

Campaña de Monitoreo Biótico N° 17 – abril 2023

**Informe Anual Plan de Seguimiento
Ambiental Biótico – Proyecto Cambios
y Mejoras en la Operación Minera del
Salar de Atacama
Región de Antofagasta**

Campaña de Monitoreo Biótico N° 17 – abril 2023

SQMSL810. Informe Anual Plan de Seguimiento Ambiental Biótico – Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama

Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
B	Nombre	IJ CI YG CL	CI	IZ	Informe anual PSAB Rev. (B)
	Fecha	15.11.2023	15.11.2023	15.11.2023	
C	Nombre	VO JMB CL	CI	IZ	Informe anual PSAB Rev. (C)
	Fecha	15.12.2023	15.12.2023	15.12.2023	
D	Nombre	CI	CI	IZ	Informe anual PSAB Rev. (D)
	Fecha	22.02.2024	22.02.2024	22.02.2024	
O	Nombre	CI	CI	IZ	Informe anual PSAB Rev. (O)
	Fecha	23.02.2024	23.02.2024	26.02.2024	

Contenido

1	Resumen ejecutivo.....	1
1.1	Vegetación y Flora	1
1.1.1	Monitoreo de la vegetación mediante imágenes satelitales de alta resolución	2
1.1.2	Monitoreo de la Vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero.....	3
1.1.3	Monitoreo de la flora vascular	4
1.1.4	Monitoreo de Algarrobos.....	6
1.1.5	Monitoreo de Fauna.....	9
1.1.6	Monitoreo de Biota acuática.....	10
2	Introducción	12
3	Objetivos.....	16
3.1	Objetivo General	16
3.2	Objetivo específico subcomponente flora y vegetación.....	16
3.3	Objetivo específico subcomponente fauna.....	17
3.4	Objetivo específico subcomponente biota acuática	17
4	Materiales y métodos.....	18
4.1	Área de estudio.....	18
4.2	Flora y Vegetación	20
4.2.1	Monitoreo de la vegetación mediante imágenes satelitales	20
4.2.2	Monitoreo de la vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero	29
4.2.3	Monitoreo de flora vascular.....	33
4.2.4	Monitoreo de algarrobos	37
4.3	Fauna.....	53
4.3.1	Ubicación de los puntos de monitoreo.....	53
4.3.2	Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	63
4.3.3	Metodología de muestreo, medición y análisis	64
4.3.4	Materiales y equipos utilizados	69
4.3.5	Fechas de muestreo de cada parámetro.....	70
4.5	Biota acuática.....	71

4.5.1	Ubicación puntos de monitoreo.....	71
4.5.2	Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	74
4.5.3	Metodología de muestreo, medición y análisis	75
4.5.4	Materiales y equipos utilizados	80
4.5.5	Fechas de muestreo de cada parámetro.....	81
5	Resultados	82
5.1	Flora y vegetación.....	82
5.1.1	Monitoreo de la vegetación mediante imágenes satelitales	82
5.1.2	Monitoreo de la vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero	99
5.1.3	Monitoreo de flora vascular.....	101
5.1.4	Monitoreo de algarrobos	113
5.2	Fauna.....	131
5.2.1	Riqueza y caracterización de especies	131
5.2.2	Estimación de la riqueza y abundancia	133
5.3	Biota Acuática.....	139
5.3.1	Medio Abiótico.....	140
5.3.2	Medio Biótico.....	146
6	Discusiones.....	168
6.1	Flora y vegetación.....	168
6.1.1	Monitoreo vegetación mediante imágenes satelitales.....	168
6.1.2	Monitoreo vegetación en zona de conexión vegetación - acuífero	180
6.1.3	Monitoreo de la Flora Vasculat	197
6.1.4	Monitoreo de Algarrobos.....	213
6.2	Fauna.....	233
6.2.1	Abundancia de reptiles	234
6.2.2	Abundancia de aves terrestres.....	238
6.2.3	Censos de aves en ambientes acuáticos	244
6.2.4	Abundancia de micromamíferos.....	256
6.2.5	Abundancia de macromamíferos	258

6.3	Biota acuática.....	260
6.3.1	Medio abiótico	260
6.3.2	Medio biótico	270
7	Conclusiones.....	283
7.1	Monitoreo de la vegetación mediante imágenes satelitales	283
7.2	Monitoreo trimestral de la vegetación	284
7.3	Monitoreo de la vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero	284
7.4	Monitoreo de la flora vascular	286
7.5	Monitoreo de algarrobos	286
7.5.1	Ejemplares de algarrobo ubicados en el área del pozo Camar 2	286
7.5.2	Fisiología de algarrobos.....	288
7.5.3	Biomasa de algarrobos	288
7.6	Fauna.....	289
7.7	Biota acuática.....	291
7.7.1	Medio abiótico	291
7.7.2	Medio biótico	291
8	Referencias	293
8.1	Monitoreo de la vegetación mediante imágenes satelitales	293
8.2	Monitoreo de la vegetación de la zona de conexión vegetación – acuífero	293
8.3	Monitoreo de la flora vascular	294
8.4	Monitoreo de algarrobos	294
8.4.1	Monitoreo de ejemplares de algarrobo, ubicados en el área del pozo Camar 2.	294
8.4.2	Fisiología de algarrobos.....	296
8.4.3	Biomasa de algarrobos	298
8.5	Fauna.....	301
8.6	Biota acuática.....	305

Tablas

Tabla 2-1. Resumen de parámetros de medición por subcomponente en función del objeto de protección.	13
Tabla 4-1. Vértices del Área de estudio PSA biótico – Salar de Atacama	18
Tabla 4-2. Ubicación de los puntos de monitoreo de vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama (Datum WGS84, 19S).	20
Tabla 4-3. Síntesis de parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	23
Tabla 4-4. Rangos de cobertura utilizados en las descripciones vegetacionales	23
Tabla 4-5. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas.....	24
Tabla 4-6. Escalas utilizadas para clasificar el porcentaje de copa viva de las plantas.	24
Tabla 4-7. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.	25
Tabla 4-8. Materiales y equipos utilizados.....	28
Tabla 4-9. Fechas de muestreo vegetación	29
Tabla 4-10 Ubicación de los puntos de monitoreo de vegetación en la zona de conexión (Datum WGS84, 19 S)	29
Tabla 4-11. Rangos de cobertura utilizados en las descripciones vegetacionales	31
Tabla 4-12. Criterios utilizados para clasificar estado vital de las plantas.	31
Tabla 4-13. Escalas utilizadas para clasificar el porcentaje de copa viva de las plantas.	32
Tabla 4-14. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.	32
Tabla 4-15. Materiales y equipos utilizados.....	32
Tabla 4-16. Fechas de monitoreo de la vegetación.	33
Tabla 4-17. Ubicación de los puntos de monitoreo de flora (Datum WGS84 19S).....	33
Tabla 4-18. Materiales y equipos utilizados.....	37
Tabla 4-19. Fechas de muestreo Flora	37
Tabla 4-20 Actualización en la nomenclatura del género Prosopis	38
Tabla 4-21. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 19S)	39
Tabla 4-22. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 19S)	41
Tabla 4-23 Ubicación de los individuos de N. alba monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).	42

Tabla 4-24. Parámetros establecidos, responsables de la ejecución y medición de las variables	46
Tabla 4-25. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas.	46
Tabla 4-26. Escalas utilizadas para clasificar el porcentaje de copa viva de las plantas.	47
Tabla 4-27. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.	47
Tabla 4-28. Categorías de daño para la evaluación de individuos de algarrobo	48
Tabla 4-29. Materiales y equipos utilizados.....	51
Tabla 4-30. Fechas de muestreo Flora	52
Tabla 4-31. Ubicación de los puntos de muestreo para la metodología de transectos para la prospección de fauna terrestre en el Borde Este del Salar de Atacama (Datum WGS84 19S).	54
Tabla 4-32. Ubicación de puntos de observación de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama.....	59
Tabla 4-33. Síntesis de parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	64
Tabla 4-34. Materiales y equipos utilizados.....	69
Tabla 4-35. Fechas de muestreo Fauna	70
Tabla 4-36. Ubicación de los puntos de muestreo para Biota acuática.....	71
Tabla 4-37. Síntesis de parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	74
Tabla 4-38. Materiales y equipos utilizados.....	80
Tabla 4-39. Fechas de muestreo de biota acuática.....	81
Tabla 5-1. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de matorral de Brea.	83
Tabla 5-2. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de matorral de Cachiyuyo - Ojalar. .	84
Tabla 5-3. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de matorral de Rica rica – Pingo pingo.	84
Tabla 5-4. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de pradera de Junquillo-Totora-Suncho.	84
Tabla 5-5. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de pradera de Grama salada.	85
Tabla 5-6. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de matorral de Káuchal.	85
Tabla 5-7. Categoría de vitalidad registrada en las zonas de vegetación escasa (ZVE).....	85
Tabla 5-8. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Brea.....	87
Tabla 5-9. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Cachiyuyo – Ojalar.	87

Tabla 5-10. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Rica rica – Pingo pingo.	88
Tabla 5-11. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Junquillo-Totora-Suncho.	88
Tabla 5-12. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Grama salada.	88
Tabla 5-13. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Káuchal.	89
Tabla 5-14. Categoría de copa viva registrada en las zonas de vegetación escasa (ZVE).	89
Tabla 5-15. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Brea.	90
Tabla 5-16. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Cachiyuyo – Ojalar	91
Tabla 5-17. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Rica rica – Pingo pingo.	91
Tabla 5-18. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Káuchal.	91
Tabla 5-19. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Junquillo-Totora-Suncho.	92
Tabla 5-20. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Grama salada.	92
Tabla 5-21. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Grama salada.	92
Tabla 5-22. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama año 2023.	93
Tabla 5-23. Especies dominantes y acompañantes en los monitoreos de enero y abril de 2023 ...	100
Tabla 5-24. Puntos de muestreo en la Zona de conexión vegetación – acuífero. por categoría de cobertura de la vegetación. Campañas enero y abril de 2023.	101
Tabla 5-25. Riqueza de la flora registrada en el periodo 2023.	101
Tabla 5-26. Hábito de crecimiento de la flora presente en el Borde Este del Salar de Atacama	103
Tabla 5-27. Origen biogeográfico de la flora presente en el Borde Este del Salar de Atacama.....	103
Tabla 5-28. Frecuencia de las especies durante la campaña 2023.....	104
Tabla 5-29. Rangos de pH del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio Algoritmos y mediciones ambientales SpA.....	106
Tabla 5-30. Distribución de rangos de pH en los transectos de muestreo de flora. Laboratorio Algoritmos y mediciones ambientales SPA.	106
Tabla 5-31. Rangos de pH del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio Agroanálisis UC	107

