminución del valor mínimo anual, observándose una recuperación en el año 2020. Desde el año 2021 no se han llevado a cabo mediciones en el período estival, por lo que no es posible verificar la tendencia actual de los registros mínimos anuales. Respecto al período de invierno, luego de las precipitaciones de agosto del año 2020 hubo una disminución del nivel freático, debido a la ausencia de nuevos eventos de precipitaciones de alta intensidad. Esto se manifiesta en la consistente disminución (profundización) de los valores medidos en los años posteriores al evento del año 2020, aunque esta se ha dado con una tendencia leve en los últimos períodos, siendo en promedio los registros de abril 2024 - octubre 2025 inferiores a los del año previo. La ausencia de precipitaciones significativas durante los últimos años, y en particular en el año 2024, han producido una disminución de los niveles de invierno.

Por otra parte, se debe señalar que el promedio de los registros del último año (con datos solamente entre junio y octubre de2024), por lo descrito previamente, no es característico del promedio anual, el cuál es inferior al valor mínimo de línea base e histórico.

Figura N° 13-141. Variación del nivel freático en el pozo BA-21 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia.

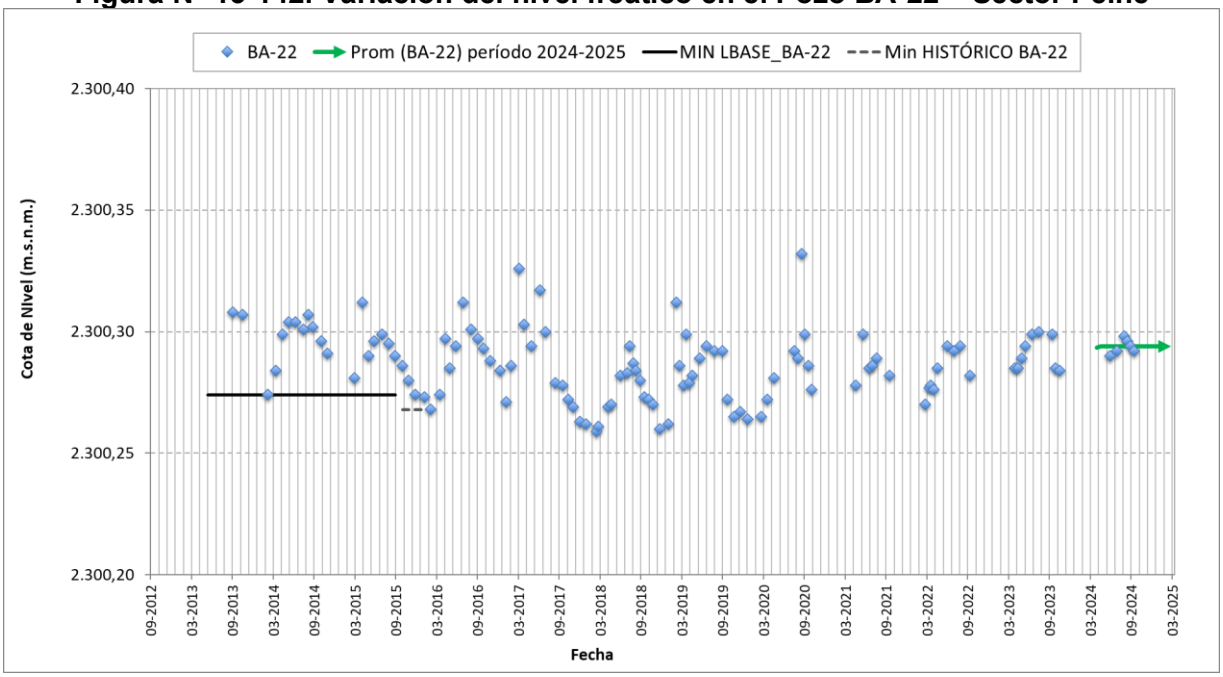
Para el **pozo BA-22** (ver Figura N° 13-142), la serie presenta oscilaciones estacionales dentro de un rango de variación estable del nivel freático, aumentando el nivel en los meses de invierno (máximos entre junio y agosto) y disminuyendo en la temporada de verano (mínimos regularmente en enero-febrero).

Tal como fue señalado para el pozo BA-21, no se cuenta con registros del período estival desde el año 2021, debido a las restricciones de acceso ya detalladas, lo que no permite desarrollar una conclusión certera respecto a la dinámica del nivel freático en esta época con la información disponible. Los registros mínimos de los años previos fueron levemente inferiores al valor mínimo del período previo al Proyecto, como se constató en los años 2018, 2019 y 2020. Al respecto, se debe destacar que entre 2018 y 2020 hubo un incremento en los niveles mínimos anuales, correspondiendo el valor de este último año a 2.300,264 m s.n.m. Desde 2021 en adelante, solamente se cuenta con información para el período de otoño – invierno y la primera etapa de la primavera, que normalmente dan cuenta de los mayores valores del nivel freático dentro de su ciclo estacional anual.

Considerando solo los valores que se dispone, se observa estabilidad en los registros de los últimos años, siendo similares al menos desde 2018 en adelante, con algunos datos puntuales fuera de rango, como la medición de septiembre de 2020, posterior a las lluvias de agosto del mismo año, que corresponden al nivel máximo medido en el pozo. Entre junio de 2024 y septiembre de 2024 (data disponible para el último año) los registros son similares a los del año previo, siendo los levemente inferiores a los del año anterior. El valor promedio de los

registros de nivel freático con los datos existentes, se encuentra por sobre el valor mínimo de la línea base e histórico, aunque solamente da cuenta de información de 4 meses, por lo que es representativo de la variabilidad anual del nivel en el pozo.

Figura N° 13-142. Variación del nivel freático en el Pozo BA-22 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

13.8 En relación con el Estado Ecológico del Sistema

Dentro de los compromisos del seguimiento ambiental o monitoreo del estado ecológico (*Ref. Anexo 2 PMB de Adenda 5*), quedó comprometido evaluar la detección de cambio de estado ecológico en el numeral "*4.2.7 Criterios para detección de cambio de estado ecológico*". Para ello, se definieron a partir del Modelo Ecológico Funcional, tres variables denominadas de "estado", como indicadoras del estado ecológico o indicadores bióticos de los ecosistemas terrestres (azonal) y acuáticos. Estas variables son: niveles freáticos, vegetación azonal y superficie de lagunas.

Las variables de "estado" y el análisis del estado ecológico han sido incluidas en los informes anuales del PMB (capítulo 13.8), desde el tercer año de seguimiento ambiental, debido a que los criterios del análisis, estipulados en el Anexo 2 del PMB, incluyen un análisis de tendencia y que para el caso de la vegetación azonal y superficie de lagunas, se deben considerar 3 años consecutivos con información.

Como una manera de contextualizar el análisis del estado ecológico (AEE) del sistema, se entregan algunas de las principales conclusiones del documento anterior entregado en el año 2024 "*Complemento Informe Anual PMB N°8 con Análisis Estado Ecológico*" del año 2024 (Cod SMA 1058815, del 07.11.24). Con relación al mismo, algunas de las conclusiones más relevantes son:

Para el caso del Sector La Punta - La Brava, considerando la variable nivel freático y los registros del pozo BA-07, el criterio establecido para la evaluación indica un promedio anual inferior a los registros mínimos del período previo al inicio de la operación del Proyecto de Albemarle, por lo que según dicho criterio no se mantendría el estado ecológico. Al respecto, es importante señalar que dicho pozo presenta una tendencia al descenso desde los primeros registros medidos, de manera previa al inicio de la operación del Proyecto de Albemarle (marzo de 2016).

Respecto a las superficies lagunares Sector La Punta - La Brava, y de acuerdo con los resultados obtenidos a partir del análisis de imágenes satelitales de alta resolución, se observa que las superficies lagunares promedio anuales de los años 2016 a 2023 están sobre el valor mínimo de línea de base, lo que indica que, en general, las superficies lagunares se mantienen dentro de los registros históricos. Sin embargo, se observa una disminución en los promedios móviles a partir del periodo 2019 – 2021, que se ha mantenido a la fecha. Cabe señalar que el análisis de la superficie lagunar del período 1985 – 2024, realizado a partir de imágenes obtenidas de satélites Landsat, de mediana resolución, muestra que existe una tendencia de disminución de la superficie lagunar de larga data, que se extendería desde antes del año 2000. En efecto, la media móvil anual de la superficie lagunar muestra una tendencia al descenso entre los años 1997 y 2012, previo a la operación del proyecto RCA 21/2016.

En base a la evaluación del estado ecológico en las transectas de vegetación y considerando el criterio establecido en el PMB, se puede concluir para los sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava que se presenta una tendencia al descenso de acuerdo con la variación de la cobertura vegetal medida en campo (transectas), pero no se observa un cambio en la estructura comunitaria, en el sustrato salino, ni tampoco en la cobertura de la vegetación activa.

En relación con el Nivel Freático evaluados para el Sector Peine (en los pozos establecidos para aquello), no se cuenta con registros del nivel freático en los períodos de verano desde el año 2021, debido a imposibilidad de acceso al Sector, por corresponder este a un período de reproducción de flamencos. Esto genera que la evaluación de las condiciones medias anuales del nivel freático sea incompleta, ya que los registros no dan cuenta de toda la variabilidad del nivel freático y en consecuencia no es posible evaluar con precisión y certeza su variación en el tiempo.

Respecto a las superficies lagunares del sector Peine, en este sector se aprecia una reducción en los promedios consecutivos a partir de 2020, tanto para el análisis de promedios móviles como para los promedios anuales. Al respecto, es importante destacar que la superficie de avance Interna (zona de desbordes de laguna Interna) tiene un peso considerable en el contexto del sistema, por lo que sus amplias variaciones interanuales, asociadas principalmente a precipitaciones, resultan en las variaciones de los promedios antes señalados. Los promedios móviles del periodo 2020 – 2022 y 2021 – 2023 se presentan bajo el límite histórico (50,4 ha). En efecto, mediante el análisis de una serie extensa de imágenes satelitales (Landsat), desde 1985 al presente (2024), se constata un cambio de dinámica en la evolución de las superficies lagunares de Peine, aproximadamente a partir del año 2012. Esta dinámica es coincidente con los cambios morfológicos provocados por el desborde de Laguna Interna (Avance Interna), estando determinada principalmente por el aumento de su extensión superficial luego de eventos intensos de precipitación. Estos registros (serie Landsat 1985 – 2024) muestran que la media móvil de los últimos años es inferior a la media móvil de los registros históricos, no obstante presenta una estabilización en los últimos dos años. Adicionalmente, dicho valor medio es superior al registro mínimo histórico. En relación con la vegetación azonal en el sector Peine se observa una mantención de la vegetación activa por sobre el rango de línea base, la cual ha permanecido en promedio estable producto del análisis de medias móviles de tres años. La riqueza también se ha observado estable a lo largo de los ocho años de monitoreo, con apariciones puntuales de especies acompañantes en determinadas campañas. En base a la evaluación del estado ecológico en las transectas de vegetación y considerando el criterio establecido en el PMB, se puede concluir para el sistema de Peine que no se observan cambios de tendencia en las variables evaluadas, cobertura, composición de las especies y sustrato salino durante todo el periodo de seguimiento.

En línea con lo mencionado previamente, ALB también tiene un Plan de Seguimiento Hídrico y un Plan de Alerta Temprana del mismo, el que se ha activado en el sector de Alerta Acuífero, específicamente en el sistema La Punta – La Brava, a raíz de los descensos en el punto BA-07. En particular, su última activación se produjo el 13 de diciembre de 2024, lo que fue reportado a la Autoridad a través de carta ALB-GMA-2025-SMA-001. Cabe señalar que Albemarle ha dado cumplimiento a todos sus compromisos ambientales y ha presentado su último Informe de Investigación de las Causas en Mayo del presente año 2025 (Comprobante SMA N° 1072035 de fecha 06.06.2025)

Considerando lo anterior, y al igual que para el año 2024, este año 2025 se considera que el análisis de estado ecológico (AEE) como parte del Informe Anual N°9, requiere una mirada de detalle de las tres variables de estado, por lo que se presenta el AEE en un documento independiente, como un complemento de Análisis de Estado Ecológico al Informe Anual PMB N°9, el que será entregado posterior al presente informe.

Sin perjuicio de que en el PMB Anual N°6 (año 2022) no evidenciaba cambio en el estado ecológico en ninguna de las variables indicadoras, Albemarle a partir del año 2022 comenzó de manera preventiva a aplicar las “*acciones frente a detección de cambio estado ecológico”,* indicadas en el numeral 4.2.8 del Anexo 2 de Adenda 5. Dichas acciones dicen relación con aumentar la frecuencia de muestreo de acuerdo con la Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos (MMA-SAG-DGA, 2011).

Es así como, a partir del cuarto trimestre de 2022, se comenzó a gestionar el aumento de frecuencia de monitoreo para las variables indicadas en la Guía antes mencionada.

14 CONCLUSIONES.

14.1 En relación con Flora y Vegetación

A continuación, se presentan las principales conclusiones del noveno año de monitoreo del Plan de Seguimiento Biótico, PMB, de Albemarle, correspondiente a los monitoreos de invierno 2024 (M17) y verano 2025 (M18), además de un análisis sobre la evolución del componente con los valores históricos del monitoreo base (MB0-2016) y los monitoreos de los nueve años de seguimiento (M1 a M18; 2016 a 2025). Las conclusiones se presentan de manera ordenada por subcomponente, siguiendo la línea de presentación de este informe.

En cuanto a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), al noveno año de monitoreo anual se observa una estabilidad general en las formaciones vegetales caracterizadas en términos de su estructura y composición, además de la distribución de éstas en el área de estudio. En este año de monitoreo se describen 35 formaciones vegetales en invierno 2024 y en verano 2025. La cantidad de formaciones descritas por la COT inicial se ha mantenido similar, ya que los principales cambios se observan en el tipo de formación, en que la mayor variación aparece con la descripción de Matorrales azonales mixtos y Vegas.

Las principales variaciones se observan en la cobertura y composición de especies dentro de las formaciones, donde el cambio en la dominancia y/o cobertura de especies es la principal variación, representando diferencias no biológicas y reorganizando la configuración de las unidades en estudio.

Particularmente, el aumento de 32 formaciones en verano 2021 (M10) a 37 formaciones en el verano 2022 (M12) fue a causa de algunos cambios en la denominación o composición de algunas formaciones debido al levantamiento de nuevos puntos COT para el Monitoreo Voluntario de Transectas Complementarias (MTC), en polígonos no visitados anteriormente, generando una actualización general en la cartografía de vegetación como parte del robustecimiento del método COT en el área de estudio.

En relación a las formaciones vegetales caracterizadas a través de transectas, para el Año N°9 (M17 y M18) 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 *Salicornia neei* (ex *Sarcocornia fruticosa*) y matorral de *Tessaria absinthioides*.

Las conclusiones en cuanto a las condiciones generales de la vegetación del área de estudio (transectas), indican en términos generales que las comunidades con mayor

contenido de humedad del suelo son las que continúan presentando mayor cobertura vegetal, correspondiendo a las formaciones de *Schoenoplectus californicus* y algunas transectas con formaciones de herbazal de *Juncus balticus*, herbazal de *Triglochin concinna* y matorral de *Salicornia neei*, además de algunas transectas localizadas en cercanías a cuerpos de agua, en los sectores La Punta y Aguas de Quelana.

En relación a la composición comunitaria, la **riqueza florística** de las formaciones vegetales se mantiene similar en los nueve años de monitoreo a nivel de sectores y formaciones vegetales, con algunas diferencias puntuales entre transectas, aunque sin demostrar una variación estacional. En el quinto año de monitoreo se registró una especie adicional en Tilopozo (T29; *Eleocharis* sp.) en verano 2021 (M10), manteniéndose este registro en el monitoreo de verano 2022 (M12) e invierno 2022 (M13), pero sin registro desde el verano 2023 (M14 a M18). Por otro lado, destaca que *Puccinellia frigida* que se observaba como acompañante en las transectas del sector La Punta y La Brava (<2% de cobertura) no se ha registrado desde el monitoreo de invierno 2019 (M7 a M18) y aparece en el verano 2022 (M12) en dos transectas de Peine (T01 y T02), manteniéndose en los inviernos 2022 y 2023 (M13 y M15) en la transecta T01 y en el noveno año, solo se registra en la transecta T15 del sector Aguas de Quelana en invierno 2024 (M17).

Respecto a la evolución general de las **coberturas vegetales** en el periodo de seguimiento (2016-2025), se observa en general un descenso de las coberturas en el tiempo, destacando en este noveno año el mayor descenso registrado en invierno 2024 (M17) respecto al monitoreo inicial-MB0 y a inviernos anteriores, con excepciones al analizar algunas transectas o específicamente las coberturas absolutas de algunas especies, como el caso de la transecta T20, T21 y T27 en Tilopozo, en herbazales de *D. spicata*, que registran mayor estabilidad de la cobertura en el tiempo. En particular, se tiene un aumento en T21 y T27 en M17 y en verano 2025 (M18) se registra un ascenso respecto al verano anterior (M16) y a M17, demostrando dinámicas particulares entre transectas y a nivel de formaciones vegetales, como es el caso de los herbazales de *Schoenoplectus californicus* en los sectores Tilopozo y Peine.

Además, destaca el descenso de cobertura en el herbazal de *J. balticus* en Tilopozo, que disminuye la cobertura en M17 y M18 la transecta T30 y T18, la transecta T15 en Aguas de Quelana en un matorral de *Salicornia neei (ex Sarcocornia fruticosa)*, seguido de las coberturas de T28 en Tilopozo (herbazal de *D. spicata*), T10 en La Brava (herbazal de *T. concinna*) y T06 en Peine (matorral de *T. absinthioides*).

Al analizar la **cobertura promedio por sector**, también se registra una disminución de la cobertura vegetal desde MB0 (invierno 2016), aunque el **sector Peine** presenta variaciones dinámicas entre monitoreos, con una cobertura vegetal promedio estable en su evolución en los primeros 7 años, observándose no obstante una disminución en este último periodo (M15 a M17), asociada principalmente al deterioro de la cobertura observada en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* (en todas las transectas de la formación T01, T02, T03 y T04,

principalmente en M17), pero que en el último verano (M18) tiende a una recuperación de la cobertura vegetal y disminución del rastrojo en todas las transectas de la formación.

El **sector La Punta y La Brava**, es el que presenta una disminución más paulatina de la cobertura vegetal al sexto año de seguimiento (verano 2022-M12), recuperándose levemente en el séptimo año (M13 y M14) y para el octavo año, en invierno 2023 el descenso observado es solo referencial ya que el muestreo fue incompleto para el sector (dos de cuatro transectas), y en verano 2024, se observa una menor cobertura promedio respecto al año anterior, y el noveno año sugiere una tendencia a la disminución de la cobertura vegetal, aunque con algunas fluctuaciones entre monitoreos, donde las transectas T13 y T12 presentan las menores coberturas vegetales en M17 de todo el seguimiento, aunque T11 destaca un aumento de la cobertura en M17 y en M18, al igual que T13 y T12 que aumentan su cobertura en este último verano.

Por su parte, el **sector Aguas de Quelana** presenta igualmente una disminución de la cobertura vegetal en el tiempo, desde MB0, aunque cabe destacar que entre el año 3 y 7 se tiene sólo una campaña de muestreo por año, lo que influye en la interpretación sobre su evolución en estos ocho años de seguimiento. Este último año se observa un descenso, donde el último invierno 2023 (M15) registra la menor cobertura promedio del seguimiento, pero en M17 la cobertura aumente levemente. El rastrojo también disminuye a nivel de sector, mientras que en M18 se observa un aumento en T16 y T17 respecto al verano anterior, donde T17 inclusive presenta una de las coberturas más altas de los veranos y de los últimos inviernos (M15-M17). A diferencia de T15, que disminuye la cobertura absoluta en M18, con el menor registro de los veranos y menor a M17.

Por último, el **sector Tilopozo**, presentaba hasta el quinto año de seguimiento (verano 2021-M10) una estabilidad en su cobertura vegetal, pero desde el invierno 2019 (M9) se registra un descenso paulatino hasta el último año, principalmente a causa del deterioro de la cobertura vegetal observado en los herbazales de *Schoenoplectus californicus* (T19 y T29), con los menores registros de cobertura vegetal en los últimos tres inviernos (M13 a M17). Esta zona presenta cambios en la saturación del suelo y con evidentes signos de perturbación antrópica, ramoneo y pisoteo por presencia de ganado (que se ha observado desde el año 2022), aunque cabe destacar que hay zonas de la formación vegetal que sí muestran mayor actividad biológica, pero ésta se observa principalmente en zonas con mayor humedad (suelo sobresaturado). Asimismo, recordar que en esta misma formación también se han evidenciado quemas, en el año 2018, que realiza la comunidad para activar la revegetación del lugar, aunque en M18 la cobertura vegetal se recupera en ambas transectas disminuyendo igualmente la cobertura del rastrojo.

Con respecto a **variaciones estacionales**, en general los matorrales registran mayor fluctuación, con registro de una mayor cobertura en invierno que en los veranos, aunque solo dos transectas presentan variaciones significativas, las transectas T23 y T25 en matorrales de *T. absinthioides* en Tilopozo según registros hasta el 2024-2025 (M17 y M18). Para los

herbazales, solo la transecta T31 del sector Tilopozo, en un herbazal de *Juncus balticus* registra una mayor variación entre estaciones y con una variación significativa, también indicando una mayor cobertura vegetal en invierno que en verano.

Cabe destacar, que la variabilidad estacional no estaría influenciando mayormente las fluctuaciones de cobertura en las formaciones vegetales azonales, presentando desde el 2016 a 2025 variaciones enmarcadas a la evolución del monitoreo. En el caso de que los matorrales sí respondan a una mayor cobertura vegetal en los inviernos, puede deberse a factores climáticos, en el caso de los matorrales de *T. absinthioides,* factores como las precipitaciones y temperaturas que son forzantes para una mejor respuesta de vigor sobre la cobertura vegetal en formas de vida de carácter más zonal, mientras que los matorrales de *Salicornia neei* (ex *S. fruticosa)* podrían estar más influenciados por el agua directamente, ya que estas formaciones se desarrollan generalmente en cercanías a los cuerpos de agua.

Este último año de seguimiento ha destacado puntualmente un mayor contraste estacional en el sector de Peine, principalmente en los herbazales de *S. californicus* donde contrasta una baja actividad biológica en invierno 2024 junto a un deterioro debido a intervenciones antrópicas en el área (pastoreo y quemas) que muestran mayor cobertura de rastrojo que cobertura vegetal; y por otro lado, en el último verano se observa una recuperación de la cobertura vegetal en las cuatro transectas de la formación.

En relación con la **cobertura vegetal absoluta**, se observa que las transectas con baja cobertura vegetal, así como las de mayor cobertura vegetal como los herbazales de *S. californicus*, presentan las mayores fluctuaciones de cobertura en el tiempo. Por una parte, se puede inferir que la baja cobertura que presentan algunas formaciones son indicador de una vegetación que probablemente ya se encuentra estresada, dadas las condiciones extremófilas del salar, o bien el hábitat ya no permite un mejor desarrollo de ésta. Por otro lado, los herbazales de *S. californicus* han demostrado presentar una dinámica de alta variación estacional e interanual, con registros de alta cobertura de rastrojo en algunos monitoreos, cambiando drásticamente al año siguiente, así como episodios de alteración antrópica (quemas controladas y pastoreo) que han generado efectos en la vigorosidad de la vegetación a corto plazo.

En este sentido, la caracterización inicial de la vegetación es importante para reconocer que tipo de ambientes podrían estar con mayor predisposición a fluctuaciones en el corto plazo, ya sea por alteraciones antrópicas o naturales del sistema. Asimismo, la antropización que recibe el sistema de vegas en el salar, es importante considerarla como un factor de estudio, ya que si bien se han registrado efectos que ocurren en el corto plazo, también pueden incidir a mediano y largo plazo, y es preciso evaluar junto a otros factores, como la extracción de agua, para evitar la degradación del sistema.

Considerando el método de análisis de distribución y cobertura de la vegetación azonal con el NDVI de imágenes de alta resolución, en las áreas de los 4 sectores (LP-LB, Peine,

Tilopozo, Soncor y Quelana), se estima que durante el verano de 2025, la vegetación activa estimada a partir del índice NDVI alcanzó una superficie de 1.734,0 hectáreas, equivalente al 24,0% de la superficie total de la COT. En comparación con el verano anterior (2024), se registra una leve disminución en la vegetación activa, sin variaciones relevantes entre sectores. Mientras que Peine y Aguas de Quelana presentan un aumento en la cobertura activa, especialmente en matorrales y algunas formaciones azonales, otros sectores como Tilopozo y La Punta – La Brava exhiben fluctuaciones interanuales sin una tendencia definida.

Las diferencias entre sectores reflejan la heterogeneidad en la respuesta fisiológica de las formaciones vegetales frente a las condiciones ambientales locales. En algunos sectores se observan unidades que mantienen niveles de vigor relativamente estables, mientras que otras presentan cambios más marcados en su expresión fotosintética. En Soncor, aunque la superficie de vegetación activa sigue siendo reducida en comparación con otros sectores, se mantiene una expresión fisiológica persistente y estable entre campañas, lo que sugiere cierto grado de resiliencia en estas comunidades.

En el caso particular de las formaciones azonales con dominancia de *Schoenoplectus californicus,* y para el sector Peine, se muestra bajo el valor mínimo histórico; con un aumento del valor registrado en comparación con 2024. Para el sector de Tilopozo y LPLB, también se muestra bajo el valor mínimo histórico, siendo el valor de cobertura menor de toda la serie del seguimiento.

Cabe destacar que las superficies de vegetación activa observadas durante los seguimientos se encuentran dentro de los rangos históricos reportados y por sobre los valores mínimos de referencia establecidos en el Plan de Manejo Biológico (PMB). En particular, las superficies registradas para el verano de 2025, obtenidas mediante NDVI a partir de imágenes satelitales de alta resolución, superan los valores mínimos históricos definidos para los sectores de Tilopozo, La Punta – La Brava, Peine y Aguas de Quelana. En algunos casos, incluso se alcanzan valores que superan los máximos históricos previos, lo que refuerza la importancia de mantener un seguimiento estacional sistemático.