Tabla 5-32. Distribución de rangos de pH en los transectos de muestreo de flora. Laboratorio Agroanálisis UC	108
Tabla 5-33. Rangos de conductividad eléctrica del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio de ALS y Algoritmos y mediciones ambientales SPA.....	110
Tabla 5-34. Conductividad eléctrica obtenida en cada punto de muestreo de flora. Campaña abril de 2023	110
Tabla 5-35. Rangos de conductividad eléctrica del suelo en transectos de muestreo de flora.....	111
Tabla 5-36. Conductividad eléctrica obtenida en cada punto de muestreo de flora. Campaña abril de 2023	111
Tabla 5-37. Individuos desaparecidos o desprendidos en el periodo de monitoreo (2006-2023)..	114
Tabla 5-38. Vitalidad de los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos)	115
Tabla 5-39. Proporción (%) de copa viva de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos)	116
Tabla 5-40. Fenología en ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos)	117
Tabla 5-41. Proporción (%) del tipo de daño en ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos).....	118
Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2023 en algarrobos de la Quebrada de Camar.....	119
Tabla 5-2. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs)	120
Tabla 5-3. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) para individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería de agua superficial	121
Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2023 en algarrobos de la Quebrada de Camar.....	122
Tabla 5-2. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs)	123
Tabla 5-3. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) para individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería de agua superficial	124
Tabla 5-4. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género <i>Neltuma</i> para ejemplares de algarrobo – enero 2023	125
Tabla 5-5. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género <i>Neltuma</i> para ejemplares de algarrobo – abril 2023	126

Tabla 5-4. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género <i>Neltuma</i> para ejemplares de algarrobo – julio 2023.....	127
Tabla 5-6. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género <i>Neltuma</i> para ejemplares de algarrobo – octubre 2023	129
Tabla 5-45. Estado de conservación y singularidades de fauna observadas en la campaña 2023.	131
Tabla 5-46. Abundancia de reptiles en el Borde Este del Salar de Atacama	133
Tabla 5-47. Abundancia de aves acuáticas en los sistemas lacustres del área de estudio	135
Tabla 5-48. Abundancia de micromamíferos en el Borde Este del Salar de Atacama.....	137
Tabla 5-49. Índice de visitas de <i>Lycalopex sp.</i> (zorro) y observaciones de improntas en estaciones de atracción olfativa	138
Tabla 5-50. Índice de visitas de <i>Lycalopex culpaeus</i> (zorro culpeo) y <i>Lycalopex griseus</i> (zorro chilla) captadas por cámara trampa.....	138
Tabla 5-51. Ubicación de los puntos de muestreo para la metodología de transectos para la prospección de fauna terrestre en el Borde Este del Salar de Atacama.....	139
Tabla 5-52. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua de importancia limnológica medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio	141
Tabla 5-53. Análisis de PERMANOVA, usando como factor los distintos sistemas hidrológicos	151
Tabla 5-54. Análisis de PERMANOVA, usando como factor los distintos sistemas hidrológicos	155
Tabla 5-55. Análisis de PERMANOVA, usando como factor los distintos sistemas hidrológicos	160
Tabla 5-56. Análisis de PERMANOVA, usando como factor los distintos sistemas hidrológicos	164
Tabla 5-57. Presencia de Vegetación acuática (Macrófitas) presentes en el área de estudio.	167
Tabla 6-1. Superficie de los tipos vegetales presentes en el borde este del Salar de Atacama. Campañas 2006 a 2023	173
Tabla 6-2. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2020-2023	175
Tabla 6-3. Frecuencia acumulada de especies dominantes en los 19 puntos de monitoreo de la Zona de conexión vegetación – acuífero en el mes de enero 2007 - 2023	180
Tabla 6-4. Frecuencia acumulada de especies dominantes en los 19 puntos de monitoreo de la Zona de conexión vegetación – acuífero en el mes de abril 2007 - 2023	181
Tabla 6-5. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de cobertura. Campañas abril 2007, enero – abril de 2008 – 2023.....	185

Tabla 6-6. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de vitalidad. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023.....	188
Tabla 6-7. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Porcentaje de copa viva. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023	191
Tabla 6-8. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Etapas fenológicas. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023	194
Tabla 6-9. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio. Campañas 2006 a 2022.	198
Tabla 6-10. Vitalidad de la población de algarrobos. Campañas 2006 – 2023.....	214
Tabla 6-11. Copa viva (%) de la población de algarrobos. Campañas 2006 – 2023.....	217
Tabla 6-12. Fenología de los ejemplares de la población de algarrobos en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023	220
Tabla 6-13. Individuos de algarrobos con presencia de daño en el área del pozo Camar 2. Campaña 2017 - 2023	222
Tabla 6-14. Abundancia promedio de reptiles en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2023.....	235
Tabla 6-15. Abundancia total de aves registradas a través de transectos en ambientes terrestres en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 - 2023.....	239
Tabla 6-16. Indicadores generales de aves registradas a través de transectos en ambientes terrestres por sector. Campañas 2006-2023	243
Tabla 6-17. Número de aves registradas a través de censos en ambientes acuáticos en los monitoreos 2006-2023.	245

Figuras

Figura 4-1. Ubicación del área de estudio y sus vértices.	19
Figura 4-2. Distribución espacial de puntos de monitoreo de vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama.	22
Figura 4-3. Vegetación en mosaico y su representación cartográfica. Ejemplo de pradera de <i>Distichlis spicata</i>	27
Figura 4-4. Ubicación de puntos de monitoreo de vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero	30
Figura 4-5. Ubicación de los transectos de Flora en el área de estudio	35

Figura 4-6. Distribución de los individuos de Algarrobo monitoreados.....	40
Figura 4-7. Distribución de los individuos de Algarrobo con mediciones de potencial hídrico y conductancia estomática.....	42
Figura 4-8. Distribución de los individuos de Algarrobo monitoreados.....	45
Figura 4-9. Ubicación de los puntos de muestreo de transectos y censos	55
Figura 4-10. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio. Vista A	56
Figura 4-11. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio. Vista B	57
Figura 4-12. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio. Vista C	58
Figura 4-13. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio. Vista D	59
Figura 4-14. Ubicación de puntos de muestreo para la metodología de censo de aves acuáticas. Sistema Soncor.....	61
Figura 4-15. Ubicación de puntos de muestreo para la metodología de censo de aves acuáticas. Sistema Aguas de Quelana	62
Figura 4-16. Ubicación de puntos de muestreo para la metodología de censo de aves acuáticas. Sistema Peine	63
Figura 4-17. Ubicación espacial de los puntos de muestreo de Biota Acuática en Sistema Aguas de Quelana.....	72
Figura 4-18. Ubicación espacial de los puntos de muestreo de Biota Acuática en Sistema Soncor ..	73
Figura 4-19. Ubicación espacial de los puntos de muestreo de Biota Acuática en Sistema Peine.....	74
Figura 4-20. Ubicación espacial de los puntos de muestreo de Biota Acuática en Sistema Aguas de Quelana.....	79
Figura 5-1. Vitalidad de las formaciones vegetacionales en el Borde este del Salar de Atacama.....	83
Figura 5-2. Proporción de porcentaje de copa viva de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.....	86
Figura 5-3. Fenología de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.	90
Figura 5-4. Superficie (ha) de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama	95
Figura 5-5. Estado vital de las unidades de vegetación prospectadas trimestralmente, año 2023...	96
Figura 5-6. Porcentaje de copa viva de las unidades de vegetación prospectadas trimestralmente, año 2023	97

Figura 5-7. Fenología de las unidades de vegetación prospectadas trimestralmente, año 2023.....	98
Figura 5-8. Clasificación de los puntos de muestreo en la zona de conexión vegetación – acuífero, por categorías de cobertura de la unidad vegetacional	100
Figura 5-9. Regresión lineal entre los datos de pH obtenida entre laboratorios.....	109
Figura 5-10. Comparación del pH obtenido entre laboratorios por punto de monitoreo	109
Figura 5-11. Comparación de la conductividad eléctrica (dS/m) obtenida entre laboratorios	112
Figura 5-12. Comparación de la CE obtenida entre laboratorios por punto de monitoreo	112
Figura 5-13. Vitalidad previa al desprendimiento de los individuos desaparecidos	114
Figura 5-14. Vitalidad de los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos).....	115
Figura 5-15. Proporción (%) de copa viva de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos)	116
Figura 5-16. Fenología en los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos)	117
Figura 5-17. Presencia de daño en los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos).....	118
Figura 5-18. Valores puntuales de temperatura medidos in situ en la columna de agua durante la campaña de abril 2023	142
Figura 5-19. Valores puntuales de temperatura medidos in situ en el sedimento durante la campaña de abril 2023	143
Figura 5-20. Valores puntuales de pH medidos in situ en la columna de agua, durante la campaña de abril 2023	143
Figura 5-21. Valores puntuales de conductividad medidos in situ en la columna de agua, durante la campaña de abril 2023	144
Figura 5-22. Valores puntuales de conductividad medidos in situ en el sedimento, durante la campaña de abril 2023	144
Figura 5-23. Valores puntuales de salinidad in situ en la columna de agua, durante la campaña de abril 2023	145
Figura 5-24. Valores puntuales de oxígeno disuelto in situ en la columna de agua, durante la campaña de abril 2023	146
Figura 5-25. Comparación promedio de la concentración de clorofila planctónica por sistema hidrológico, abril 2023.....	147
Figura 5-26. Comparación de concentraciones puntuales de clorofila planctónica por sistema hidrológico, abril 2023.....	147
Figura 5-27. Comparación promedio de la concentración de clorofila bentónica por sistema hidrológico	148

Figura 5-28. Comparación promedio de la concentración de clorofila bentónica por sistema hidrológico	148
Figura 5-29. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de fitobentos a nivel de sistemas hidrológicos (Soncor, Aguas de Quelana, Puilar y Peine)	150
Figura 5-30. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de fitobentos a nivel de sistemas hidrológicos (Soncor, Aguas de Quelana, Puilar y Peine)	152
Figura 5-31. Composición y abundancia de taxa de fitobentos por laguna (campaña abril 2023). .	153
Figura 5-32. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de fitoplancton a nivel de sistemas hidrológicos (Soncor, Aguas de Quelana, Puilar y Peine)	154
Figura 5-33. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de fitoplancton a nivel de las lagunas de muestreo.....	156
Figura 5-34. Composición y abundancia de taxa de fitoplancton por laguna (campaña abril 2023).	157
Figura 5-35. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de fitoplancton a nivel de las lagunas de muestreo.....	159
Figura 5-36. Parámetros ecológicos evaluados a nivel lagunar para la comunidad de zooplancton	161
Figura 5-37. Composición y abundancia de taxa de zooplancton por laguna (campaña abril 2023).	162
Figura 5-38. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de zoobentos a nivel de sistemas hidrológicos (Soncor, Aguas de Quelana, Puilar y Peine).	163
Figura 5-39. Parámetros ecológicos evaluados a nivel Lagunar para el zoobentos	165
Figura 5-40. Composición y abundancia de taxa de zoobentos por laguna (campaña abril 2023)..	166
Figura 5-41. Presencia de <i>Ruppia filifolia</i> en algunas de las lagunas presentes en el sistema de Peine.	166
Figura 6-1. Categorías de vitalidad de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Evolución temporal campañas 2006 – 2023.	168
Figura 6-2. Proporción del porcentaje de copa viva de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Campañas abril 2006 – 2023.	170
Figura 6-3. Fenología de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Resultados Históricos. Campañas 2006 – 2023.	172
Figura 6-4. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 a 2023	176
Figura 6-5. Evolución temporal del estado vital de las unidades de vegetación periodo abril 2022 – octubre 2023	177