14.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

El área de estudio se divide en tres sectores: a) La Punta y La Brava; b) Peine (lagunas Salada, Saladita e Interna, además de dos puntos de ambientes terrestres), ambos sectores ambientes de humedales; y c) Tilopozo (en su mayoría ambientes terrestres, con excepción de un ambiente de humedal, el humedal pajonal). A su vez, en estos sectores se delimitaron seis ambientes de fauna: área desprovista de vegetación (costra salina), herbazal, humedal salar, humedal pajonal, matorral y quebrada.

Cabe mencionar, que de las 18 campañas semestrales programadas y realizadas, han existido una serie de campañas en las que se ha visto limitado el acceso, **lo que tiene implicancias relevantes al momento de poder evaluar la evolución de esta componente, lo que**

conlleva a un análisis parcial y no completo. En verano 2020 no se efectuó muestreo por la pandemia, en verano 2021, 2023, 2024 y 2025 se efectuaron 20 de los 25 puntos de muestreo (no se muestrearon las lagunas de Peine), en verano 2022 e invierno 2023 se efectuaron 22 de los 25 puntos de muestreo y finalmente en verano 2025 se efectuaron 19 puntos (no se completaron los muestreos de las lagunas de Peine, debido a la prohibición de acceso por activación del ciclo reproductivo de flamencos), por lo que las comparaciones deben considerarse con dichas restricciones, sobre todo, para aves acuáticas en general, y flamencos en particular.

Considerando el total acumulado para las 18 campañas (de invierno 2016 a verano 2025), la riqueza es de 68 especies de vertebrados, con una especie de anfibio, dos especies de reptiles, 49 especies de aves y 16 especies de mamíferos. La riqueza total acumulada en este noveno año sobrepasa la riqueza histórica anterior al monitoreo, con 62 especies registradas en la línea base y varios años entre 2006 y 2015. Además, se han observado 22 especies nuevas, no registradas en dicho periodo.

Los tres sectores presentan una riqueza acumulada que varía entre 52 especies en el sector de Tilopozo, a 26 especies en el sector de La Punta y La Brava, y con 35 especies en Peine, aunque la composición es muy diferente: en los sectores que contienen ambientes de humedal salar dominan las aves acuáticas, y en aquellos que contienen ambientes terrestres, los mamíferos.

A la escala de similitud de los ambientes (con mayor sentido biológico que la división de sectores) se forman dos grandes agrupaciones: los dos sistemas acuáticos de humedal salar, y los restantes ambientes terrestres junto con el humedal pajonal. La única agrupación no esperada es el de ADV costra salar, la que a pesar de ser el ambiente con muy baja riqueza (sólo dos especies), se agrupa a los dos ambientes de humedal salar, por un sesgo del programa de agrupamiento (en rigor, debiera ser el ambiente más diferente a todo el resto).

En cuanto a la caracterización de la fauna detectada en todo el monitoreo PMB (posterior al histórico) se puede concluir que:

De acuerdo a su origen geográfico, dos de las especies registradas son endémicas de Chile (los dos reptiles), en tanto que otras 62 especies son nativas, y finalmente, cuatro especies son catalogadas como introducidas y/o domesticadas.

De las 68 especies de fauna detectadas, 27 se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación: 24 especies se encuentran clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies del MINSEGPRES (D.S. N° 75/2005, que fue remplazado por el D.S. N° 29/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, y decretos posteriores); en tanto que las tres especies restantes se encuentran clasificadas en alguna de las categorías de conservación no oficiales definidas por Rottmann & López-Callejas (1992) o Cofré & Marquet (1999).

Del total de 27 especies en categoría de conservación, 12 se consideran amenazadas, es decir, en las categorías En Peligro Crítico, En Peligro, Vulnerable y Casi amenazada. Por su parte, 15 especies se catalogan sin amenaza (precautorias). El desglose de las categorías de conservación de las especies amenazadas es el siguiente:

- Reptiles (una especie): en categoría En peligro, *Liolaemus fabiani* (lagartija de Fabián).
- Aves (seis especies): en categoría Vulnerable: *Phoenicoparrus andinus* (parina grande), *Phoenicoarrus jamesi* (parina chica) y *Recurvirostra andina* (caití) y en categoría Casi Amenazada: *Fulica cornuta* (tagua cornuda), *Oreopholus ruficollis* (chorlo de campo) y *Phoenicopterus chilensis* (Flamenco chileno).
- Mamíferos (cinco especies): en categoría En Peligro crítico: *Chinchilla chinchilla* (chinchilla cordillerana); Vulnerable: *Lama guanicoe* (guanaco) y *Vicugna vicugna* (vicuña) y en categoría Casi amenazada, *Puma concolor* (puma) y *Myotis atacamensis* (murciélago de Atacama).

Una de las especies registradas se considera Monumento Natural: la chinchilla cordillerana.

Del total de especies, cuatro corresponden a especies de baja movilidad, cinco a especies de movilidad media, y 59 a especies con alta movilidad. En relación con las especies especialistas de hábitat, 22 especies se consideran especialistas, como por ejemplo el sapo espinoso (*Rhinella spinulosa*; en ambientes de humedal), la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani,* en borde de salar),19 aves (asociadas a ambientes de humedal) y un mamífero (la chinchilla cordillerana, habitante de roqueríos).

Finalmente, en cuanto al Índice de Riesgo, destaca la presencia de una especie clasificada con un índice de riesgo máximo (*Liolaemus fabiani*, Lagartija de Fabián), en tanto que otras cinco se encuentran clasificadas con un riesgo alto, 11 se encuentran clasificadas con un riesgo medio, y por último 47 se encuentran clasificadas con un riesgo bajo. A las especies introducida y/o domesticadas, no les aplica un índice de riesgo.

Además de la caracterización de fauna, y en relación con las abundancias y frecuencias, las dos especies de reptiles registradas presentan abundancias y frecuencias notoriamente diferentes, siendo mayor en las campañas de verano 2024 (49 ejemplares) y menor en invierno 2024 (sólo un individuo). En todas las campañas, la especie más abundante fue la lagartija de Fabián, dominando sobre la lagartija de Constanza, a excepción de verano 2022 e inviernos 2023 y 2024, en el cual no se pudieron completar los muestreos de salares, ambiente específico de esta especie.

En relación con las aves, la abundancia fue mayor en invierno 2021 (806 individuos) y menor en verano 2023 (105 ejemplares, sin censo en las lagunas de Peine), destacando la parina grande y el flamenco chileno como las especies más abundantes en las campañas (salvo en

veranos de 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, además de inviernos 2023 y 2024, en que no se pudo ejecutar Peine, o se ejecutó parcialmente).

Considerando las abundancias totales por ambiente (y estandarizadas por transecto), en el caso de los reptiles, la mayor abundancia relativa se registró en el ambiente de humedal pajonal, seguido por el humedal salar, la quebrada, el herbazal y el matorral.

En el caso de las aves, y para todas las campañas[47], claramente la mayor abundancia relativa se encuentra en el ambiente de humedal salar, seguido por el matorral, el humedal pajonal y la quebrada. Los ambientes con menor abundancia, en tanto, fueron el herbazal y el área desprovista de vegetación costra salar.

Finalmente, en el caso de los micromamíferos trampeados, y para el total de campañas, de las cuatro especies registradas, el ratón orejudo amarillo fue la especie más frecuente y abundante, ya que se registró en los seis ambientes, y con un IDR que varió, entre 0,8% a 13,3%. En cambio, el ratón andino fue registrado en cuatro ambientes, variando entre un IDR de 0,8% a un 21,7%.

En particular, para las aves, los parámetros son mayores en el Monitoreo PMB que en la Línea de Base (ej. mayor riqueza de especies, mayores valores de abundancia absoluta, mayor número de flamencos)[48], con amplias variaciones estacionales naturales, las cuales pueden explicarse fundamentalmente por el comportamiento móvil, en algunas especies esporádico y sobre todo, migratorio de las especies de aves (como la de los flamencos y pollito de mar). Las campañas de verano 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, junto con inviernos 2023 y 2024 serían la excepción en abundancia absoluta de aves, asociado a que no se pudo completar el número total de puntos de muestreo en sistemas que sustentan una importante cantidad de aves.

En general, la composición de las especies y el patrón de dominancia numérica de los flamencos en los sistemas acuáticos se mantiene en los monitoreos efectuados. Sin embargo, para el sistema Peine no podrían compararse los veranos de 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, junto con inviernos 2023 y 2024, dado que no se efectúo monitoreo de aves en el sector.

El patrón de dominancia de flamencos y la comparación de Monitoreo PMB versus Línea de Base se cumple tanto para los sistemas lagunares considerados en conjunto, como para el Sistema lagunar Peine (el que aporta la mayor abundancia absoluta de aves, con centenares de ejemplares, al menos en la primera etapa del monitoreo completo, hasta 2019). Analizando el sistema lagunar de La Punta y La Brava (con menor abundancia absoluta de aves, con algunas decenas de ejemplares, por lo que esto no afecta el análisis global dentro del rango

[47] Excluyendo el monitoreo de los veranos 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, junto con invierno 2023 y 2024, sin muestreo o incompleto de las lagunas de Peine por restricción de acceso (**Ver Anexo Cartas y Prohibiciones**).
[48] Ídem nota 6.

histórico), si bien la riqueza de aves es mayor en el monitoreo que en la Línea de Base, las abundancias de aves acuáticas muestran resultados disímiles: son relativamente similares (o incluso mayores) entre el monitoreo y la Línea de Base (aunque con una sola campaña a comparar, lo que implica cautela), pero no ocurre lo mismo en el caso particular de los flamencos en La Punta y La Brava, con menores valores en el monitoreo que en la Línea de Base (lo que está dado particularmente por la parina chica), exceptuando el monitoreo de invierno 2016, 2019, 2021 a 2025 donde en el monitoreo se presentó una mayor cantidad de flamencos que en la línea base.

Comparando con los valores y criterios especificados en el Plan de Manejo Biótico (PMB), en general, a las distintas escalas de análisis (cualitativo y cuantitativo) y comparaciones con la línea de base (campañas previas), y por sobre todo pese a la falta de información por no acceder a las zonas en las campañas de los últimos años, las variaciones observadas en las campañas de monitoreo, en la riqueza, composición y sobre todo, abundancia de fauna, se concluye que se encuentran dentro de los registros históricos (comparadas con Línea de Base).

14.3 En relación con Tapetes Microbianos

Las conclusiones para Tapetes se presentan siguiendo la línea de presentación de este informe.

- *En relación con Tapetes Microbianos, microbialitos y evaporitas*

Las campañas de invierno 2024 y verano 2025, evidenciaron la presencia de tapetes microbianos en los sistemas lagunares del sector La Punta-La Brava, principalmente de Tipología 1. Por otro lado, el sector vegas de Tilopozo, nuevamente, y por noveno año consecutivo, no registró presencia de tapetes microbianos. Cabe resaltar, que sólo se hallaron tapetes microbianos en la campaña Invierno 2016. El sector Peine, fue muestreado parcialmente en invierno 2024 debido a restricciones de acceso, mientras que no fue posible en verano 2025, debido a restricciones de acceso.

Por otro lado, a través de la identificación visual, se sugiere, para la campaña invierno 2024, la presencia de evaporitas en La Punta (LP-24) y de microbialitos en laguna Interna (I-11), La Brava (LB-1) y en La Punta (LP-23). En verano 2025, se sugiere la presencia de evaporitas en La Punta (LP-24) y de microbialitos en laguna La Punta (LP-23). No se observan este tipo de estructuras en el sector Tilopozo, al igual que en todas las campañas anteriores.

- *En relación con los cambios observados, considerando todas las campañas de monitoreo*

En relación con la estructura de pigmentación en tapetes microbianos se observa la presencia de tapetes Tipología 1, 2 y 3 en las dieciséis campañas realizadas a la fecha.

En el **sector La Punta-La Brava**, la Tipología 1 predominó desde invierno 2016 ininterrumpidamente hasta verano 2019, mientras que la Tipología 2 predominó desde invierno 2019 hasta invierno 2021, como consecuencia de la disminución de tapetes de Tipología 1. Posteriormente desde verano 2022 hasta la última campaña (verano 2025), ha predominado nuevamente la Tipología 1.

En general, los tapetes de Tipología 1, durante las 16 campañas de monitoreo, se caracterizaron por presentar en la macrozona Subsuperficial capas de tonalidad verde y naranja, en la macrozona Intermedia, capas de tonalidad rosada y/o púrpura. Respecto a la macrozona Profunda se observó variación en las capas pigmentadas según sector (i.e. Peine, La Punta-La Brava) y entre puntos de monitoreo de un mismo sector, las capas más comunes corresponden a tonalidades marrón y en menor medida, negro o verde claro.

Respecto a la estructura de pigmentación de los tapetes que presentaron dos macrozonas (Tipología 2), en las dieciséis campañas, se caracterizaron por presentar generalmente capas Subsuperficiales de tonalidad verde y naranja y capas Intermedias de tonalidad púrpura y/o rosada. En casos donde se evidenció la macrozona Profunda (y no la Intermedia), predominó la tonalidad marrón.

En el **sector La Punta-La Brava**, se observó una disminución en el número de capas promedio en Laguna La Brava, en invierno 2024 respecto al invierno anterior (2023), con casi 1 capa menos, alcanzando niveles similares a los inviernos 2019, 2020 y 2021. Por otro lado, Laguna La Punta, también mostró una disminución de casi 1,8 capas promedio, en invierno 2024 respecto al invierno anterior (2023), similar a su nivel más bajo, en invierno 2019. En verano 2025, se observa una leve variación, donde tanto Laguna La Brava como Laguna La Punta, muestran valores similares a verano 2024 y superiores a las campañas entre 2021 y 2023.

En el **sector Peine,** considerando que solo se tienen resultados, de manera parcial, para la campaña de invierno 2024, no es posible ni adecuado obtener conclusiones, ni tampoco de la evolución respecto de años previos, donde también es escasa la información (especialmente para campañas de verano), debido a la dificultad que existe para acceder a los puntos de monitoreo debido al cierre temporal del sistema lagunar durante el periodo reproductivo de flamencos. Sólo se puede resaltar que los tapetes del sector presentaron capas comunes subsuperficiales, frecuentemente de color verde y en menor medida naranjo; capas intermedias generalmente de color rosado y/o púrpura; y capas siguientes de localización profunda que presentaron tonalidad marrón, similar a años anteriores. En este punto es importante señalar que se **considera muy importante poder contar con el acceso a todas las zonas, por un lado, para poder realizar todos los puntos establecidos por RCA y por**

otro, para poder hacer seguimiento de manera adecuada a la evolución de las componentes en el tiempo.

A partir de la totalidad de campañas de monitoreo (16), se distinguen principalmente dos tipos de morfología de tapetes microbianos: 1) Tapetes de superficie plana, uniformemente estructurados y pigmentados, característicos de laguna Salada; 2) Tapetes convexos, con apariencia, consistencia y textura de tipo coriácea (rígida), los cuales predominan en Laguna La Brava (LB-1).

Respecto a la presencia de microbialitos y evaporitas, se sugiere la presencia de microbialitos, en invierno 2024 y verano 2025, tanto en el sector Peine (I-11, en invierno 2024) como en el sector La Punta-La Brava (LB-1, LP-23). Respecto a las evaporitas, se sugiere la presencia de estas estructuras en las campañas de invierno y verano para el sector La Punta - La Brava en Laguna La Punta (LP-24). Dichas observaciones también se han evidenciado en las previas campañas de verano e invierno.

Respecto de las variables que podrían estar modulando la presencia mayoritaria de Tipología 1 en los tapetes microbianos, se podrían atribuir a las fluctuaciones naturales de las variables conductividad, la salinidad, oxígeno disuelto y la turbiedad en las lagunas. Otras variables de importancia que podrían estar modulando la presencia de tipologías corresponden a la alcalinidad, el potencial redox, el nivel y la disponibilidad de agua en las lagunas (Cabestrero et al., 2018; Prieto-Barajas et al., 2018). Sin embargo, no se ha establecido una correlación directa entre dichos parámetros y las conformaciones tipológicas de los tapetes microbianos.

Cabe mencionar que, si bien se estudia la tipología, el número de capas y espesor de los tapetes, no necesariamente la tipología se asocia o correlaciona directamente con el número de capas, sino más bien, con la coloración que exhiben los tapetes, los cuales representan la funcionalidad de las comunidades, las cuales, a su vez, se asocian con las macrozonas de estas estructuras. En ese contexto, si se observan capas verdes y/o naranja (macrozona Subsuperficial), seguido de capas rosada y/o púrpura (macrozona Intermedia) y luego negro y/o café (macrozona Profunda), entonces se habla de Tipología 1. Si el tapete exhibe sólo dos macrozonas, entonces correspondería a Tipología 2, y si sólo exhibe una, entonces sería Tipología 3. Si bien, las capas pueden variar, mientras exista la presencia de, al menos, una capa representante de alguna macrozona, entonces se establece la presencia de ésta. Por ejemplo, un tapete puede tener 3 capas, cada una correspondiente a una macrozona, y ser considerado Tipología 1, mientras que otro tapete, puede tener 6 capas, pero pertenecientes a dos macrozonas, pues entonces, sería considerado Tipología 2.

Con todo lo anterior, es posible observar variaciones para esta componente a lo largo de lo que va del seguimiento y se sigue analizando para generar información a través del PMB.

14.4 En relación con Suelo o Sustrato

En los monitoreos de invierno 2024 (M17) y de verano 2025 (M18), se lograron monitorear todos los puntos de muestreo y todos los parámetros comprometidos en la RCA 21/2016.

El seguimiento de la conductividad eléctrica en los sectores La Punta - La Brava, Peine y Tilopozo, revela incrementos en varios puntos, con algunas muestras superando los máximos históricos; por ejemplo, en el sector La Punta - La Brava, se observaron alzas de hasta el 490% en el punto S 6-1 durante el invierno, M17, respecto a M15. La salinidad exhibe un comportamiento más diverso, con incrementos en ciertos puntos y descensos en otros, generalmente dentro o ligeramente por encima de los rangos históricos. En general, los resultados son coherentes con las características químicas de suelos en entornos de humedales salinos, y se recomienda un seguimiento continuo para validar las tendencias observadas y cualquier anomalía.

El monitoreo del pH revela una notable estabilidad en los valores durante los monitoreos de invierno y verano. En general, los resultados se mantienen dentro de los rangos históricos usuales con baja variabilidad entre muestreos, y se observa una tendencia a presentar valores de pH ligeramente mayores en superficie durante el verano, lo cual es consistente con el balance evapotranspirativo y el ascenso capilar de sales que elevan el pH en superficie. Los valores de pH registrados son normales y acordes a la ubicación de estos suelos en las proximidades de cuerpos lagunares salinos.

El monitoreo del nitrógeno disponible en los suelos de los tres sectores reveló una tendencia general de disminución en los valores para los monitoreos de invierno (M17) y verano (M18) en comparación con los monitoreos inmediatamente anteriores (M13 y M15), con porcentajes de baja que oscilan entre el 31% y el 89%. Los valores actuales de M17 se encuentran más cercanos a tendencias históricas como las de M7 y M9. Aunque la mayoría de las muestras se mantienen dentro del rango histórico de variación, se observaron excepciones puntuales, como aumentos por encima de los máximos históricos en dos muestras de Peine en verano (S 11-1 y S 11-2) y descensos por debajo de los mínimos históricos en dos muestras de Tilopozo en verano (S 2-1 y S 2-2). La variabilidad en los contenidos de nitrógeno se atribuye solo parcialmente a la diversidad del material parental, siendo influenciada significativamente por factores como la ocurrencia de lluvias (aporte atmosférico), la fijación de nitrógeno (simbiótica y no simbiótica), y la mineralización de materia orgánica, que dependen a su vez de la humedad, temperatura, pH y presencia de micorrizas. Se enfatiza la necesidad de continuar el seguimiento para definir de manera más clara el rango de variación natural de los suelos.

Por otro lado, el monitoreo del fósforo disponible en los suelos de los tres sectores reveló una tendencia de incrementos importantes en los niveles durante el invierno, con varias muestras superando los máximos históricos. Entre estas, se incluye un aumento del 726% en S 3-2 de La Punta - La Brava, un 433% en S 11-1 de Peine y un 268% en S 9-2 de Tilopozo,

representando estos valores una dispersión importante, que requiere validación en futuros monitoreos. En contraste, los valores de fósforo disponible en verano se mostraron más variables; generalmente dentro de la tendencia histórica, pero con algunas muestras por debajo de los mínimos (La Punta) o con aumentos moderados (Tilopozo), y alta variabilidad entre monitoreos. La disponibilidad de fósforo se explica parcialmente por la variabilidad del material parental, y está fuertemente influenciada por factores como el pH (mayor alcalinidad, mayor disponibilidad), el contenido de materia orgánica y los niveles de humedad del suelo. La posibilidad de re-transporte de material parental con distintos contenidos de fósforo por lluvias intensas en temporadas anteriores se plantea como una causa adicional a investigar. Es crucial continuar el seguimiento para confirmar tendencias y definir el rango de variación natural de este nutriente.

El monitoreo del potasio disponible en los suelos de los tres sectores revela que, en el monitoreo de invierno (M17), los valores se encuentran consistentemente en el rango alto del periodo de seguimiento total, aunque dentro de la variación histórica para cada punto. Una observación recurrente es que los valores de M15 en invierno presentan un incremento por sobre otros registros en todos los sectores. Los valores del monitoreo estival (M18) se presentan generalmente dentro de la tendencia histórica, con algunas muestras puntuales por debajo de los mínimos históricos (La Punta, Peine), y una constante identificación de M14 y M16 como los valores más elevados para registros de verano en La Punta y Tilopozo. La disponibilidad de potasio está influenciada parcialmente por la variabilidad del material parental (tipo de arcillas), y una mayor humedad y contenido de materia orgánica tienden a correlacionarse con una mayor disponibilidad. Se enfatiza la importancia de futuros monitoreos para confirmar posibles tendencias al alza y explorar causas adicionales, como el re-transporte de material parental rico en potasio por lluvias intensas.

La conductividad hidráulica de los suelos monitoreados en La Punta - La Brava, Peine y Tilopozo exhibió una marcada variabilidad temporal, lo que resalta la complejidad de este parámetro en el área de estudio. Durante el invierno, si bien la mayoría de los valores se situaron en la parte baja del rango histórico, se observó una dispersión significativa en La Punta - La Brava, con incrementos extremos (por ejemplo, hasta un 3439% en S 4-1) y descensos importantes en algunas muestras, mientras que Peine y Tilopozo presentaron muestras puntuales que superaron los máximos históricos. En los monitoreos de verano, también se registraron variaciones considerables, con muestras que excedieron los valores máximos históricos (por ejemplo, hasta un 486% en S 6-2 de La Punta - La Brava) y otras muestras que cayeron por debajo de los mínimos históricos. La conductividad hidráulica, que depende intrínsecamente de las características del suelo y las condiciones de compactación, no mostró una correlación clara con la textura del suelo en algunos casos, y no se registraron intervenciones antrópicas sobre la compactación que pudieran explicar estas fluctuaciones. Dada esta alta variabilidad natural, es fundamental continuar evaluando la serie histórica de

datos para identificar tendencias y robustecer el análisis para entender mejor la variabilidad inherente del sistema.

En los tres sectores monitoreados (La Punta - La Brava, Peine y Tilopozo), se observó una transición general hacia texturas más gruesas (predominantemente areno francosas y arenosas) en los monitoreos recientes (M17 y M18) en comparación con registros inmediatamente anteriores. Es importante destacar que este cambio sitúa las clases texturales actuales más cerca de los valores modales o más comunes de la serie histórica de datos. La diversidad y variabilidad textural registrada entre monitoreos se atribuye parcialmente a la heterogeneidad natural del material parental y a la dispersión geográfica entre puntos. Una causa complementaria y recurrente propuesta para explicar estas variaciones es el re-transporte de material parental con clases texturales diferenciales desde cotas superiores, posiblemente afectado por la ocurrencia de lluvias intensas en temporadas anteriores.

El monitoreo de la humedad del suelo revela que, en general, los valores se mantienen dentro de los rangos de variación históricos, con una gran consistencia interna en las muestras. Las variaciones observadas están fuertemente ligadas a factores como la textura del suelo y la presencia o profundidad del nivel freático. Por ejemplo, suelos con texturas más gruesas o niveles freáticos profundos (como en ciertos puntos de Peine y Tilopozo) presentaron consistentemente menor humedad, mientras que las zonas de vega con nivel freático presente (como algunos puntos en Tilopozo) mostraron los niveles más altos. A pesar de esta coherencia general, se identificaron casos de alta variabilidad local y ausencia de correlaciones directas claras entre la humedad y el nivel freático en ciertos puntos de La Punta - La Brava, así como algunas muestras extremas en Tilopozo. Esta complejidad subraya la necesidad de un monitoreo continuo y a largo plazo para establecer patrones de variación natural más robustos.

Los registros de nivel freático en los tres sectores muestran que, en general, las profundidades se mantienen dentro del rango de variación histórica y son consistentes con lo esperado para puntos de muestreo ubicados en el entorno inmediato de humedales salinos. Se observa una variabilidad espacial característica, con algunos puntos consistentemente más superficiales (como S 5 en La Punta - La Brava) y otros más profundos o sin nivel freático detectable (como S 6 en La Punta - La Brava, S 12 en Peine, y S 1 y S 2 en Tilopozo). Aunque la mayoría de los valores se sitúan dentro de los rangos usuales, se destaca la particularidad del punto S 7 en Tilopozo, que en invierno se presentó más profundo que en monitoreos anteriores. Cabe aclarar que los casos sin datos corresponden a niveles freáticos más profundos que la excavación realizada, y que la metodología y los resultados de este registro de nivel freático, aunque útiles como información complementaria para la caracterización del suelo, no forman parte de los compromisos ante la SMA.

Los monitoreos recientes de suelo en La Punta - La Brava, Peine y Tilopozo confirman que la mayoría de los parámetros se mantienen, principalmente, dentro de su rango de variación histórica. Esto es esperable dada la naturaleza de los suelos analizados. Si bien se observaron

variaciones entre monitoreos, incluyendo la estabilidad general del pH y la humedad, incrementos en la conductividad eléctrica, fósforo y potasio, y fluctuaciones en el nitrógeno, conductividad hidráulica y clases texturales, la mayor parte de estos cambios se asocian a la variabilidad natural intrínseca del material parental. También influyen la dinámica hídrica y los procesos biogeoquímicos propios de los humedales salinos, como el re-transporte de material. En algunos casos, la magnitud de ciertas variaciones dentro de la serie de datos sugiere la necesidad de continuar con los monitoreos para establecer el rango de variación natural del sistema.