Figura 6-6. Evolución temporal del porcentaje de copa viva de las unidades de vegetación periodo abril 2022 – octubre 2023.....	178
Figura 6-7. Evolución temporal de la fenología de las unidades de vegetación periodo abril 2022 – octubre 2023.....	179
Figura 6-8 Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de cobertura. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023.....	187
Figura 6-9. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión - acuífero. Categorías de vitalidad. Campañas abril 2007, enero - abril de 2008 – 2023	190
Figura 6-10. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de porcentaje de copa viva. Campañas abril 2007, enero – abril de 2008 – 2023.	193
Figura 6-11. Frecuencia de puntos de monitoreo en la zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de fenología. Campañas de abril 2007, enero – abril de 2008 – 2023.....	196
Figura 6-13. Riqueza florística en el transecto 1, periodo 2006 – 2023.	203
Figura 6-14. Precipitaciones acumuladas en el periodo 2007 - 2023	203
Figura 6-15. Riqueza florística en el transecto 2, periodo 2006 – 2023.	204
Figura 6-16. Riqueza florística en el transecto 3, periodo 2006 – 2023.	205
Figura 6-17. Riqueza florística en el transecto 4, periodo 2006 – 2023.	206
Figura 6-18. Riqueza florística en el transecto 5, periodo 2006 – 2023.	207
Figura 6-19. Riqueza florística en el transecto 6, periodo 2006 – 2023.	207
Figura 6-20. Riqueza florística en el transecto 7, periodo 2006 – 2023.	208
Figura 6-21. pH según Algoritmos y mediciones ambientales SPA 2022.	209
Figura 6-22. Comparación del pH actual según laboratorio Agroanálisis UC con el obtenido en años anteriores.....	210
Figura 6-23. Conductividad Eléctrica según Algoritmos y mediciones ambientales SPA para el año 2022	211
Figura 6-24. Comparación de la conductividad eléctrica (dS/m) actual con la obtenida en años anteriores.....	212
Figura 6-25. Tendencia de la Vitalidad de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023	215
Figura 6-26. Tendencia de la copa viva (%) de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023	219
Figura 6-27. Tendencia del estado fenológico de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023.....	221

Figura 6-28. Proporción (%) del tipo de daño en individuos de algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campaña 2017 - 2023	223
Figura 6-29. Precipitación anual acumulada vs número de ejemplares de algarrobo por categoría de vitalidad en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 - 2023.....	226
Figura 6-30. Modificación de los escurrimientos superficiales en el sector de Camar.....	227
Figura 6-31. Número de ejemplares en la categoría normales y vigorosos, desaparecidos por año de monitoreo y su relación con las precipitaciones en la zona.....	228
Figura 6-32. Temperatura media de los meses de verano (diciembre – marzo) en las estaciones Peine – DGA (azul) y Camar – INIA (rojo)	229
Figura 6-33. Temperatura media de los meses de verano (diciembre – marzo) y número de ejemplares de algarrobos según vitalidad en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 - 2023	229
Figura 6-33. Variación histórica del potencial hídrico en pre-alba para árboles de las series A y B *	230
Figura 6-34. Variación histórica del potencial hídrico de mediodía para árboles de las series A y B	231
Figura 6-35. Variación histórica de la conductancia estomática para árboles de las series A y B ...	231
Figura 6-34. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023.....	235
Figura 6-35. Abundancia promedio de reptiles por sector de estudio. Campañas 2006 - 2023	237
Figura 6-36. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023.....	238
Figura 6-37. Abundancia de especies de flamencos en el Sistema lacustre Soncor. Campañas 2006 – 2023 (año 2020 no censado).....	248
Figura 6-38. Abundancia de otras especies de aves (no flamencos) en el Sistema lacustre Soncor. Campañas 2006 – 2023 (año 2020 no censado).....	249
Figura 6-39. Abundancia de flamencos en el sistema lacustre Aguas de Quelana. Campañas 2006 - 2023	251
Figura 6-40. Abundancia de aves acuáticas (no flamencos) en el sistema lacustre Aguas de Quelana. Campañas 2006 - 2023	252
Figura 6-41. Abundancia de flamencos en Sistema lacustre Peine. Campañas 2006 - 2023.....	254
Figura 6-42. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023.....	255
Figura 6-43. Abundancia de micromamíferos en los sectores de estudio. Campañas 2006 - 2023	256
Figura 6-44. Abundancia de micromamíferos por tipo de hábitat. Campañas 2006 - 2023.....	257
Figura 6-45. Abundancia de micromamíferos en los sectores de estudio. Campañas 2006 - 2023	258
Figura 6-46. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023.....	259

Figura 6-47. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023.....	259
Figura 6-48. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023.....	260
Figura 6-49. Concentraciones históricas de temperatura en el sedimento para cada sistema hidrológico.....	263
Figura 6-50. Concentraciones históricas de pH en la columna de agua para cada sistema hidrológico	264
Figura 6-51. Concentraciones históricas de conductividad del agua para cada sistema hidrológico	265
Figura 6-52. Concentraciones históricas de conductividad en el sedimento para cada sistema hidrológico.....	266
Figura 6-53. Concentraciones históricas de salinidad del agua para cada sistema hidrológico	267
Figura 6-54. Concentraciones históricas de salinidad del agua para cada sistema hidrológico	268
Figura 6-55. Concentraciones históricas de clorofila planctónica para cada sistema hidrológico ...	269
Figura 6-56. Concentraciones históricas de clorofila bentónica para cada sistema hidrológico	270
Figura 6-57. Comparación de valores promedio históricos de abundancia para el fitobentos en los distintos sistemas hidrológicos	272
Figura 6-58. Comparación de valores promedio históricos de riqueza para el fitobentos en los distintos sistemas hidrológicos	273
Figura 6-59. Comparación de valores promedio históricos de abundancia para el fitoplancton en los distintos sistemas hidrológicos	275
Figura 6-60. Comparación de valores promedio históricos de riqueza para el fitoplancton en los distintos sistemas hidrológicos	275
Figura 6-61. Comparación de valores promedio históricos de abundancia para el zooplancton en los distintos sistemas hidrológicos	277
Figura 6-62. Comparación de valores promedio históricos de riqueza para el zooplancton en los distintos sistemas hidrológicos	278
Figura 6-63. Comparación de valores promedio históricos de abundancia para el zoobentos en los distintos sistemas hidrológicos	281
Figura 6-64. Comparación de valores promedio históricos de riqueza para el zoobentos en los distintos sistemas hidrológicos	282

Anexos

Anexo 1. Responsables y participantes del seguimiento ambiental

Anexo 2. Documento de Respaldo ingreso RNLF

Anexo 3.- Mapa de Vegetación Borde Este

Anexo 4. Mapa de vegetación trimestral 2023

Anexo 5. Base de Datos Vegetacional

Anexo 6. Base de datos monitoreo zona de conexión

Anexo 7. Base de Datos Flora

Anexo 8. Certificados muestras de suelo

Anexo 9. Protocolo de análisis de tendencias

Anexo 10. Certificado Laboratorio Agroanálisis

Anexo 11. Base de datos monitoreo de Algarrobos

Anexo 12. Registro fotográfico de Algarrobos

Anexo 13. Informes de fisiología de Algarrobos

Anexo 14. Informes de Biomasa de Algarrobos

Anexo 15. Permiso sectorial de captura de fauna

Anexo 16. Registro fotográfico de fauna silvestre

Anexo 17. Base de Datos de fauna

Anexo 18. Certificado de laboratorio muestras de agua

Anexo 19 Permiso sectorial pesca de investigación

Anexo 20. Registro Fotográfico sitios de muestreo

Anexo 21 Certificado Laboratorio Biota Acuática

Anexo 22. Certificado Laboratorio Clorofila Bentónica

Anexo 23. Informe anual Contenido de humedad del Suelo 2023

Anexo 24. Medios de verificación puntos no realizados

1 Resumen ejecutivo

El presente informe expone los resultados de la campaña anual N°17 del Plan de Seguimiento de la componente Biótica correspondiente al periodo 2023, específicamente para las subcomponentes: Vegetación, Flora vascular, Fauna y Biota Acuática, establecido en la Resolución Exenta N° 226/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente, Región de Antofagasta (en adelante RCA 226/2006), correspondiente a la Resolución de Calificación Ambiental del proyecto “Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama” de SQM Salar S.A.

El Plan de Seguimiento Ambiental Biótico (en adelante PSAB), se realiza acorde a lo estipulado en el Considerando 10.3 de la RCA 226/2006, en el cual se indica que el PSA fue diseñado en consideración a los resultados de los antecedentes de línea de base y los potenciales efectos del proyecto sobre los sistemas ambientales, y fue concebido como una herramienta instrumental para el Plan de Contingencias y para evaluar el estado ambiental y funcionamiento hidrogeológico y biótico de los sistemas objeto de protección.

Acorde a lo anterior, el objetivo principal del PSAB es dar cuenta del estado ambiental de la componente biótica del Borde Este del Salar de Atacama, lo cual incluye vegetación, flora vascular, fauna y biota acuática (considerando 10.3.2. de la RCA); además, del contenido de humedad del suelo en el Borde Este (considerando 10.3.1 de la RCA), en virtud de la evolución temporal de las variables estudiadas, dando énfasis en identificar oportunamente posibles cambios en ellas, con el fin de detectar la ocurrencia de efectos no previstos por el Proyecto.

Para el componente “contenido de humedad del suelo” se presenta el documento del Anexo 23, donde se detallan los principales objetivos, métodos, resultados, discusiones y conclusiones respecto a este parámetro de seguimiento.

El monitoreo anual se realiza en dos campañas de terreno. La primera en el mes de enero, donde se evalúa la vegetación existente en la Zona de Conexión Vegetación-Acuífero del Borde Este del Salar de Atacama; mientras que la segunda se realiza en el mes de abril, donde el enfoque se da en el monitoreo de la vegetación, flora, fauna y biota acuática del Borde Este del Salar de Atacama.

A continuación, se presenta los principales resultados correspondientes al seguimiento del año 2023 para cada subcomponente.

1.1 Vegetación y Flora

De acuerdo con lo indicado en el considerando 10.3.2 de la RCA 226/2006, el seguimiento de la vegetación y flora permitirá detectar la ocurrencia de eventuales efectos no previstos sobre las formaciones vegetales emplazadas en el Borde Este del Salar de Atacama.

El análisis de estos antecedentes se efectúa sobre la base del muestreo periódico del área de estudio (abril de cada año). Para el caso de la vegetación se evalúa la cobertura de las formaciones vegetales, a partir del análisis de imágenes satelitales de alta resolución y sobre la base de registros de terreno. Para el caso de la Flora, se medirá la riqueza y abundancia de especies de flora, en una red de puntos de muestreo, distribuidos en 7 transectos orientados en sentido Este-Oeste en el Borde Este del Salar de Atacama.