14.5 En relación con Limnología (Biota acuática, calidad de agua y sedimentos)

El presente informe incluye el seguimiento de la biota acuática (flora y fauna acuática, calidad de aguas y sedimentos) en los sectores de Peine, La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo. Respecto al sector de Peine, en invierno 2024 debido a las restricciones de acceso determinadas por la comunidad de Peine no fue posible levantar información para el monitoreo en las estaciones S-5 y S-9, mientras que en verano 2025 no se pudo acceder a todo el sector Peine por el mismo motivo.

Respecto al análisis de los componentes limnológicos y su evolución en el tiempo, se contrastó para Sector La Punta, La Brava y Tilopozo, con las campañas de monitoreo de invierno 2016, 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024 y para el Sector Peine desde invierno 2016 a invierno 2024, excepto invierno 2023 debido a que en ese monitoreo no fue posible acceder a la totalidad del sector. Para las campañas de monitoreo estivales, se contó con las de verano 2017, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025, exceptuando la de verano 2020, la cual no se ejecutó producto de la pandemia COVID-19. Para el Sector Peine, solo con verano 2017, 2018, 2019 y 2022, ya que no se cuenta con información de verano para los años 2020, 2021 y 2023, por otra parte, por el COVID-19 en 2020 y de acceso ya mencionados al sector en los años 2021, 2023, 2024 y 2025. Es importante señalar que el no contar con la información hace imposible el análisis de la evolución de la componente.

Referente a la **calidad de agua**, los resultados tanto para el invierno 2024, verano 2025, como las anteriores campañas del PMB, indican que, si bien hubo diferencias en algunos parámetros respecto a los registros de LB considerados como referencia, tales diferencias pueden deberse a cambios propios de la variación natural de estos sistemas acuáticos salinos, caracterizados por una alta salinidad y conductividad eléctrica, asociadas a la alta concentración de sales como cloruros y sulfatos.

En el caso de los sectores de La Punta - La Brava y Peine, tanto en invierno 2024 como en todos los monitoreos de invierno realizados, se caracterizaron por presentar una alta conductividad y elevadas salinidades, asociados principalmente al alto contenido de sales

como cloruro y sulfato. Se observa un patrón de incremento y disminución de las concentraciones de sales y conductividad, de manera sucesiva e interanual durante los inviernos. Por su parte, en verano 2022 para Peine y los veranos de 2022, 2023, 2024 y 2025 para la Punta y La Brava, los parámetros de conductividad, cloruro y sulfato mostraron un rango de variación en general dentro del rango de la LB, exceptuando en LB-1 y LB-2 de La Brava que se ha observado una mayor variabilidad. En general para el sector La Punta - La Brava, las estaciones LB-1 y LB-2 de laguna La Brava fueron las que presentaron el mayor contenido de sales comparado con el resto de las estaciones del sector. En la estación LB-3, ubicada en la desembocadura de un afluente de la laguna La Brava, se registraron los menores valores de conductividad, salinidad, cloruros y sulfatos del sector. En el caso de laguna La Punta, se obtuvieron conductividades y salinidades menores que en LB-1 y LB-2 de La Brava, sin embargo, también fueron elevados. En el caso del sector Tilopozo, los registros de invierno 2024 y verano 2025 en general no mostraron una variación respecto a los periodos anteriores en los parámetros de calidad de agua, observándose un sistema más estable y con una menor conductividad y concentración de sales que los otros sectores de estudio, condición esperable dada las características de sistema de vegas y de su lejanía del núcleo del salar.

El análisis de **calidad de sedimentos**, si bien contó con sólo una campaña de LB previa de referencia (verano 2015) para los sectores de Peine y La Punta y La Brava; y para el sector de Tilopozo no hubo registros de LB respecto a la calidad de sedimentos, se cuenta con los monitoreos PMB (2017 a 2025). Estos muestran sedimentos ricos en carbono orgánico total y materia orgánica, siendo esta última recalcitrante a la degradación microbiana anaeróbica, siendo variables en el tiempo al igual que las concentraciones de fósforo, observándose en Tilopozo sus mayores concentraciones. El monitoreo de invierno 2024 y los inviernos previos las concentraciones de fósforo y nitrógeno han sido variables, sin una tendencia clara de aumentar o disminuir los valores de estos parámetros, tanto temporal como espacialmente. En verano 2025 el fosforo en TB-1 alcanzó la mayor concentración registrada de 18.100 mg/Kg en sedimento. El nitrógeno total Kjeldahl en verano ha presentado un comportamiento temporal con un incremento de los valores hacia el 2022, luego descender al mínimo en 2023 y finalmente incrementarse levemente en 2024 y 2025. El potencial redox presentó características reductoras con valores negativos en todas las estaciones y monitoreos, exceptuando en la campaña de verano 2023 en La Punta y La Brava, donde se registraron valores positivos que indican sedimentos que favorecen reacciones oxidativas. Las diferencias entre el actual registro y la LB estarían sujetos a la variación natural de los sistemas acuáticos que contienen sedimentos salinos delgados que son ricos en sulfatos y yeso.

En cuanto a las **comunidades biológicas** y en términos históricos y campañas de monitoreo, se detectaron valores de riquezas y abundancias que, según el sector evaluado, se situaron dentro de los rangos establecidos previamente en la línea de base, a exceptuación de algunos sectores.

En el sector La Punta y La Brava, durante las campañas de invierno 2024 y verano 2025, el fitobentos registró riquezas dentro del rango de la LB del PMB. Por su parte, el fitoplancton presento valores de riquezas por debajo del límite de LB. Respecto de la abundancia, para fitobentos, en ambas campañas, se detectaron altas abundancias en todas las estaciones de monitoreo, con registros por sobre el límite máximo de la LB. Además desde la campaña de invierno 2019 y verano 2021 se ha observado un mantenimiento y aumento de la abundancia en el tiempo en todas las estaciones de La Punta y La Brava.

En tanto, para fitoplancton durante las campañas en invierno 2024 y verano 2025, se registraron abundancias bajas, con valores por debajo del límite mínimo consignado previamente en la LB, dichos registros fueron observados tanto en estaciones de La Punta como de La Brava. Asimismo, en este sector, la abundancia presenta una tendencia decreciente desde el invierno 2020 y el verano 2021.

El sector de Tilopozo en invierno 2024 y verano 2025, mostró tanto para fitobentos como para fitoplancton, riquezas dentro del rango de variación en relación con los monitoreos de invierno y verano anteriores. En tanto, la abundancia de fitobentos ha presentado una disminución en el tiempo hasta la campaña de invierno 2020, posterior a esta se ha ido observando un aumento de la abundancia en todas las estaciones de monitoreo, obteniendo en invierno 2024 los mayores registros a la fecha, con excepción de la estación TB-1. En tanto, en periodos de verano 2025, el fitobentos, ha presentado un aumento sostenido de la abundancia en todas las estaciones, obteniendo en la estación TB-3 el mayor registro a la fecha. Por último, para fitoplancton, la abundancia se ha mantenido dentro del rango de variación en relación con los monitoreos de invierno y verano anteriores.

Respecto de los índices comunitarios en la campaña de invierno 2024 en La Punta y La Brava, para fitobentos y fitoplancton la mayor diversidad y equidad se observó en la Laguna La Brava. Para el sector Tilopozo, los valores de diversidad de la comunidad de fitobentos y fitoplancton fueron mayores en la estación TB-3. En tanto, la equidad fue mayor en la estación TB-1 y TB-2 en el fitobentos y en TB-3 para fitoplancton. Al contrario, en verano 2025 en La Punta y La Brava, los valores de diversidad y equidad de la comunidad de fitobentos, fueron mayores en la estación LB-2, y para el fitoplancton en la estación LP-24. Para el sector Tilopozo, los valores de diversidad y equidad del fitobentos, fueron mayores en la estación TB-3 y para el fitoplancton la mayor diversidad se observó en la estación TB-2 y la mayor equidad en la estación en TB-1.

En invierno 2024 y verano 2025 como en los anteriores monitoreos, se reportó la alta frecuencia y dominancia de la clase Bacillariophyceae (Diatomeas), en los sectores La Punta-La Brava y vegas de Tilopozo para ambos componentes, fitobentos y fitoplancton. En relación con los géneros frecuentes y dominantes, estos correspondieron a los históricamente reportados, todos relacionados a taxones halófilos encontrados en ambientes salinos y en algunos casos endémicos.

Por último, en relación con las variaciones obtenidas en el presente monitoreo anual para los componentes fitobentos y fitoplancton y en relación con la riqueza de géneros y abundancia total en los 3 sistemas, se sugiere que las variaciones estacionales dadas entre invierno y verano (muestreo post lluvias), serían propias de la dinámica natural de las comunidades microalgales, las que aumentan o disminuyen en función de las precipitaciones, evaporación y condiciones del hábitat entre periodos estacionales (Cepeda-Pizarro 2013; Díaz-Quiroz & Rivera-Rondon, 2004). A una escala menor, la salinidad, alcalinidad, oxígeno disuelto, conductividad, entre otras, afectan la diversidad microalgal y bacteriana y las tasas de fotosíntesis. La conjunción de todos estos factores, y dependiendo del sector y estación de monitoreo, estarían surtiendo un efecto sobre las riquezas y abundancias de las comunidades microalgales (Farias *et al.* 2017).

En el caso de las comunidades de **zooplancton** en invierno y verano 2025, las riquezas se mantuvieron bajas en el área, al igual que en monitoreos anteriores, tanto en La Punta y La Brava, en Peine y como en Tilopozo. Las abundancias totales para invierno 2024 estuvieron algunos valores por sobre el rango establecido por la línea base del PMB en La Punta y La Brava, y en el sector de Tilopozo en general fueron bajas. Las abundancias totales en verano 2025 fueron en general bajas, incluso bajo la LB de referencia para Peine, no así en La Punta y La Brava donde la mayor abundancia fue de *Tigriopus* sp. En el sector de Tilopozo hubo bajas abundancias y el zooplancton registrado correspondió a fauna compuesta por organismos bentónicos que eventualmente se encuentran en la columna de agua, entre ellos *Heleobia atacamensis*.

Las fluctuaciones de la conductividad y la salinidad en estos sistemas, atribuibles a las variaciones de precipitación y alta evaporación propias del salar, podrían estar repercutiendo en la abundancia microalgal y zooplanctónica.

Respecto de la **comunidad de zoobentos**, las riquezas fueron bajas en invierno 2024, en algunos casos menores a los registros de la LB y las abundancias fueron en general bajas respecto a monitoreos de invierno anteriores, tanto en La Punta-La Brava, en Peine, como en Tilopozo, exceptuando por las estaciones LB-1 (La Brava) y S-10 (Saladita). En verano 2025 las riquezas fueron variables y solo en un caso mayor a los registros de la LB (>3). Las abundancias respecto a monitoreos de verano anteriores tendieron a ser bajas en La Punta-La Brava y altas en Tilopozo.

La especie de gasterópodo *H. atacamensis* encontrado en Tilopozo en las últimas campañas y en campañas anteriores en altas abundancias, está descrita en la literatura de forma particular para ese sector. Tal especie se encuentra en categoría “En peligro Crítico” según el DS 52/2014 (MMA).

Respecto de las *plantas vasculares acuáticas* y en términos comparativos entre invierno 2024 y verano 2025 e históricamente (campañas 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024), en el sector vegas de Tilopozo, se registró un número mayor de especies respecto del sector La Punta y La Brava y menor en Peine, con especies distintas entre sistemas debido a la diferencia de salinidad presentada entre pozas y lagunas. Cabe mencionar que las plantas reportadas en los tres sectores correspondieron a plantas halófilas, tolerantes a altas salinidades, oscilación térmica y radiación horaria y diaria. Como resultado de los monitoreos, las plantas vasculares acuáticas se mantuvieron más bien estables en el tiempo (periodos invierno y verano), en cuanto a riqueza y abundancias entre los sectores estudiados.

Los resultados de este monitoreo invierno 2024 y verano 2025, corresponden a parte del seguimiento de estos sistemas. Estos mostraron algunas variaciones respecto a los monitoreos previos y los límites de referencia de la LB, sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran en general dentro de los rangos de variación para estos sistemas. La continuidad de estas evaluaciones, tanto estivales como invernales, permitirá evidenciar patrones de las dinámicas naturales y detectar eventuales cambios asociados a la operación en los sistemas en estudio.

Adicionalmente, se continuará en observación, sobre todo para algunos componentes que han mostrado algunas tendencias en estos 18 monitoreos, tanto estivales como invernales, lo que permitirá evidenciar patrones de las dinámicas naturales y detectar eventuales cambios asociados a la operación en los sistemas en estudio.