1.1.1 Monitoreo de la vegetación mediante imágenes satelitales de alta resolución

Se monitorea la superficie cubierta con vegetación del Borde Este del Salar de Atacama mediante un mapa anual de vegetación, el cual se elabora utilizando el método de la cartografía de ocupación de tierras (COT). Para estos fines, se captura una imagen satelital de alta resolución en el mes de abril y se describen en terreno 99 muestras, establecidas en la RCA N° 226/2006.

La campaña para describir las 99 muestras se realiza en abril de 2023, sin embargo, debido a falta de permiso por parte de la comunidad atacameña de Peine, es que 10 puntos de muestreo no pudieron ser levantados en terreno (ver Anexo 24. Medios de verificación puntos no realizados). Por esto, el universo muestral para el presente año alcanza 89 descripciones de terreno. Sobre estas muestras se evalúa la cobertura, además de la vitalidad, copa viva y etapa fenológica.

Con respecto a la vitalidad, se determina que un 82% de las muestras se clasifican en la categoría crecimiento normal, seguidos por la categoría Excepcionalmente vigoroso (9%) y la categoría débil (7,9%). Estos resultados son consistentes con lo observado históricamente, en vista que para todos los años de monitoreo la categoría de crecimiento normal es la que predomina en las estaciones de monitoreo.

Las mediciones de terreno de copa viva en el periodo 2023 muestran una mayor proporción en la categoría 25-50% y 50-75%, con un 37,1% y 33,7% de las muestras respectivamente, le sigue la categoría 75-100%, con un 18% de las muestras; y con un 10,1% las categorías 5-25%.

Por último, las mediciones en terreno correspondiente al estado fenológico de la vegetación en el periodo 2023 indican que se mantienen los estados de fructificación y crecimiento vegetativo como los más frecuentes durante la evaluación histórica (47,2% y 36% de las muestras, respectivamente).

Los resultados obtenidos en el 2023 indican que la superficie cubierta con vegetación en el área de estudio alcanza las 14.100,73 ha. El matorral de *Tessaria absinthioides* (brea) continúa siendo el tipo vegetacional predominante en el área, ocupando el 52,20% de la superficie cubierta por vegetación (equivalente a 7.359,40 ha), seguido por la pradera de *Distichlis spicata* (Gramma salada), ocupando el 12,77% y el matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata* (Cachiyuyo – Ojalar) ocupando un 15,96% de la superficie con vegetación (1.801,89 ha y 2.251,66 ha respectivamente). En cuarto lugar, se ubica la pradera de *Juncus balticus* – *Schoenoplectus americanus* – *Baccharis juncea* (Junquillo – Totora – Suncho), ocupando el 9,87% del área con vegetación (1.392,25 ha).

El matorral de *Tiquilia atacamensis* (Káuchal) y el matorral de *Aloysia desertícola* – *Ephedra multiflora* (Rica rica – Pingo pingo) son los tipos vegetacionales con la menor ocupación de superficie, tal como ha ocurrido en las mediciones de los años previos. Para el periodo reportado estos tipos abarcan 858,94 ha (6,09%) y 436,59 ha (3,10%) respectivamente.

La pradera de *Cistanthe sp.* (Lukupa) no es reportada en el presente año, probablemente, debido a que su expresión se relaciona con la ocurrencia de intensas precipitaciones durante el invierno altiplánico, condición que no sucedió en el 2023.

La superficie total cubierta con vegetación, así como la superficie de los objetos de protección (Matorral de Brea y Pradera de Junquillo – Totora – Suncho) del monitoreo actual se encuentran dentro de las magnitudes observadas en los periodos anteriores (2006 – 2022).

A partir de las variables medidas en este monitoreo es posible indicar que la vegetación del Borde Este se encuentra dentro de los rangos históricos y no se aprecian efectos no esperados sobre la vegetación.

1.1.1.1 Monitoreo trimestral de la vegetación

De acuerdo con lo estipulado en la acción 14 del Programa de Cumplimiento (PdC) de SQM Salar S.A., aprobado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) mediante la Res. 38/Rol F-041-2016 en agosto 2022, se aumenta el periodo de análisis de la vegetación mediante imágenes satelitales, a una frecuencia trimestral, con la finalidad de dar cuenta de los cambios interanuales que pudiera presentar la vegetación.

El monitoreo trimestral de la vegetación del Borde Este muestra la evolución del estado vital de las unidades de vegetación durante el año 2023. Se observa que en las muestras de vegetación las categorías “vigoroso” y “normal” descienden, teniendo sus valores máximos en el primer semestre del año 2023 (enero y abril). Mientras que, los valores de las categorías “débil” y “muy débil” ascienden con el paso de los monitoreos durante el año registrando sus valores máximos durante el segundo semestre (julio y octubre). Los valores de la categoría “seco o sin vegetación” disminuyeron levemente hacia el segundo semestre. Esto es posible de visualizar también en los monitoreos realizados en abril, julio y octubre de 2022.

El porcentaje de copa viva, durante el período 2023, desciende de manera regular conforme avanzan las estaciones del año, esto se puede visualizar en las categorías “75-100%” y “50-75%”, salvo por el segundo trimestre (abril), donde ambas categorías tuvieron valores superiores a los registrados en el primer trimestre (enero). Contrariamente, las categorías “25-50%” y “5-25%” aumentaron considerablemente durante el segundo semestre, registrando ambas, su máximo valor en el cuarto trimestre (octubre). Sucede de manera similar con la categoría “<5%”, que sólo se registró en una estación de muestreo durante el primer trimestre, y tuvo su mayor expresión durante el tercer trimestre (julio). La categoría “0% o sin vegetación” disminuye levemente conforme avanza el año.

Respecto a la fenología, variable complementaria incorporada en la acción 14 del PdC para el período 2023, se puede ver que, conforme avanzan las estaciones del año, las categorías “floración” y “fructificación” descienden de manera abrupta. Sucede de manera contraria con la categoría “crecimiento vegetativo”, que aumenta de manera regular conforme avanzan las estaciones del año. La categoría “senescente o sin vegetación” fluctúa en cada trimestre, sin presentar una tendencia clara.

1.1.2 Monitoreo de la Vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero

Para realizar el seguimiento de la vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero, se evalúan las especies dominantes, la cobertura vegetal, la vitalidad, copa viva y etapa fenológica sobre 19 muestras fijas de matorral de *Tessaria absinthioides* (Brea) en los meses de enero y abril, de acuerdo con lo establecido en el considerando 10.3.2 letra d) de la RCA 226/2006. Analizando los datos históricos, se verifica que la

composición de especies entre los monitoreos de enero y abril se mantiene constante, con la presencia de *Tessaria absinthioides*, *Distichlis spicata* y *Atriplex atacamensis*, siendo *T. absinthioides* la más frecuente y que se registra en la mayor parte de los puntos de monitoreo (17 puntos de monitoreo), seguida de *D. spicata* (2 puntos de monitoreo) y en menor proporción por *A. atacamensis* (presente en 9 puntos de monitoreo).

Respecto a las coberturas, se verifica que las más frecuentes en el tiempo corresponden a las categorías “muy abierto” y “abierto”, con un promedio de 78,5% entre ambas categorías. Con respecto a la comparación de frecuencia entre meses, se verifica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los periodos. En el periodo que se reporta (2023), las frecuencias dominantes corresponden a la cobertura “muy abierta” en ambos periodos (enero con 47,4% y abril con 42,7%), seguida en menor proporción por la categoría de cobertura “semidensa” con 26,3%.

Por otra parte, los registros obtenidos en enero y abril de 2023 indican que la categoría de vitalidad más frecuente es la categoría normal (84,2% enero y 89,5 abril), seguida de la categoría débil con una muy baja frecuencia (5,3% enero y 10,5% abril). Cabe destacar que los resultados del periodo 2023, se encuentran dentro de los rangos históricos.

Respecto al porcentaje de copa viva, históricamente, en el mes de enero se describe una mayor proporción de muestras en niveles mayores de copa viva que en abril (categorías 50-75% y 75-100%), indicando una mayor expresión de follaje verde. Las frecuencias observadas para este periodo (2023), se encuentran dentro de los valores históricos, predominando en ambos meses las categorías medias de copa viva (25 – 50% y 50 – 75%).

Con respecto a la fenología, si se compara el periodo histórico, el promedio de muestras en la etapa de floración ha sido predominante en el mes de enero, mientras que, en abril predomina la etapa de fructificación. Ese antecedente resulta consistente con lo observado en el presente monitoreo (2023), al verificarse que las plantas en el mes de enero se encontraron principalmente en la etapa de floración (89,5% del total de registros); Mientras que en abril se identificó que el 42,1% de los registros se encuentra en la fase fructificación.

1.1.3 Monitoreo de la flora vascular

El monitoreo de la flora del Borde Este del salar de Atacama se realiza mediante el monitoreo de siete transectos orientados de este a oeste dispuestos sobre la franja de vegetación presente en el sector. Cada uno de los siete transectos poseen un número variable de puntos de muestreo, los que se ubican sistemáticamente cada 300 m entre sí, llegando a un total de 75. En cada punto de muestreo se levantan cinco parcelas de 4 m², lo que representa un total de 375 parcelas para la caracterización de la flora.

En cada punto de muestreo se registra la frecuencia y la riqueza de especies (dentro y fuera de parcela) y, además, se obtienen muestras de suelo para la caracterización del sustrato, midiendo en laboratorio la conductividad eléctrica (salinidad) y el pH del suelo.

La caracterización química del sustrato (pH y salinidad) considera la toma y análisis de muestras por la Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) SGS Chile, además de análisis para el transecto N° 7 por parte de la ETFA Algoritmos y mediciones ambientales SpA. Adicionalmente, se enviaron muestras al laboratorio

Agroanálisis UC, el cual se realiza de forma complementaria para dar cumplimiento al análisis histórico de las variables.

Cabe destacar que durante la campaña de abril 2023 el transecto de flora N°2 no pudo completarse con el muestreo de suelo *in situ*, debido a la cancelación del monitoreo por parte de la comunidad de Talabre¹ (ver Anexo 24. Medios de verificación puntos no realizados), por tanto, no fue factible concretar el muestreo en los puntos; TF2-01, TF2-02, TF2-03, TF2-04, TF2-05, TF2-06, TF2-07, TF2-08, TF2-09, TF2-10 y TF2-11. Asimismo, los transectos N°4 (TF4-01, TF4-06, TF4-07, TF4-08, TF4-09 fin) que se encuentran insertos en territorio de la Comunidad de Camar² y el transecto N°6 (TF6-01, TF6-02, TF6-03 fin) que se encuentra inserto en territorio de la comunidad de Peine³ no lograron ser monitoreados debido a restricciones de ingreso.

Por otra parte, es relevante mencionar que en relación con las muestras de suelo analizadas por la ETFA SGS Chile, fue imposible reportar la determinación del pH en laboratorio, debido a un error de sistema al momento de cargar el esquema de análisis en su plataforma “Slimcore”, lo que implicó que le parámetro no fuera determinado para los transectos 1 al 6. Lo anterior fue comunicado mediante carta emitida por el Laboratorio de SGS Chile Ltda., la cual es adjuntada al presente informe (Anexo 8. Certificado muestras de suelo).