14.6 En relación con Área de Lagunas

De los resultados de las campañas para el año 2024, se puede concluir que las estimaciones de superficies lagunares mediante imágenes de alta resolución, para la condición de invierno 2024 se encuentran por sobre el mínimo de los registros de referencia (registros de AR previos a 2016) en el sector La Punta – La Brava y bajo el mínimo histórico en el sector Peine; y para la estación de verano (diciembre 2024) los sistemas presentaron superficies bajo el mínimo histórico. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies de referencia en AR son las determinadas en meses distintos (por ejemplo, marzo – abril en el caso de Peine) a los reportados semestralmente en el PMB (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada en los sistemas lagunares.

De la validación de las coberturas determinadas para el año 2024, con relación a los datos recabados en terreno, mediante el índice *Kappa,* se concluye de los valores obtenidos una alta

precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderada a considerable*[49].

Los resultados de la correlación entre las superficies calculadas desde de alta resolución (Pleiades 1-A) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestran relaciones positivas entre las variables en todos los sectores.

Estos resultados subrayan la consistencia estadística de las asociaciones entre las variables Pleiades y Landsat en los sectores analizados.

- Sector La Punta-La Brava

Se observa para el sector La Punta – La Brava, que la máxima extensión de las lagunas se produce durante los meses de invierno y los registros más bajos (o mínimos) en verano; además existe una tendencia histórica al descenso de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto), y para las superficies registradas en los veranos (enero – febrero, noviembre - diciembre). En general, se observa que la diferencia entre superficies entre los inviernos y veranos se ha ido acortando desde el año 2008, y posterior a esa fecha, se presentaría un quiebre en la tendencia de las superficies de invierno, con un descenso en las coberturas estimadas en invierno 2020 a invierno 2024, aunque han sido relativamente estables desde 2021.

En general, los registros de superficies calculadas con Landsat observadas durante el monitoreo 2016 a 2024, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI para el sector La Punta - La Brava y similares a los datos históricos, tanto en invierno y verano, considerando las superficies históricas de los años 2016 – 2024.

De lo anterior, se puede señalar que la variación intranual de las superficies lagunares de La Punta-La Brava, tendría una relación directa con la evapotranspiración y por ende con los niveles de aguas subsuperficiales, dejando la precipitación como un factor secundario dado que esta produce variaciones significativas de la superficie sólo para eventos de “alta precipitación” y de muy corto plazo, extendiéndose su efecto por no más de 1-2 meses, de acuerdo a los registros; incluso no llegando a variar las superficies si se presentan en una cantidad menor a 10 mm.

- Sector Peine

[49] Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

La serie de registros obtenidos del análisis de imágenes Landsat, muestra que previo al año 2013, en general los registros fueron relativamente estables, con una dinámica estacional en que los registros fueron superiores durante invierno e inferiores en verano (Figura N°13-132), con excepción de algunos años particulares, principalmente asociados a eventos de precipitación. Posteriormente, tanto inviernos como veranos muestran una tendencia a la baja desde 2013-2015 hasta 2024. El PMB entre 2016-2024 presenta registros de superficies calculadas con Landsat que se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según la variación del índice NDWI, tanto en invierno como en verano. Cabe señalar que de acuerdo a la serie de variación de la superficie lagunar del período 1984 – 2025 obtenida de Albemarle – HIDROMAS, 2025, a partir de 2013 hubo un cambio en la dinámica de las superficies, aumentando la influencia de los eventos de precipitación. El PMB ha sido monitoreado en un período posterior a dicho cambio (2016-2024).

En relación con las fluctuaciones en las superficies de lagunas según el índice Landsat/NDWI entre 2016 y 2024, así como los registros calculados como parte del PMB, se destaca que estos últimos se sitúan dentro de los valores máximos y mínimos registrados hasta diciembre de 2024. No obstante, es relevante señalar que los registros de invierno y verano de 2021 – 2022 – 2023 y 2024, se encuentran en el rango mínimo de las superficies calculadas según el índice NDWI.

Las imágenes de alta resolución del PMB para el sector Peine muestran una variabilidad estacional entre invierno y verano, aunque con una tendencia a reducirse en los últimos años. Este comportamiento, consistente con los datos Landsat, respalda el modelo conceptual que indica una baja influencia estacional en la superficie lagunar de Peine, principalmente controlada por la evaporación. Desde el invierno de 2021, las superficies semestrales se mantienen por debajo del mínimo histórico registrado en alta resolución (datos previos a 2016), aunque las comparaciones deben considerar las diferencias en los meses de captura. Cómo se ha mostrado, los registros históricos que se cuenta para el Sistema Peine fueron evaluados en un período que no corresponde al mínimo anual.

14.7 En relación con Nivel Freático en Lagunas

El PMB considera el monitoreo del nivel freático en cinco (5) puntos ubicados en el entorno de los Sistemas Lagunares La Punta – La Brava y Peine. Del análisis realizado para los registros del período abril 2024 – marzo 2025, es importante tener en consideración que el período con registros previo al inicio del Proyecto se extiende por solamente 3 años (mayo 2013 – marzo 2016), en dos de los cuales se presentaron eventos de alta intensidad de precipitación (2013 y 2015), siendo el nivel freático de dicho período representativo de estas condiciones particulares.

Para el Sector Peine, no es posible hacer una evaluación de la condición media anual, ni del período de verano, debido a la imposibilidad de desarrollar mediciones en dicha época, por corresponder a la época de reproducción de flamencos.

Respecto al período con registros (junio 2024 – septiembre 2024, a excepción de un monitoreo en el mes de octubre para el pozo BA-21), el pozo BA-21 presentó, en general, valores inferiores a los del año previo. En el caso de BA-22, los valores registrados resultaron ser similares a los del año previo, siendo el valor máximo medido durante 2024 levemente inferior al de 2023.

Para el sector La Punta – La Brava, se sigue observando una tendencia al descenso en el pozo BA-07, el que presentó sus registros inferiores en todo el período con mediciones. En el caso del pozo BA-05 se presenta un comportamiento relativamente estable desde el año 2022, y en el caso del pozo BA-16, éste muestra una condición relativamente estable en los últimos años, de manera posterior a las precipitaciones de 2019, con un leve aumento en verano de 2025.

15 REFERENCIAS

15.1 En relación con 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.

BRIGNONE, N. F., Jocou, A. I. & Denham, S. D. 2021. *Toward an updated taxonomy of the South American Amaranthaceae II: subfamily Salicornioideae, tribes Salicornieae and Suaedeae*. Ann. Missouri Bot. Gard. 106: 292-324

CEDREM Consultores & RWL. Informe ejecutivo. Monitoreo de flora y vegetación: Seguimiento de transectas de vegetación azonal en el salar de Atacama para el Proyecto "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta", Rockwood Lithium. Santiago, Chile, 2016a.

CEDREM Consultores & RWL. Informe ejecutivo. Determinación espacio temporal de cuerpos de agua en Salar de Atacama para el Proyecto "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta", Rockwood Lithium. Santiago, Chile, 2016b.

CHANDER G., B. Markham, D. Helder. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment, Volume 113, Issue 5, 893-903 pp. 2009.

CHUVIECO E. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. España: Ariel Ciencia. 594 pp. 2002.

CONAF, Corporación Nacional Forestal, Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), Universidad Austral de Chile (UACh), Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) y Universidad Católica de Temuco (UCT). Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Santiago, Chile. 1999.

CONAF, Corporación Nacional Forestal. Guía de Evaluación Ambiental. Criterios para la participación de CONAF en el SEIA. Santiago, Chile. 2014.

DEGANO, C. (1999). Respuestas morfológicas y anatómicas de *Tessaria absinthioides* (Hook. et Arn.) DC. a la salinidad. Rev. Brasil. Bot. Sao Paulo, 22, 357-363.

ETIENNE, M. & Prado, C. Descripción de la vegetación mediante la Cartografía de Ocupación de Tierras (COT). Conceptos y Manual de uso práctico. [Publicaciones Misceláneas N° 10]. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, Escuela de Agronomía. 1982

FONT QUER, P. Diccionario de Botánica. Barcelona-Buenos Aires, España-Argentina. 1965.

GAJARDO, R. Vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile. Editorial Universitaria, 1994.

GODRON, M., P. Daget & L. Emberger. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Paris, France : Centre National de la recherche scientifique.1968.

GONZAGA, C. (2014). Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador. Universidad Nacional de La Plata, Ecuador.

GOODALL, D. W. (1952). Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. Australian Journal of Biological Sciences, 5(1), 1-41.

GREIG-SMITH, P. (1983). *Quantitative plant ecology* (Vol. 9). Univ. of California Press.

JULIÁ, C., Montecinos, S. y Maldonado, A. Características climáticas de la región de Atacama, Capítulo 3 en Libro Rojo de flora nativa y de los sitios prioritarios para la conservación: Región de Atacama. Eds. F.A. Squeo, G. Arancia y J.R. Gutiérrez. Ediciones Universidad de la Serena, La Serena Chile. 2008. 3: 25-42.

KENDALL, M.G., Rank correlation methods. 3 ed. Ed. Hafner Publishing Company. New York, 1962.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand: By DG Krige (Doctoral dissertation, University of the Witwatersrand). 1951.

LAMOLDA H. Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes Landsat ETM+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales. Tesis de pregrado para optar a la titulación en ingeniero técnico en topografía. Universidad Politécnica de Madrid. 124 pp. 2008.

LUEBERT, F y P. Pliscoff. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago, Chile: Universitaria. 2017.

MANN. H.B., Non-parametric tests against trend, Econométrica, 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 Enviromental Studies, 1995.

RAMSAR. Documento informativo Ramsar No. 1. Ramsam, Irán, 1971. Consultado en septiembre de 2016 del sitio web: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007sp-01.pdf

SATELLITE IMAGING Corporation. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A. Consultado en agosto de 2023 del sitio web: https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/pleiades-1/

SATELLITE IMAGING Corporation. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A. Consultado en mayo de 2024 del sitio web: https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/pleiades-1/

TUCKER, J. *Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation*. Remote Sensing of the Environment 8 (2), 127-150 pp. 1979.

WOENSBY, C. E. (1973). Modified step-point system for botanical composition and basal cover estimates. Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives, 26(4), 302-303.

15.2 En relación con Fauna Vertebrados Terrestres

Artículos científicos y capítulos de libros

Araya, B. &Millie, G. (1998). *Guía de campo de las aves de Chile* (8ª. Ed.). Santiago, Chile: Universitaria.

Begon, M., Townsend, C.R. & Harper, J.L. (1996). *Ecology: Individuals, Populations and Communities* (3ª. Ed.). Oxford, UK: Blackwell Science.

Benavides, E., Ortiz, J.C. &Formas, J.R. (2002). A new species of *Telmatobius* (Anura: Leptodactylidae) from Northern Chile. *Herpetológica, 58*(2), 210-220.

Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2015) Plan de Manejo Biótico. Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta. Informe técnico.

Cei, J.M. (1962). *Batracios de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones de la Universidad de Chile.

Clements, F.E. (1905). *Research Methods in Ecology*. Lincoln, Nebraska: University of Nebraska Publishing Company.

Cofré, H. &Marquet, P. (1999). Conservation status, rarity, and geographic priorities for conservation of Chilean mammals: An assessment. *Biological Conservation,88*, 53-68.

Cuevas, C. & Formas, R. (2002). *Telmatobius philippii,* una nueva especie de rana acuática de Ollagüe, norte de Chile (Leptodactylidae). *Revista Chilena de Historia Natural*, *75*(1), 245-258.

De la Maza, M. & Bonacic, C. (Eds.) (2014). *Manual para el monitoreo de fauna silvestre en Chile*. Santiago, Chile: Ediciones UC.

Díaz-Páez, H. & Ortiz, J.C. (2003). Evaluación del estado de conservación de los anfibios en Chile*. Revista Chilena de Historia Natural, 76,* 509-525.

Donoso-Barros, R. (1966). *Reptiles de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones de la Universidad de Chile.

Glade, A. (Ed.) (1993). *Libro Rojo de los vertebrados terrestres de Chile.* Santiago, Chile: CONAF.

Iriarte, A. (2008). *Mamíferos de Chile.* Barcelona, España: Lynx Edicions.

Iriarte, A. &Jaksic, F. (2012). *Los carnívoros de Chile*. Santiago, Chile: Ediciones Flora & Fauna y CASEB.

Iriarte, A., Lagos, N. & Villalobos, R. (2011). *Los Mamíferos de la Región de Antofagasta.* Santiago, Chile: Ediciones Flora & Fauna Chile Limitada.

Jaramillo, A. (2005). *Aves de Chile.* Barcelona, España: Lynx Edicions.

Johnson, A.W. & Goodall, J.D. (1965). *The birds of Chile and Adjacent regions of Argentina, Bolivia, and Perú, Volume I*. Buenos Aires, Argentina: Platt Establecimientos Gráficos.

Magurran, A.E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, EEUU: Springer Netherlands.

Mann, G. (1978). Los pequeños mamíferos de Chile (marsupiales, quirópteros, edentados y roedores). *Gayana zoología*, *40*, 1-342.

Martínez, D. &González, G. (2005). *Las aves de chile. Nueva guía de campo.* Santiago, Chile: Ediciones del naturalista.

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-Pedreros, A. (2010). *Huellas y signos de mamíferos de Chile*. Valdivia, Chile: Ediciones CEA.

Muñoz-Pedreros, 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: Science Verlag.