Debido a la imposibilidad de muestrear la totalidad de puntos de flora respecto a los parámetros de suelo, no fue posible aplicar el Protocolo de Análisis de Tendencias de Variables Ambientales para observar el comportamiento de ellos⁴.

La riqueza florística identificada durante las prospecciones de terreno en el borde este del Salar de Atacama se ha mostrado relativamente estable entre las campañas 2006 – 2023, registrándose aumentos, principalmente de especies herbáceas, debido a episodios de lluvia en el altiplano. Esta condición se observa en el

¹ El Transecto N°2 de flora, se encuentra establecido dentro de los territorios demandados por la comunidad indígena de Talabre, por tanto, el ingreso a estos puntos se realiza previa autorización de la comunidad, los cuales fueron autorizados. Debido a descoordinaciones en terreno respecto a los caminos de acceso a los puntos la comunidad de Talabre decidió dar termino anticipado a la toma de muestras de suelo, no pudiendo reprogramar estos puntos durante abril, los medios de verificación sobre este tema se presentan en el Anexo 24.

² El transecto N°4, se encuentra establecido dentro del territorio demandado por la comunidad indígena de Camar, por tanto, su ingreso se realiza previa autorización de la comunidad. Cabe destacar que, como parte de los monitoreos realizados en el contexto del PdC, se realizan muestreos de suelo en puntos representativos de la vegetación de la Quebrada de Camar los cuales son analizados para la determinación del pH, CHS y Conductividad, los cuales coinciden con algunos puntos del transecto N°4 (TF4-02, TF4-03, TF4-04, TF4-05), por tanto, para efectos de este análisis se utilizan dichos datos analizados por la ETFA Algoritmos SpA.

³ El transecto N°6, se encuentra establecido dentro de la comunidad indígena de Peine, quienes autorizan su ingreso para la ejecución de los distintos estudios. Cabe destacar que la comunidad solicitó realizar una reprogramación de los puntos para el muestreo de suelo, debido a la multiplicidad de estudios que se ejecutan en el mes de abril en su territorio, por lo cual solo se autorizó de manera posterior, la ejecución del transecto N°7 (también establecido en el territorio de Peine), quedando pendiente el transecto N°6.

⁴ Dicho protocolo corresponde a la acción 46 del Programa de Cumplimiento aprobado por la SMA mediante la Res. 34/RoI F-041-2016 en agosto 2021, el que busca: 1) Asegurar la detección de cambios a nivel de la abundancia y riqueza de especies para cada transecto definido en la línea base y para el área de estudio en general, y 2) Detectar cambios de las variables microambientales (pH y salinidad) a nivel de sustrato en cada transecto y su relación con las mediciones efectuadas sobre la flora. Este protocolo fue diseñado considerando un universo de 75 muestras, y en la campaña actual se cuenta con 26 muestras de pH y CE medidas por el laboratorio Agro análisis UC.

monitoreo 2019, periodo en el que registra un total de 35 especies, correspondiente al máximo histórico. Esta situación estara directamente relacionada con las intensas precipitaciones estivales, que representan la máxima precipitación desde que se realiza el Plan de Seguimiento (212 mm según la estación Camar de la DGA).

En la presente campaña (2023) se detecta una riqueza de 23 taxa, de las que 15 se observan dentro de los puntos de monitoreo y dos (6) se registran fuera de ellos, a través de colectas libres. Estos 23 taxa se agrupan en 13 familias donde Chenopodiaceae presenta la mayor cantidad de registros. Según hábito de crecimiento, se observa que predomina, el hábito arbustivo y hierba perenne, mientras que el origen biogeográfico de las especies es mayoritariamente nativo (en 12 taxa) y endémico (en 3 taxa).

Cabe destacar que se detecta en los transectos a *Nitrophila atacamensis*, especie bajo la categoría de amenaza “En Peligro” conforme con el D.S. N° 23/2015 del Ministerio de Medio Ambiente, de acuerdo con el 15° proceso de Clasificación de Especies Silvestres (RCE).

Las especies más frecuentes en los puntos de muestreo corresponden a *Tessaria absinthioides* registrada en 34 puntos de muestreo (45,3% del total), *Distichlis spicata*, presente en 24 puntos de muestreo (32% del total) y *Atriplex atacamensis* registrado en 8 puntos de monitoreo (10,7% del total).

La caracterización química del sustrato según la entidad ETFA para el periodo 2023 indica que el pH en los puntos de muestreo varía entre las categorías Moderadamente alcalino (7,9 – 8,4) a Fuertemente alcalino (8,5 – 9,0), con mayor frecuencia en el rango Fuertemente alcalino. En cuanto a la salinidad (conductividad eléctrica), se observan suelos “Ligeramente salinos” hasta suelos “Fuertemente salinos”, concentrándose en esta última categoría.

De acuerdo con los antecedentes recopilados históricamente, y considerando que en la campaña 2023 no se pudo estudiar la totalidad de puntos respecto a los parámetros pH y salinidad, se concluye que estas variables no parecen tener una relación estrecha con la riqueza y frecuencia de la flora vascular, dado que las especies que componen el borde este del salar de Atacama se encontrarían adaptadas a las condiciones de extrema salinidad y alcalinidad del suelo. Los resultados de ese monitoreo sugieren que la vegetación está ligada principalmente a la disponibilidad hídrica en cada sitio.

Considerando que en las campañas de monitoreo comprendidas dentro del período 2006 – 2023 la riqueza y frecuencia de la flora vascular se presentan estables y no muestran cambios relacionados a las variaciones del pH y conductividad eléctrica, es que se puede afirmar que no se verifican efectos del Proyecto sobre la flora vascular del área de estudio.

1.1.4 Monitoreo de Algarrobos

De acuerdo con lo indicado en la RCA 226/2006 (letra d) Considerando 1 0.3.2.2), el PSAB contempla el monitoreo de una población de 71 algarrobos ubicados en los sectores adyacentes al ex pozo de bombeo Camar-2 (actualmente desmantelado y fuera de operación para la extracción de agua) e identificados como ejemplares de la serie A. El monitoreo consiste en determinar anualmente, en el mes de abril, el estado de vitalidad y el porcentaje de copa viva de cada uno de los 71 individuos. Adicionalmente, en el presente

informe, y de acuerdo con lo estipulado en la Acción 23 el Programa de Cumplimiento⁵ (aprobado por la SMA mediante Res. Ex. N°38/ROL F-041-2016 de agosto 2022) se incluye dentro del seguimiento la evaluación de su estado fisiológico mediante la medición del potencial hídrico y conductancia estomática y la estimación de la biomasa aérea, además del seguimiento de presencia y daño animal y antrópico asociado, y en función de las variables climáticas, como precipitaciones, se analiza su estado de vitalidad y sanitario.

Respecto a las mediciones realizadas y los resultados analizados, entre 2006 y 2023 de los 71 ejemplares objeto de estudio por la RCA 226/2006, 14 individuos han sido reportados como desaparecidos en temporadas previas a la campaña actual 2023, la principal causa corresponde a desprendimientos de aluviones producto de las intensas lluvias del invierno altiplánico. Respecto al estado de vitalidad de estos individuos, los resultados del periodo 2023 indican que el 49,12% se encuentran secos (correspondiente a 28 ejemplares). En la categoría normal, se reportan el 42,11% (24 ejemplares), 7,02% se encuentra en la categoría débil (4 ejemplares) y 1,75% se reporta como excepcionalmente vigoroso. No se reportan ejemplares en la categoría muy débil. En relación con la proporción de copa viva de estos individuos, se observa que el número de ejemplares sin follaje verde alcanza 28 individuos (49,12% del total). Respecto a aquellos individuos que sí presentaron follaje durante el periodo de monitoreo (2023), el 50,88% representado por once [11] ejemplares, se encuentran dentro de la categoría de 50 – 75%, el 14,04% representado por ocho [8] ejemplares en la categoría 25 – 50%, mientras que el 7,02% representado por cuatro [4] ejemplares en la categoría 5 – 25% y tan sólo el 1,75% representado por un [1] individuo presentó <5% de copa verde.

Desde el punto de vista fenológico, en el monitoreo 2023, de la totalidad de individuos en pie (57 ejemplares) el 50,88% (29 ejemplares) presenta algún grado de vitalidad en la etapa fenológica de crecimiento vegetativo. El resto de los individuos que representan el 49,12% (28 ejemplares) se encuentran en una etapa de senescencia. No se identifican ejemplares en las etapas de floración o fructificación, lo cual es concordante con el ciclo fenológico normal de la especie y la temporada del año analizada la cual representa la estación de otoño. Cabe destacar que la floración y fructificación ocurre en primavera y verano, respectivamente. Finalmente, respecto al parámetro de daño por agentes externos, 28 ejemplares (49,12) se encuentran secos al momento del monitoreo, por lo cual no se les aplicó la evaluación del tipo de daño. Del resto, correspondiente a 29 individuos, el 49,12% (28 ejemplares) presenta signos de daño animal y un [1] individuo (A33) presenta daño animal y antrópico (1,75%).

El aumento de los ejemplares secos o senescentes en el tiempo podría estar relacionado con la modificación natural de la red de drenaje en el 2008, la que produjo una reactivación de cauces de escurrimiento superficial en el lóbulo sur del abanico y un progresivo abandono del sistema de cauces en el sector norte y centro de la población de algarrobos (Hidroestudios, 2020), siendo estos últimos, los que han evidenciado mayor detrimento de la vitalidad y la disminución de proporción de copa viva (%). Asimismo, a través del tiempo se ha registrado la ocurrencia de aluviones en zona de la quebrada de Camar (2012, 2017 y 2019), los que han llegado a desprender algunos ejemplares producto de la fuerte escorrentía y arrastre de material de las

⁵ Incluir en los informes del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico (PSAB), un análisis de los resultados del estado vital y sanitario de los algarrobos, en función de las variables de temperatura, precipitaciones, nivel freático y nuevas variables antrópicas, presencia y daño asociado a plagas y patógenos, análisis eco-fisiológicos comparativos, medición de potencial hídrico, medición de conductancia estomática y estimación de biomasa.

precipitaciones estivales. Adicionalmente, la población de algarrobos se ha visto afectada por el constante ramoneo de burros asilvestrados (daño mecánico), quienes se alimentan de los brotes y ramillas nuevas produciendo una merma en el crecimiento de los individuos.

Para el análisis del estado fisiológico de la población de algarrobos realizada en enero, abril, julio y octubre de 2023, se trabajó con una muestra de 18 individuos de algarrobo (muestra objetivo, serie A) que están distribuidos en torno al pozo ex pozo de extracción Camar-2. Complementariamente, se tomaron muestras en nueve (9) ejemplares alejados de dicho pozo, que se encuentran ubicados hacia el este de la muestra objetivo, pertenecientes a la serie B, y a individuos ubicados en el mismo sector del pozo, pertenecientes a las series C (1 ejemplar), D (1 ejemplar) y AX (2 ejemplares) (muestras testigos). A cada individuo se le midió la conductancia estomática y potencial hídrico (en pre-alba y mediodía). Posteriormente los datos fueron analizados estableciendo comparaciones entre el estado hídrico de la serie A (muestra objetivo) y las series B y C (muestra testigo), respecto a su ubicación con la tubería que atraviesa la quebrada de norte a sur a la altura del ex pozo de extracción Camar-2 y considerando si los individuos son regados o no⁶.

En general, los monitoreos indican que no se encontraron diferencias significativas en el potencial hídrico ni la conductancia estomática al comparar los algarrobos de la serie A con los algarrobos de las series B-C. mientras que los algarrobos ubicados aguas arriba de la tubería presentaron valores más bajos de estado hídrico y de conductancia estomática que los algarrobos ubicados aguas abajo, la diferencia se podría explicar debido a la cantidad de árboles sin riego que hay aguas arriba de la tubería, mientras que aguas abajo solo dos árboles no tienen sistema de riego. Los algarrobos regados muestran un mejor estado hídrico que los no regados.

Respecto a la Biomasa calculada para los individuos de las series A, B, C y D, los resultados de las mediciones indican que estructura de la población estaría constituida mayoritariamente por individuos vivos, jóvenes o de poco desarrollo, donde la mayor parte de los individuos pertenecen a las clases diamétricas de menor tamaño (< 7,5 cm), con alturas medias que no superan los 50 cm y donde menos del 10% de los individuos es de mayor tamaño (> 20, cm), los que pueden alcanzar hasta los 7m de altura (medición de octubre). Además, la población presentaría una alta capacidad de retoñación, tratándose en su mayoría de individuos de hábito arbóreo-arbustivo, con más de un fuste (plurifustales) y varias ramas principales, estructura que se ha mantenido constante en el período analizado.

Respecto a la estimación de biomasa, la biomasa aérea total de la población a octubre de 2023 (monitoreo más reciente) alcanzó 5.588,0 kg, concentrándose en su mayoría en individuos vivos. Con respecto a las componentes, la biomasa aérea se acumula en forma decreciente en las ramas, el fuste y las hojas.

Existe una tendencia al incremento en la media del diámetro basal equivalente y en área basal acumulada de la población (Vivos + Secos). Si se agrupan estadísticamente los resultados obtenidos, se tiene un primer periodo (Mediciones de abril de 2022 y enero de 2023) y un segundo periodo (Mediciones de abril, julio y

⁶ Como parte de las acciones comprometidas en el Programa de Cumplimiento (PdC) aprobado mediante Res. Ex. N° 38/2022 por la SMA, en el marco del procedimiento sancionatorio Res. Ex. N° 4/ROL F-041-2016, se implementó, en noviembre 2022, un programa de riego de los algarrobos que forman parte del monitoreo comprometido en la RCA 226/2006, correspondiente a la Acción 28.

octubre de 2023), resultando en un incremento entre periodos en la media del diámetro basal equivalente y el área basal de 1,3 cm y 0,5659 m², respectivamente.

Respecto a los ejemplares que cuentan con sistema de riego, se observa un número de ejemplares Seco y con copa viva 0% que se mantiene sin mayores variaciones durante el año. La disminución de ejemplares Secos y con copa viva 0% estaría relacionada principalmente con la implementación del sistema de riego, debido a que se registró sin mayores variaciones durante todo el período anual de 2023.

1.1.5 Monitoreo de Fauna

El seguimiento realizado acorde a lo estipulado en el Considerando 10.4 de la RCA 226/2006, consigna para el subcomponente fauna, el monitoreo de los animales silvestres (reptiles, aves terrestres, mamíferos) en el Borde Este del Salar de Atacama en los distintos hábitat identificados y de la avifauna acuática en los Sistemas Lacustres de Soncor, Aguas de Quelana y Peine, el cual se realiza anualmente, durante el mes de abril, con la finalidad de elaborar un listado faunístico y calcular abundancia de los distintos grupos de fauna.

Para cada taxón, la RCA N° 226/2006 presenta una tabla de ubicación de transectos (Tabla N° 16, considerando 10.4.3), para reptiles y aves terrestres en el Borde Este del Salar de Atacama, definiendo así, los puntos de muestreo a realizar en los sectores de Vega de Carvajal, Cruce Camar, Aguas de Quelana, Cruce SQM y Peine (Laguna Interna). Los hábitats identificados como relevantes para este componente, y en los cuales se establecen estos puntos de muestreo corresponden a: hábitat de Rica rica – Pingo pingo, Brea – Cachiyuyo, Pajonal, Marginal Salar y Salar. La metodología de seguimiento para reptiles corresponde al establecimiento de un transecto para cada uno de los hábitats identificados, el cual se realiza mediante recorrido pedestre registrando a los individuos observados en un búfer de 30 m a cada lado del transecto. Para el caso de las aves terrestres la metodología estipulada también considera la realización de transectos lineales distribuidos en los distintos hábitats presentes, mientras que para las aves acuáticas se consideraron 25 puntos de censo en los distintos cuerpos de agua existentes en los Sistemas Lacustres mencionados anteriormente.

Por otra parte, el monitoreo de mamíferos se realiza en los hábitat relevantes definidos de Rica rica – Pingo pingo, hábitat de Brea – Cachiyuyo y hábitat de pajonal.

Los resultados de riqueza obtenidos durante el presente monitoreo registran un total de 26 especies, de las cuales tres [3] corresponden a reptiles, diecisiete [17] especies de aves y seis [6] mamíferos. La totalidad de especies registradas son nativas, de las cuales una [1] es endémica, es decir, su distribución natural se restringe únicamente a nuestro territorio nacional. De las especies detectadas, doce [12] especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación según el Reglamento de Clasificación de Especies (Proceso N° 18, DS. N° 10/2023). De estas, seis [6] especies se encuentran clasificadas en categorías de conservación de amenaza o casi amenaza. Durante la presente campaña, no se detectó la presencia de especies introducidas, pero sí la presencia de una [1] especie doméstica: el burro (*Equus asinus*), el cual no fue considerado en los análisis.

1.1.5.1 Reptiles

El análisis para la clase Reptilia en el periodo 2023, registra a través de la metodología de transectos, una riqueza de tres [3] especies, siendo la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*) la que presenta la mayor

abundancia, registrada en hábitat de pajonal y marginal salar. Posteriormente, se encuentra el lagarto de Constanza (*Liolaemus constanzae*) registrada en los ambientes de Rica rica – Pingo pingo. Brea – Cachiyuyo y Pajonal. Por último, el reptil con menor abundancia corresponde a la lagartija de la puna (*Liolaemus puna*) con registros en los hábitats de Brea – Cachiyuyo y Pajonal.

1.1.5.2 Aves

En cuanto a las aves, se registra un total de diecisiete [17] especies durante la campaña de abril 2023, distribuidas en ambientes terrestres y/o acuáticos. A través de la metodología de transectos, fue posible registrar siete [7] especies de aves asociadas a ambientes terrestres. Por otra parte, respecto a la avifauna presente en ambientes acuáticos se detecta mediante censos, la presencia de trece [13] especies, pertenecientes a los órdenes Anseriformes, Charadriiformes, Passeriformes y Phoenicopteriformes.

1.1.5.3 Mamíferos

Se identifican seis [6] especies de mamíferos, de los cuales, tres [3] corresponden a micromamíferos no fosoriales, uno [1] micromamíferos fosorial y dos [2] macromamíferos.

Los micromamíferos no fosoriales detectados en la presente campaña fueron el ratón andino (*Abrothrix andinus*), la lauchita de pie sedoso (*Eligmodontia puerulus*) y ratón orejudo amarillento (*Phyllotis xantophyugus*). La abundancia de los micromamíferos no fosoriales alcanza un total de diecisiete [17] individuos capturados. Por otra parte, se registra el micromamífero fosorial tuco tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*), el cual se detecta en Vega de Carvajal, Cruce Camar, Aguas de Quelana y Cruce SQM, a partir del registro de madrigueras activas y vocalizaciones.

En el caso de los macromamíferos, se registra el zorro chilla (*Lycalopex griseus*), zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), y registros indeterminados de zorro (*Lycalopex sp.*). El primero es detectado en el sector de Vega de Carvajal, en el hábitat de Rica rica – Pingo pingo, y Brea – Cachiyuyo, y el segundo en hábitat de pajonal. Estos registros se evidencian a través de las estaciones olfativas (huelleros) y trampa cámara. Sin embargo, la identificación a nivel de especie es posible solo mediante trampa cámara.

1.1.6 Monitoreo de Biota acuática

El área de estudio considera la evaluación de los sistemas hidrológicos de Soncor, Puilar, Aguas de Quelana y Peine. En cada sistema se realiza una evaluación de la calidad del agua en base a sus características fisicoquímicas y bióticas. La caracterización de la calidad de agua es llevada a cabo por una entidad ETFA (ALS Global) en cumplimiento de la normativa legal vigente (D.S. 38/2013 MMA). La evaluación de la biota acuática es realizada de acuerdo a lo establecido en la RCA 226/2006.

En concordancia con su naturaleza, los cuerpos de agua se caracterizan por sus rasgos hipersalinos, baja profundidad y condiciones fisicoquímicas extremas, definidas en parte por el origen hidrogeológico de las aguas que los sustentan, así como por los procesos de evaporación y precipitación. Entre las variables registradas se distingue valores de pH neutros a ligeramente alcalinos, así como concentración de oxígeno disuelto que fluctúan entre niveles bajos y moderados. Las magnitudes registradas son coincidentes con lo observado históricamente

En líneas generales, se registran diferencias entre los sistemas de Soncor, Aguas de Quelana, Puilar y Peine en la estructura y composición de los ensambles de microalgas (fitobentos y fitoplancton) presentes. Este resultado es coincidente con las diferencias en las condiciones fisicoquímicas de las lagunas. En el caso de la fauna acuática (zooplancton y zoobentos), no se registran variaciones, siendo los ensambles caracterizados por una reducida riqueza de especies.

En términos del registro histórico, tanto el fitoplancton como el fitobentos han históricamente exhibido importantes variaciones en riqueza y abundancia. Los valores observados el 2023 se encuentran dentro del rango históricamente observado para los diferentes sistemas lacustres. En el caso del zooplancton y zoobentos observados el 2023 son coincidentes con lo reportado históricamente. En el caso particular del zoobentos se destaca la dominancia histórica del gastrópodo *Heleobia sp.* y el branquiópodo *Artemia franciscana*. Para el zooplancton las larvas de dípteros comprenden al taxa dominante. Finalmente, en el caso de las macrófitas, se identifica únicamente una especie, *Ruppia filifolia* la que corresponde a una herbácea perenne que habita sumergida en aguas salinas. Esta hierba fue registrada en los sistemas de Puilar, Aguas de Quelana y Peine.

2 Introducción

El proyecto “Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama” de SQM Salar S.A., fue aprobado mediante Resolución Exenta N° 226 el 19 de octubre de 2006 por la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta (en adelante RCA 226/2006), y permite la operación actual de SQM en el Salar de Atacama. El proyecto calificado favorablemente se localiza en la región de Antofagasta, provincia El Loa, Comuna de San Pedro de Atacama en el Salar de Atacama y tiene como objetivo la producción de cloruro de potasio y salmuera rica en litio.