Servicios Públicos, Convenciones, Leyes y Decretos

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2009). *Minuta Prelación para efectos del SEIA de las clasificaciones y/o categorizaciones de las especies de flora y fauna.* Santiago, Chile: Autor.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). (1988). *Libro Rojo de los vertebrados terrestres de Chile*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio de Agricultura (MINAGRI). (30 de junio de 2006). Declara Monumento Natural a las especies de fauna silvestre huemul, chinchilla costina, chinchilla cordillerana, cóndor, picaflor de Arica y picaflor de Juan Fernández. Decreto Supremo N° 2 de 2006 (D.S. N°02/2006 MINAGRI). *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (27 de febrero de 2012). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, quinto proceso. Decreto Supremo N° 33 de 2011 (D.S. N°33/2011 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile.*

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (11 de abril de 2012). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, sexto proceso. Decreto Supremo N° 41 de 2011 (D.S. N°41/2011 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile.*

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (11 de abril de 2012.). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, séptimo proceso. Decreto Supremo N° 42 de 2011 (D.S. N°42/2011 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile.*

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (11 de febrero de 2013). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, octavo proceso. Decreto Supremo No. 19 de 2012 (D.S. N°19/2012 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile.*

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (25 de julio de 2013). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, noveno proceso. Decreto Supremo No. 19 de 2012 (D.S. N°13/2013 MMA). Gobierno de Chile. *Diario oficial de la República de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (29 de agosto de 2014). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo proceso. Decreto Supremo N° 52 de 2014 (D.S. N°52/2014 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (04 de diciembre de 2015). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, undécimo proceso. Decreto Supremo N° 38 de 2015 (D.S. N°38/2015 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (30 de septiembre de 2016). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, duodécimo proceso. Decreto Supremo N° 16 de 2016 (D.S. N°16/2016 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (16 de marzo de 2017). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo tercer proceso. Decreto Supremo N° 6 de 2017 (D.S. N°6/2017 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (02 de agosto de 2018). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo cuarto proceso. Decreto Supremo N° 79 de 2018 (D.S. N°79/2018 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (30 de julio de 2019). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo quinto proceso. Decreto Supremo N° 23 de 2019 (D.S. N°23/2019 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (3 de agosto de 2020). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo sexto proceso. Decreto Supremo N° 16 de 2020 (D.S. N°16/2020 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (12 de octubre de 2021). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo séptimo proceso.

Decreto Supremo N° 44 de 2021 (D.S. N°44/2021 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (6 de abril de 2023). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo octavo proceso. Decreto Supremo N° 10 de 2023 (D.S. N°10/2023 MMA). Diario oficial de la República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (3 de enero de 2024). Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, decimonoveno proceso. Decreto Supremo N° 02 de 2024 (D.S. N°02/2024 MMA).

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.º 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, Irán.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2012a). *La ley de caza y su reglamento*. *(Ley N°19.473 y D.S. N°5/1998 MINAGRI).* Santiago, Chile: Autor.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2012b). *Guía de Evaluación Ambiental: componente fauna silvestre.* Santiago, Chile: Autor.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). (2016). *Guía de Evaluación Ambiental Componente Fauna Silvestre D-PR-GA-01*. Santiago, Chile: Autor

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2015). *Guía para la descripción de los componentes Suelo, Flora y Fauna de ecosistemas terrestres.* Santiago, Chile: Autor.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2012). *Categorías y criterios de la lista roja de la UICN.* Gland, Suiza: Autor.

15.3 En relación con Tapetes Microbianos

AL-THANI R, AL-NAJJAR MA, AL-RAEI AM, FERDELMAN T, THANG NM, AL SHAIKH I, AL-ANSI M, DE BEER D. 2014. Community structure and activity of a highly dynamic and nutrient-limited hypersaline microbial mat in Um Alhool Sabkha, Qatar. PLoS One, 9: e92405.

BOLHUIS H, CRETOIU MS, STAL LJ. 2014. Molecular ecology of microbial mats. FEMS microbiology ecology, 90: 335-350.

BURNE R, L MOORE. 1987. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. Palaios, 241-254.

CABESTRERO, Ó., SANZ-MONTERO, M.E., ARREGUI, L. SERRANO S, VISSCHER PT. 2018. Seasonal Variability of Mineral Formation in Microbial Mats Subjected to Drying and Wetting Cycles in Alkaline and Hypersaline Sedimentary Environments. Aquat Geochem, 24: 79-105.

CARDOSO DC, CRETOIU MS, STAL LJ, BOLHUIS H. 2019. Seasonal development of a coastal microbial mat. Scientific reports, 9: 9035.

CHEN R, WONG HL, KINDLER GS, MACLEOD FI, BENAUD N, FERRARI BC, BURNS BP. 2020. Discovery of an Abundance of Biosynthetic Gene Clusters in Shark Bay Microbial Mats. Front Microbiol, 11: 1950.

DEMERGASSO C, ESCUDERO L, CASAMAYOR EO, CHONG G, BALAGUE V, PEDROS-ALIO C. 2008. Novelty and spatio-temporal heterogeneity in the bacterial diversity of hypersaline Lake Tebenquiche (Salar de Atacama). Extremophiles, 12: 491–504.

DORADOR C, REMONSELLEZ F, VILA I, IMHOFF, J, WITZEL K. 2010. Unique clusters of Archaea in Salar de Huasco, an athalassohaline evaporitic basin of the Chilean Altiplano. FEMS Microbiology Ecology, 73: 291-302.

EYMARD I, ALVAREZ MDP, BILMES A, VASCONCELOS C, ARIZTEGUI D. 2020. Tracking Organomineralization Processes from Living Microbial Mats to Fossil Microbialites. Minerals; 10: 605.

FARIAS M, CONTRERAS M. 2013. Ecosistemas Microbianos. ¿Nuevo patrimonio de la Humanidad? Revista Bitacora Ecológica Vol:1 (Chile).

FARIAS ME, CONTRERAS M. 2017. Guía para la Conservación y Seguimiento de Ecosistemas Microbianos. Centro de Ecología. Proyecto “Análisis de Adaptación al Cambio Climático en Humedales Andinos”, código BIP N° 30126735-0.

FARIAS ME, RASUK MC, GALLAGHER KL, CONTRERAS M, KURTH D, FERNANDEZ AB, POIRÉ D, NOVOA F, VISSCHER PT. 2017. Prokaryotic diversity and biogeochemical characteristics of benthic microbial ecosystems at La Brava, a hypersaline lake at Salar de Atacama, Chile. PLoS ONE 12: e0186867.

GERARDI M, LYTLE B. 2015. Purple and Green Sulfur Bacteria. The Biology and Troubleshooting of Facultative Lagoons, First Edition. United States, New Jersey.215p.

GISCHLER E, GOLUBIC S, GIBSON M, OSCHMANN W, HUDSON H. 2010. Microbial Mats and Microbialites in the Freshwater Laguna Bacalar, Yucatan Peninsula, Mexico. Lecture Notes in Earth Sciences, 187–205.

GLUNK C, DUPRAZ C, BRAISSANT O, GALLAGHER KL, VERRECCHIA EP, VISSCHER PT. 2010. Microbially mediated carbonate precipitation in a hypersaline lake, Big Pond (Eleuthera, Bahamas). Sedimentology, 58: 720-736 pp.

GUEDES AC, AMARO HM, MALCATA FX. 2011. Microalgae as Sources of Carotenoids. Marine Drugs, 9: 625.644.

KONHAUSER K. 2007. Introduction to Geomicrobiology. Blackwell Science. Australia. 425 pp.

MAANA A, AREF M. 2022. Microbial mats and evaporite facies variation in a supralittoral, ephemeral lake, Red Sea coast, Saudi Arabia. Facies, 68: 3.

MADIGAN M, MARTINKO J, DUNLAP P, CLARK D. 2009. Brock Biología de los Microorganismos. 12th ed. Pearson Educación. Madrid, España. 1259 p.

PAERL HW, YANNARELL AC. 2010. Environmental Dynamics, Community Structure and Function in a Hypersaline Microbial Mat. In: Seckbach J., Oren A. (eds) Microbial Mats. Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology, vol 14. Springer, Dordrecht.

PRIETO-BARAJAS C, VALENCIA-CANTERO E, SANTOYO G. 2018 Microbial mat ecosystems: Structure types, functional diversity, and biotechnological application. Electronic Journal of Biotechnology, 31: 48-56

RIDING R, AWRAMIK SM. 2000. Microbial Sediments. Springer-Verlag, Berlin. 331pp.

RISACHER F., ALONSO H., SALAZAR C. 1999. Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones - Chile. Volumen III: Estudio de Cuencas de la II Región. Convenio de Cooperación DGA – UCN – IRD (S.I.T. Nº 51), 299 pp.

RODRÍGUEZ-ARANDA J, SANZ-MONTERO M. 2015. Tapices microbianos: los organismos que fabrican estromatolitos. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 23: 208-219.

ROGOZIN D, ZYKOV V, TARNOVSKII M. 2016. Dynamics of purple sulfur bacteria in a meromictic saline Lake Shunet (Khakassia, Siberia) in 2007–2013. Microbiology, 85: 93-101

SAONA LA, VILLAFAÑE PG, CARRIZO D, CÓNSOLE GONELLA C, NÉSPOLO RF, FARÍAS ME. 2024. Geomicrobiological characterization of the evaporitic ecosystem in the hypersaline lake Laguna Verde (Andean Puna, Northwestern Argentina). Ecol Evol; 14: e10931.

WONG H, AHMED-COX A, BURNS BP. 2016. Molecular Ecology of Hypersaline Microbial Mats: Current Insights and New Directions. Microorgnasism, 4: 6.

15.4 En relación con Suelo o Sustrato

Acevedo, P. et al., 2004. Suelos Salinos del Norte de Chile. Parte I. Origen, Distribución y Características de los Depósitos. V Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica.

AGROLAB. 2017. Rosa Espinoza. Comunicación personal.

Ahumada, M. y Faúndez, L. 2009. Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT). Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. 118p.

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.1995. 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.

Hai-long Lu, Ke-wei Li, Jackson Nkoh Nkoh, Xian He, Ren-kou Xu, Wei Qian, Ren-yong Shi, Zhi-neng Hong. 2022. *Effects of pH variations caused by redox reactions and pH buffering capacity on Cd(II) speciation in paddy soils during submerging/draining alternation*. Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 234, https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113409.

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.

MMA – ONU Medio Ambiente, 2022. Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile. Elaborada mediante consultoría Proyecto GEF/SEC ID: 9766 “Conservación de humedales costeros de la zona centro sur de Chile” por EDÁFICA Suelos y Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 200 p.

Rioja Molina, A. (2002), Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A., España.

SAG, 2011. Pauta para Estudio de Suelos. Servicio Agrícola y Ganadero.

U.S.D.A. 2012. Field book for describing and sampling soils. Version 3.0.

15.5 En relación con 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 Geólogica de Chile 23:113–122.

Araya, J.M. & L. Zúñiga. (1985). Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. Boletín Limnológico de Chile, UACH 110 p.

Biese, W.A. (1947). Revisión de los moluscos terrestres y de agua dulce provistos de concha de Chile. Parte II, Familia Amnicolidae (continuación). Boletín del Museo de Historia Natural 23: 63-77.

Bertrand, H. (1995). Les insectes aquatiques d'Europe. Encyclopédie Entomologique. Volume II: Trichoptères, Lepidoptères, Diptères, Hyménoptères. Paul Lechevalier Editeur (Paris). 543 pp.

Blott, S.J. & Pye, K. (2001). Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surface Processes and Landforms, 26, 1237-1248.

Boletín CIIFEN. Pronóstico Climático Estacional. https://ciifen.org/

CADE-IDEPE Consultores. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Salar de Atacama. Dirección General de Aguas (DGA). Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile. 141 pp.

Cepeda-Pizarro, J. (2013). Variabilidad temporal de algunos parámetros físicos e hidroquímicos de un prado húmedo alto-andino del norte-centro de Chile. Idesia (Arica), 31(2), 89-97. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000200013.

Collado, G.A., Méndez, M. A., Letelier, S. L., Véliz, D. y Sabando, M. C. (2011). Morfología peniana y taxonomía de especies chilenas del género Heleobia Stimpson, 1865 (Caenogastropoda: Cochliopidae) junto a una revisión de los ejemplares tipo del Museo Nacional de Historia Natural de Chile. Amici Molluscarum (Número especial): 49-58.

De los Ríos-Escalante, P. R. (2010). Crustacean Zooplankton Communities in Chilean Inland Waters. Crustaceana Monographs, 12, 109.

De Los Ríos-Escalante, P., Adamowicz, S. & Witt, J. (2010). Aquatic fauna in the driest desert on earth: first report on the crustacean fauna of the Loa river (Atacama desert, Antofagasta region, Chile). Crustaceana 83(3): 257-266.

Díaz-Quiroz, C., & Rivera-Rondon, C. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. Caldasia, 26(2), 381–394.

Dodds, W.K., Jones, J.R., Welch, E.B. (1998). Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. Water Research 32: 1455-1462.

DGA. (2016). Atlas del Agua: Chile 2016. Parte 2. Dirección General de Aguas https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/4371

Domínguez, E., Molineri, C, Pescador, M., Hubbart, M. & Nieto, C. (2006). Aquatic Biodiversity in Latin America: Ephemeroptera of South America. PENSOF, Sofia, Moscow. 646 pp.