El proyecto tal como lo indica el Considerando 10 de la RCA 226/2006 contempla la ejecución de un Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) con el objetivo de monitorear las variables hidrogeológicas y bióticas en función de los objetos de protección (sistemas ambientales). El PSA, es considerado como *“una herramienta instrumental para el Plan de Contingencias, esto es, considera el monitoreo de las variables que permitirán establecer cuando es necesario activar a desactivar el Plan de Contingencias, en función de variables hidrogeológicas (niveles) y de los componentes receptores (Biota). Adicionalmente, permitirá evaluar el estado ambiental y el funcionamiento hidrogeológico y biótico de los sistemas, información que, en caso de ser necesario, podría ser utilizada para determinar posibles causas de un deterioro ambiental de los sistemas que son objeto de protección”* (Considerando 10.1, RCA 226/2006).

Acorde con lo anterior, en el presente informe se exponen los resultados del Plan de Seguimiento Ambiental de la componente biótica (PSAB) correspondiente al periodo 2023 (Informe PSAB N° 17). Las subcomponentes y reportadas en este documento corresponden a; flora y vegetación, fauna silvestre y biota acuática. El PSAB se desarrolla en función de lo establecido en el Considerando 10.3 (Flora y vegetación), Considerando 10.4 (fauna) y Considerando 10.5 (biota acuática) de la RCA 226/2006 en los cuales se establecen las metodologías, parámetros y frecuencia de medición.

El objetivo principal del PSAB (Plan de Seguimiento Ambiental Biótico) es dar cuenta del estado ambiental de la componente biótica del Borde Este del Salar de Atacama, en virtud de la evolución temporal de las variables estudiadas, dando énfasis en identificar oportunamente posibles cambios en ellas, con el fin de detectar la ocurrencia de efectos no previstos por el proyecto en operación.

Para establecer la condición basal, previo a la operación del proyecto se ejecutaron dos mediciones en noviembre 2005 y abril 2006, las cuales permitieron determinar la frecuencia de monitoreo quedando establecido que se ejecutaría de manera anual durante el mes de abril hasta el término de la vida útil del proyecto. Por lo cual, a partir de 2007 y hasta la fecha (2023) se ha realizado el seguimiento ambiental en virtud de lo señalado en la RCA 226/2006.

El seguimiento se realiza considerando para cada subcomponente biótica y la definición de parámetros que han permitido evaluar en el tiempo el comportamiento de los sistemas objeto de protección. En la siguiente Tabla, se observa un resumen de estos parámetros en función de los objetivos del seguimiento y objetos de protección definidos en la RCA 226/2006. Cabe destacar que en el presente informe se incorporan como

parte de los contenidos, la Acción 23⁷ del Programa de Cumplimiento (PdC) aprobado mediante Resolución Exenta N°38 del 29 de agosto de 2022 por la Superintendencia de Medio Ambiente. Por lo cual, se incorporaron nuevas variables, asociadas al daño fitosanitario, análisis eco fisiológicos (potencial hídrico y conductancia estomática), análisis de biomasa, daño por ramoneo o de origen antrópico en la Población de Algarrobos de Camar.

Tabla 2-1. Resumen de parámetros de medición por subcomponente en función del objeto de protección.

Componente ambiental	Subcomponente	Objeto de protección	Parámetro de medición	Metodología de seguimiento
Medio Biótico	Vegetación	Sistema Vegetación Borde Este	Estimación de la cobertura (superficie) Estado de Vitalidad Porcentaje de copa verde Fenología	Carta de Ocupación de Tierras (COT) Estimación visual de vitalidad, copa viva, estado fenológico, estratificación, especies dominantes Imágenes satelitales de alta resolución
	Vegetación en la Zona de conexión vegetación - acuífero		Cobertura vegetal Vitalidad Porcentaje de copa viva Fenología	Carta de Ocupación de Tierras (COT) Estimación visual de; cobertura, vitalidad, copa viva, estado fenológico, estratificación, especies dominantes
	Población de Algarrobos sector Camar 2		Vitalidad Porcentaje de copa viva Fenología Daño (afectación antrópica y animal) Potencial hídrico y conductancia estomática* Variables dendométricas* Contenido Humedad del Suelo (CHS)*	Estimación visual de ejemplares de algarrobos para determinar; vitalidad, copa viva, estado fenológico, daño por agentes antrópicos y/o animal. Mediciones en terreno con cámara de presión para determinar potencial hídrico Mediciones en terreno con porómetro de flujo para determinar conductancia estomática Mediciones in situ de; diámetro máximo de copa, diámetro basal, diámetro a la altura de pecho, largo del vástago, diámetro del fuste, altura total. Para determinar

⁷ Incluir en los informes del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico (PSAB), un análisis de los resultados del estado vital y sanitario de los algarrobos, en función de las variables de temperatura, precipitaciones, nivel freático y nuevas variables antrópicas, presencia y daño asociado a plagas y patógenos, análisis eco fisiológicos comparativos, medición de potencial hídrico, medición de conductancia estomática y estimación de biomasa.

Tabla 2-1. Resumen de parámetros de medición por subcomponente en función del objeto de protección.

Componente ambiental	Subcomponente	Objeto de protección	Parámetro de medición	Metodología de seguimiento
				mediante modelo de regresión la biomasa aérea.
	Flora		Riqueza y abundancia	Transectos mediante el registro de las especies de flora vascular y su cobertura, de acuerdo con la escala de abundancia-dominancia de Braun-Blanquet (1979)
	Suelo		pH y salinidad del suelo	Toma de muestras de suelo en los mismos transectos de flora y análisis en laboratorio.
	Fauna silvestre	Hábitat para la biota terrestre asociada al sistema Vegetación Borde Este	Riqueza Abundancia total Abundancia promedio Índice de visitas	Transectos Censo Trampas Sherman Trampas cámara Estaciones olfativas
	Biota acuática	Hábitat para la biota asociada a los sistemas lacustres	Mediciones abióticas: - Temperatura - Conductividad eléctrica - pH - Oxígeno disuelto Medio biótico (riqueza y abundancia): - Fitobentos - Fitoplancton - Zoobentos - Zooplancton - Plantas acuáticas	Toma de muestras de aguas y procedimientos en laboratorio Reconocimiento in situ de la cobertura relativa de macrófitos e identificación de taxa presentes

* Parámetros incluidos al PSAB por Acción 23 del Plan de Cumplimiento

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

De acuerdo con la Tabla anterior, el presente documento correspondiente al Informe N° 17 del PSAB 2023, reporta los resultados considerando las siguientes materias de análisis que permiten determinar el estado de las subcomponentes bióticos presentes en el Borde Este del Salar de Atacama, acorde lo establecido en la RCA 226/2006.

- Monitorear la vegetación del Borde Este mediante imágenes satelitales de alta resolución
- Monitorear la vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero
- Monitorear la población de Algarrobos, ubicados en el área del pozo Camar 2
- Monitorear la flora vascular presente en el Borde Este del Salar de Atacama
- Monitorear la Fauna silvestre presentes en el Borde Este del Salar de Atacama
- Monitorear la Biota acuática de los principales cuerpos lacustres presentes en el Borde Este del Salar de Atacama

Este informe de seguimiento se elaboró considerando los estándares establecidos en Resolución Exenta 223/2015: Instrucciones generales sobre la elaboración de Plan de seguimientos de variables ambientales, los informes de seguimiento ambiental y la remisión de información al sistema electrónico de seguimiento ambiental de la Superintendencia de Medio Ambiente.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

El objetivo general del presente informe de seguimiento, es dar cuenta del estado ambiental y la evolución temporal del componente biótico, en particular para las subcomponentes flora y vegetación, fauna y biota acuática del Borde este del Salar de Atacama, correspondientes al periodo anual 2023, con la finalidad de verificar que éstos evolucionan según lo proyectado y detectar la ocurrencia de eventuales efectos no previstos sobre los objetos de protección definidos durante la evaluación del proyecto “Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama”, aprobado mediante Resolución de Calificación Ambiental Res. Ex. N° 226/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente, Región de Antofagasta.

De acuerdo con lo anterior y a lo establecido en la citada RCA, los objetivos específicos del presente informe de Seguimiento Ambiental para cada subcomponente son los que se detallan a continuación.

3.2 Objetivo específico subcomponente flora y vegetación

- Detectar las posibles variaciones en la cobertura de las formaciones vegetales identificadas en el área de estudio del Proyecto durante la descripción de Línea Base (2006) y las campañas de monitoreo previas a la operación, mediante el análisis de imágenes satelitales captadas en abril, a fin de comparar situaciones equivalentes de desarrollo de la cubierta vegetal.
- Evaluar eventuales variaciones en los polígonos de vegetación que se encuentran en la zona de conexión entre la napa subterránea y el sistema radicular de la formación arbustiva de *Tesaria absinthioides* – *Atriplex atacamensis*
- Detectar eventuales cambios a nivel de abundancia y riqueza de las especies de flora vascular en el área de estudio y detectar cambios a nivel del sustrato (variables micro-ambientales como pH y salinidad) y relacionarlos con las mediciones efectuadas sobre la flora.
- Evaluar el estado vital de los ejemplares de Algarrobos ubicados en el sector del ex pozo de extracción de agua denominado Camar 2, a través de la determinación de su estado de vitalidad, porcentaje de copa viva, estado fenológico y detectar daños de carácter animal, antrópico u otros, que estén afectando a la población objeto de estudio.
- Caracterizar el estado fisiológico de la población de los algarrobos presentes en el cono aluvial de la Quebrada de Camar mediante la medición de variables que permiten determinar el estado hídrico.
- Estimar la biomasa de la población de algarrobos ubicados en la Quebrada de Camar, mediante la búsqueda, análisis y selección de funciones alométricas de biomasa aérea según componente (fuste, ramas, hojas y total).

3.3 Objetivo específico subcomponente fauna

- Detectar eventuales cambios a nivel de abundancia y riqueza de las especies de fauna en cada estación de muestreo definida.
- Evaluar la abundancia de reptiles y aves terrestres en el Borde Este del Salar de Atacama.
- Evaluar la abundancia de aves acuáticas presente en los sistemas lacustres Soncor, Aguas de Quelana y Peine.
- Evaluar la abundancia de micromamíferos y macromamíferos (carnívoros) en el Borde Este del Salar de Atacama

3.4 Objetivo específico subcomponente biota acuática

- Evaluar los parámetros fisicoquímicos en la columna de agua (pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y salinidad) y sedimento (temperatura y conductividad eléctrica) para cada uno de los sistemas lagunares
- Evaluar la productividad fotosintética mediante la estimación de clorofila fracción planctónica (fitoplancton) y bentónica (fitobentos) para cada sistema lagunar
- Determinar los parámetros ecológicos de diversidad alfa en los componentes biológicos: Fitobentos, Fitoplancton, Zoobentos y Zooplancton, para cada sistema lagunar
- Desarrollar un análisis espacio-temporal de las distintas variables bióticas y abióticas de los distintos sistemas hidrológicos, mediante la comparación de campañas de muestreo de años anteriores.