Farías, M. E., Contreras, M., Rasuk, M. C., Kurth, D., Flores, M. R., Poiré, D. G., Novoa, F. & Visscher, P. T. (2014). Characterization of bacterial diversity associated with microbial mats, gypsum evaporites and carbonate microbialites in thalassic wetlands: Tebenquiche and La Brava, Salar de Atacama, Chile. Extremophiles, 18(2), 311–329.

Fernandez, A., Rasuk, M., Visscher, P., Contreras, M., Novoa, F., Poire, D., Patterson, M., Ventosa, A. & Farias, M. (2016). Microbial diversity in sediment ecosystems (evaporites domes, microbial mats, and crusts) of Hypersaline Laguna Tebenquiche, Salar de Atacama, Chile. Frontiers in Microbiology, 7, 1–18.

Fernández, H. R. & Dominguez, E. (2001). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán - Facultad de Ciencias Naturales y Instituto Miguel. Lillo. 282p.

González, E. & Watling, L. (2003). Two new species of Hyalella from Lake Titicaca, and redescriptions of four others in the genus (Crustacea: Amphipoda). Hydrobiologia 497: 181–204.

Javor, B., (1989). Hypersaline Environments: Microbiology and Biogeography. Springer-Verlag Berlin, Germany, 328 pp.

Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. (1986). Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae. In: ETTL, H., J. GERLOFF, H. HEYNIG & D. MOLLENHAUER (eds.), Süsswasserflora von Mitteleuropa, G. Fischer, Jena.

Krammer, K .& H. Lange-Bertalot. (1991). Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: ETTL, H., J. GERLOFF, H. HEYNIG & D. MOLLENHAUER (eds.), Süsswasserflora von Mitteleuropa, G. Fischer, Jena Süsswasserflora von Mitteleuropa Bd. 2/3: Stuttgart, Gustav Fischer Verlag

Lange-Bertalot, H. (2001). *Navicula sensu stricto*, 10 genera sepa-rated from *Navicula sensu lato Frustulia*. In: H Lange-Bertalot (ed.) Diatoms of Europe (Vol. 2) ARG Gantner Verlag, Ruggell. 526 p.

Lopretto, E. & G. Tell. (1995). Ecosistemas de Aguas Continentales. Tomo III. Ediciones Sur. La Plata, Argentina. 1401 p.

Lugo-Ortiz, C.R. & W.P. McCafferty. (1995). Three distinctive new genera of Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) from SouthAmerica. Annals Limnologie 31: 233-243.

Lugo-Ortiz, C.R. & W.P. McCafferty. (1999). Revision of SouthAmerican species of Baetidae (Ephemeroptera) previously placed in Baetis Leach and Pseudocloeon Klapálek. Ann Limnol 35:257-262.

Maidana, Nora I, & Seeligmann, Claudia T. (2015). Diatomeas (Bacillariophyceae) en humedales de altura de la Provincia de Catamarca (Argentina): III. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 50(4), 447-466.

Merrit, R.W. & K.W. Cummins. (1996). An introduction to the Aquatic Insect of North America. Third Edition. Kendall / Hunt Publishing Company. 862 pp.

MMA. (2011). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Ministerio de Medio Ambiente. Chile. 47 pp.

Parra, O., González, M., Dellarossa,V., Rivera, P. & Orellana, M. (1982-1983). Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción Vol. 1, Cyanophyceae, 1982; Vol. 2, Chrysophyceae-Xanthophyceae, 1982; Vol. 3, Cryptophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae, 1982 ; Vol. 4, Bacillariophyceae, 1982; Vol. 5 (partes 1 y 2), Chlorophyceae, 1983.

Parra, O. O., & Bicudo, C. E. . (1996). Algas de Aguas Continentales: Introducción a la Biología y Sistemática. (Universidad de Concepción, Ed.).

Philippi, R.A. (1860). Reise durch die Wueste Atacama auf Befehl der chilenischen Regierung im Sommer 1853–54. Halle: E. Anton. 192 + 62 pp., 28 láminas.

PMB. (2015). Anexo 2, Adenda 5 RWL. Plan de Manejo Biótico. Informe consolidado de Líneas bases. Ecosistemas Terrestres y Ecosistemas Acuáticos Continentales. Proyecto: “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium - CEA. Santiago, Chile, octubre 2015.

Pennak, R.W. (1989). Fresh-water invertebrates of the United States. Third Edition. John Wiley & Sons, New York, New York.

Pereira, I. & O. Parra. (1984). Algas filamentosas dulceacuícolas de Chile I. Algas bentónicas de la Región de Concepción. Gayana Bot. 41 (3/4): 201-224.

Prescot, G.W. (1970). How to 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 18º28' S and 58ºS. Bibliotheca Diatomologica, Band 3. J. Kramer, Vaduz. 386 p.

Round, F.E., Crawford R.M. & Mann D.G. (1996). The Diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 735 p.

Rumrich, U., H. Lange-Bertalot & M. Rumrich. (2000). Diatomeen der Anden von Venezuela bis Patagonien/Feuerland. En: H. Lange-Bertalot (Ed.), Iconographia Diatomologica Vol. 9, 673 p., A.R.G. Gantner Verlag K.G.

Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C. & Ortega, H. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. (Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural, Ed.). Lima.

Santibáñez, F., Roa, P. & P Santibáñez (2008). El medio físico. En: Biodiversidad de Chile. Patrimonio y desafíos.CONAMA.

Simonsen, R. (1987). Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Friedrich Hustedt. J. Cramer, Berlin & Stuttgart, 1: 525 pp, 2: 597, 3: 619.

Smith, V.H, Tilman, G.D. & J.C. Nekola. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental Pollution, 100 (1-3): 179-196.

Stevenson J, M. Bothwell & R. Lowe. (1996). Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystem. Academic Press. Pp 753.

SUBPESCA. (2018). Guía metodológica y protocolos de muestreo de flora y fauna acuática en aguas continentales de Chile. Proyecto FIPA N° 201646. Subsecretaria de Pesca y Acuicultura. Pp 122.

Teillier S. & P. Becerra. (2003). Flora y Vegetación del salar de Ascotán, Andes del Norte de Chile. Gayana Bot. v.60 n.2.

Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, 30: 377-392.

Wetzel, R.G. & Likens, E.(1991). Limnological analyses. Springer–Verlag. New York, USA.

Wetzel, R. G. (2001). Limnology: Lake and River Ecosystems, Third Edition. Academic Press.

15.6 En relación con Área de Lagunas

ANEXO 1, ADENDA 5 EIA, APÉNDICE I, PROYECTO ROCKWOOD LITHIUM 2015. Funcionamiento Hidrogeológico de los Sistemas Lagunares La Punta – la Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor. Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico, Sector Sur del Salar de Atacama. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada – SGA, Soluciones y Gestión ambiental. Región de Antofagasta, 246 pp.

ANEXO 1, ADENDA 5 EIA, APÉNDICE L, PROYECTO ROCKWOOD LITHIUM 2015. Monitoreo de dinámica espacio – temporal de lagunas de la Zona Marginal del Salar de Atacama a través de Imágenes Satelitales. Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico, Sector Sur del Salar de Atacama. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada – SGA, Soluciones y Gestión ambiental. Región de Antofagasta, 246 pp.

ANEXO 2, ADENDA 5 EIA, APÉNDICE B, PROYECTO ROCKWOOD LITHIUM 2015. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada. Región de Antofagasta, 10-2015.

ANEXO 3, ADENDA 5 EIA, PROYECTO ROCKWOOD LITHIUM 2015. Plan de seguimiento ambiental y Plan de alerta temprana de los recursos hídricos. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium – SGA. Región de Antofagasta.

ALBEMARLE - VAI, 2023. Informe Técnico de Investigación Nº3 Activación PAT Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (julio 2023)- Anexo D. Informe Teledetección

Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle – HIDROMAS. Junio 2023.

CHANDER G., B. Markham, D. Helder, 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment, Volume 113, Issue 5, 893-903 pp.

CHUVIECO, E. 2006. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Editorial Ariel, Barcelona, España.

CONGALTON, R. G., ODERWALD, R. G. & MEAD, R. A. 1983. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 49: 1671-1678.

CONGALTON, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 37: 35-46.

CORNELLÀ, O., SALAS, J., ARAVENA, R., GUZMÁN, E., GUIMERÁ, J., TORE, C., VON IGEL, W., HENRÍQUEZ, A, FOCK, A. Hidrogeología de los sistemas lagunares del margen E del Salar de Atacama. XII Congreso Geológico Chileno. Santiago, 22-26 de noviembre, 2009.

CRIST, E. P. AND CICONE R.C. 1984. Application of the Tasseled Cap concept to simulated Thematic Mapper data, Photogrammetric, Eng. Remote Sens Vol. 50(3), 343-352.

CRIST, E. P., LAURIN, R., AND CICONE, R.C. 1986. Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data. In Proceedings of IGARSS' 86 Symposium, 1465- 70.

DGA, Dirección General de Aguas. 2014. División de Estudios y Planificación. Análisis de los mecanismos de evaporación y evaluación de los recursos hídricos del Salar de Atacama. Santiago, 2014.

FLORES CARTAGENA, D. 2002. Identificación y Análisis de Cambios en Bofedales de la Cordillera Occidental y del Altiplano de Bolivia. Tesis Maestría en Ciencias, Conservación de Cuencas.

HERNÁNDEZ, H. J. Apuntes de clases de SIG y Percepción Remota. Magíster en áreas silvestres y conservación de la naturaleza. Universidad de Chile. 2005.

HUDSON, W. D. & RAMM, C. W. 1987. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 53: 421-422.

IZUMI, 2021. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle. Anexo D, Albemarle-VAI, 2021.

KAUTH, R. J., & THOMAS, G. S. (1976). The tasseled cap a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. In Proceedings of the symposium on machine processing of remotely sensed data, LARS, Purdue University, West Lafayette, IN (pp. 441 - 451).

LANDIS J, KOCH G, 1977: The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 1977; 33:159-74.

LAMOLDA H. Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes Landsat ETM+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales. Tesis de pregrado para optar a la titulación en ingeniero técnico en topografía. Universidad Politécnica de Madrid. 124 pp. 2008.

MORAGA, A.; CHONG, G.; FORTT, M.A.; HENRIQUEZ, H. 1974. Estudio geológico del salar de Atacama, Provincia de Antofagasta. Boletín del Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, 29, 56p.

MMA, Ministerio de Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y Dirección General de Aguas (DGA). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Santiago, 2011.

ORTIZ, C., ARAVENA, R., BRIONES, E., SUAREZ, F., TORE, C. & MUÑOZ, J.F., 2014. Sources of surface water for the Soncor ecosystem, Salar de Atacama basin, northern Chile. Hydrological Sciences Journal, 59 (2), 336 – 350.

RCA N°21/2016. Resolución exenta N°21, Antofagasta, 2016. Calificación ambiental del Proyecto “EIA Modificaciones y Mejoramientos de Sistema de Pozas de Evaporación Solar, en el Salar de Atacama”.

ALB, Albemarle. 2016a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento

del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año I, agosto de 2016.

ALB, Albemarle. 2016b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año I, diciembre de 2016.

ALB, Albemarle. 2017a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año II, agosto de 2017.

ALB, Albemarle. 2017b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año II, diciembre de 2017.

ALB, Albemarle. 2018a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año III, agosto de 2018.

ALB, Albemarle. 2018b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año III, diciembre de 2018.

ALB, Albemarle. 2019a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año IV, agosto de 2019.

ALB, Albemarle. 2019b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año IV, diciembre de 2019.

ALB, Albemarle. 2020a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año V, agosto de 2020.

ALB, Albemarle. 2020b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año V, diciembre de 2020.

ALB, Albemarle. 2021a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año VI, agosto de 2021.

ALB, Albemarle. 2021b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año VI, diciembre de 2021.

ALB, Albemarle. 2022a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año VII, agosto de 2022.

ALB, Albemarle. 2022b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016), Monitoreo Año VII, diciembre de 2022.

ALB, Albemarle. 2023a. 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 VIII, agosto de 2023.

ALB, Albemarle. 2023b. 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 VIII, diciembre de 2023.

ALB, Albemarle. 2024a. 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 IX, agosto de 2024.

ALB, Albemarle. 2024b. 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 IX, diciembre de 2024.

WANG, Q., LI, P., CHEN, X., 2012. Retrieval of soil salt content from an integrated approach of combining inversed reflectance model and regressions: an experimental study. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. 50, 3950–3957.

XU, HANQIU, 2007. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, 27:14, 3025-3033.

15.7 En relación con 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.

PMB, 2024. Informe Semestral Nº17 – Nivel Freático en Lagunas – Monitoreo Invierno 2023 del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico. Noviembre 2024. Comprobante SMA Cód. N°1060058 de fecha 27 de noviembre 2024.

PMB, 2025. Informe Semestral Nº18 – Nivel Freático en Lagunas – Monitoreo Verano 2024 del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico. Junio 2025. Comprobante SMA Cód. N°1073538 de fecha 30 de junio 2025.

PSAH, 2025. Seguimiento Ambiental Hídrico, a través del Informe Anual Nº9 del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico. Comprobante SMA Cód. N°1067901 de fecha 31 de marzo 2025.

16 ANEXOS

El conjunto de Anexos asociados al Informe Anual N°9 del Plan de Manejo Biótico, se entregan separados y de forma individual al presente documento.