4 Materiales y métodos

4.1 Área de estudio

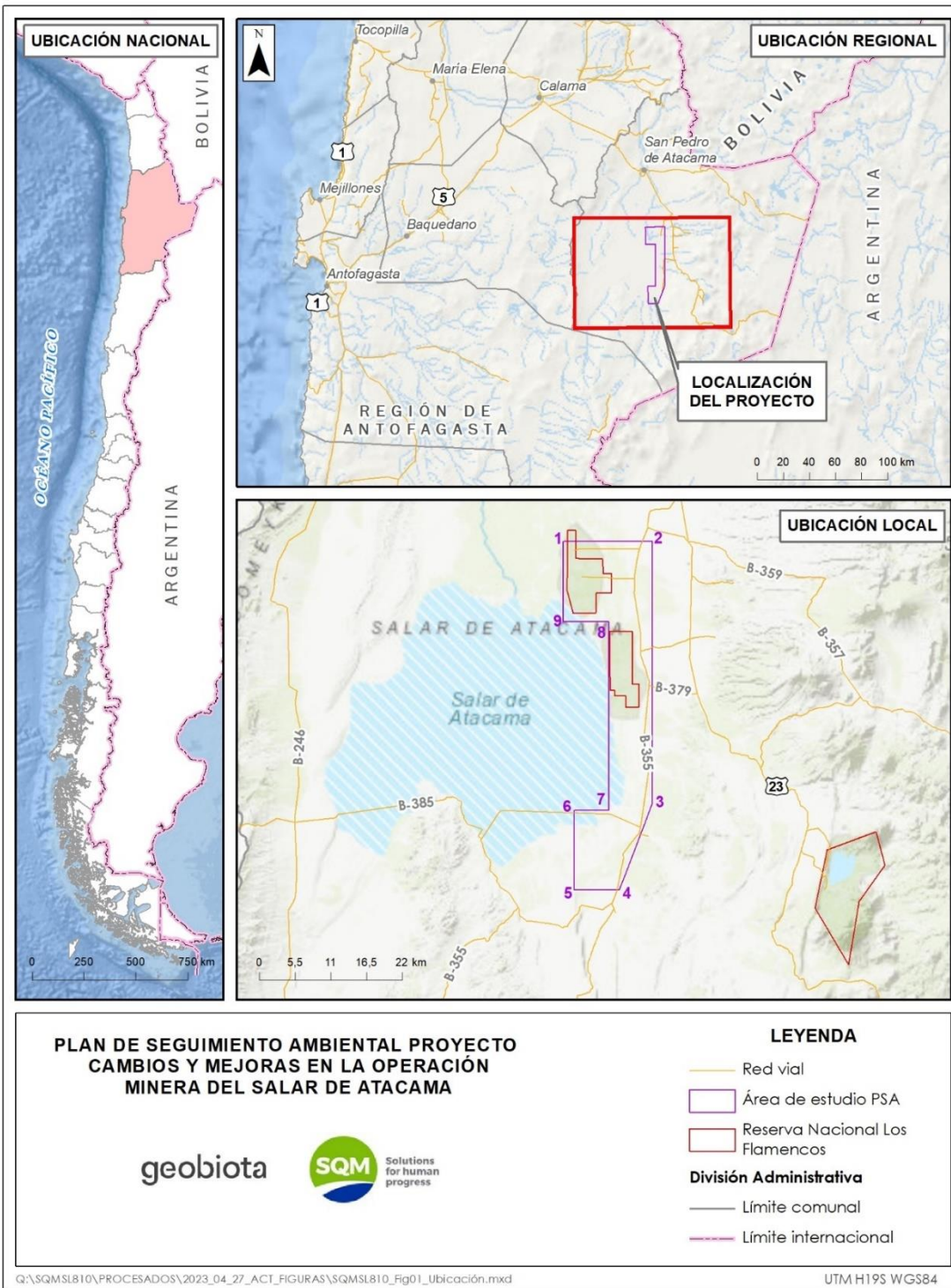
El área de estudio objeto del presente Plan de Seguimiento Ambiental Biótico, corresponde a la cuenca endorreica del Salar de Atacama, específicamente en el Borde Este del Salar, correspondiente a la división político-administrativa de la región de Antofagasta, provincia El Loa, comuna de San Pedro de Atacama. La delimitación espacial del área de estudio se realizó en función de las formaciones vegetales y los cuerpos lagunares presentes en los sistemas de interés ambiental. El sector definido como Borde Este está delimitado por los vértices que se muestran en la Tabla 4-1 y se representan espacialmente en la Figura 4-1

Tabla 4-1. Vértices del Área de estudio PSA biótico – Salar de Atacama

Vértice	Coordenadas UTM Huso 19 (WGS84)	
	Este	Norte
1	582.808	7.425.804
2	596.515	7.425.821
3	596.515	7.385.560
4	591.414	7.372.165
5	584.453	7.372.165
6	584.459	7.384.418
7	589.807	7.384.416
8	589.811	7.413.519
9	582.811	7.413.519

Fuente: elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-1. Ubicación del área de estudio y sus vértices.



Fuente: elaboración propia, Geobiota 2023

4.2 Flora y Vegetación

4.2.1 Monitoreo de la vegetación mediante imágenes satelitales

4.2.1.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

El monitoreo anual de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama mediante imágenes satelitales contempla como base la realización 99 puntos de monitoreo fijos en el tiempo, los que fueron establecidos en la campaña pre-operacional efectuada en abril de 2006. Su ubicación se estableció durante el proceso de evaluación ambiental del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama” específicamente en el Anexo V.II de la Adenda III del EIA y que se presenta en la siguiente Tabla 4-2 y la Figura 4-2. De manera complementaria, se utilizan los 19 puntos de monitoreo de la zona de conexión vegetación-acuífero (detallados en la sección 4.2.2 de este informe).

Tabla 4-2. Ubicación de los puntos de monitoreo de vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama (Datum WGS84, 19S).

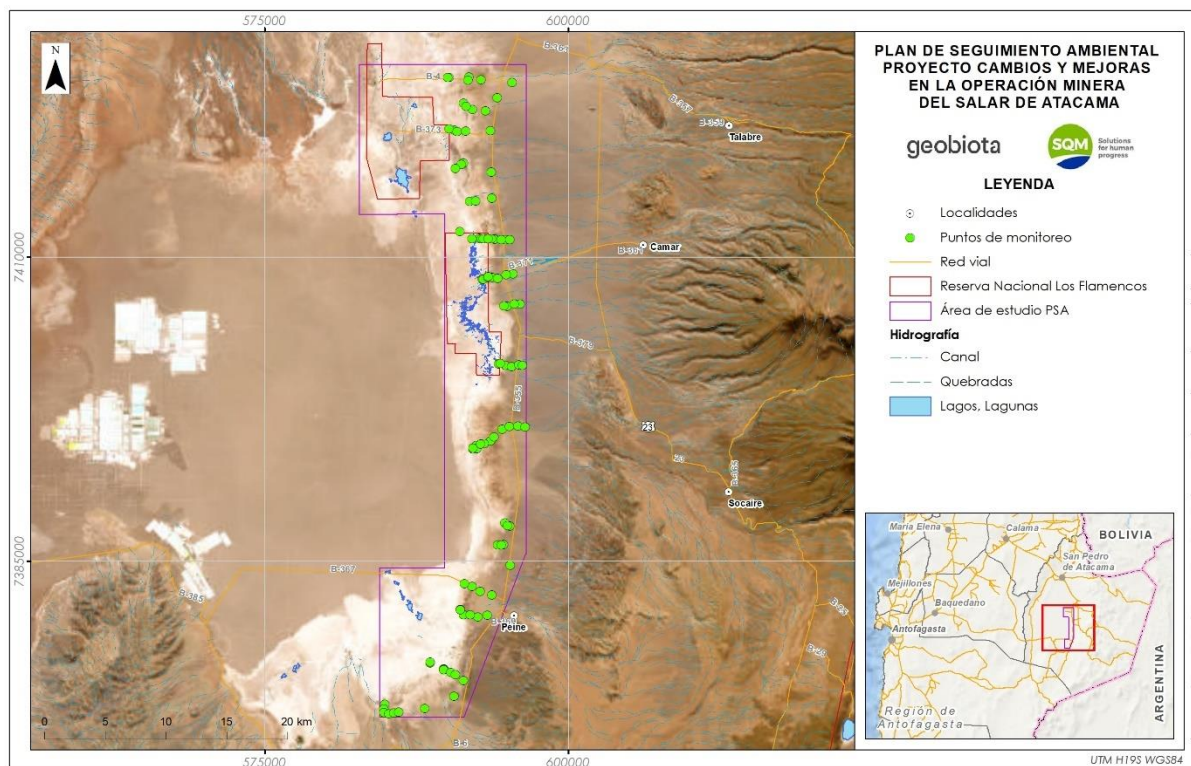
Parcela	Coordenadas UTM		Parcela	Coordenadas UTM		Parcela	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
N-01	590.161	7.424.778	N-34	595.130	7.396.082	N-67	590.570	7.373.893
N-02	591.798	7.424.803	N-35	595.838	7.396.132	V-01	590.057	7.424.786
N-03	595.369	7.424.392	N-36	596.454	7.396.030	V-05	592.823	7.424.583
N-04	592.120	7.422.160	N-37	595.174	7.387.889	V-06	591.734	7.424.569
N-05	590.641	7.420.432	N-38	594.765	7.388.166	V-08	594.147	7.423.108
N-06	590.190	7.420.567	N-39	595.001	7.387.921	V-09	591.352	7.422.679
N-07	590.863	7.420.345	N-40	594.658	7.386.363	V-10	591.583	7.422.414
N-08	591.382	7.417.738	N-41	595.232	7.384.683	V-11	593.177	7.422.022
N-09	591.170	7.417.645	N-42	593.690	7.382.222	V-14	593.587	7.420.397
N-10	590.714	7.417.297	N-43	592.745	7.382.539	V-15	591.548	7.420.360
N-11	593.686	7.414.861	N-44	592.063	7.382.925	V-16	593.662	7.416.988
N-12	591.890	7.414.580	N-45	591.439	7.383.150	V-26	592.665	7.411.549
N-13	592.350	7.414.648	N-46	593.325	7.380.555	V-27	592.828	7.411.539
N-14	591.066	7.412.097	N-47	592.567	7.380.399	V-28	593.642	7.411.533
N-15	593.933	7.411.479	N-48	591.362	7.380.602	V-29	592.981	7.411.522
N-16	595.440	7.408.631	N-49	591.087	7.381.045	V-30	593.407	7.411.508
N-17	592.912	7.408.171	N-50	591.103	7.380.989	V-31	592.057	7.411.506
N-18	592.976	7.408.176	N-51	589.717	7.376.135	V-32	594.808	7.411.461
N-19	593.378	7.408.333	N-52	589.757	7.376.124	V-33	594.480	7.411.460

Tabla 4-2. Ubicación de los puntos de monitoreo de vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama (Datum WGS84, 19S).

N-20	593.728	7.408.342	N-53	589.745	7.376.071	V-34	595.174	7.411.457
N-21	594.172	7.408.268	N-54	589.743	7.376.089	V-36	594.899	7.408.547
N-22	596.049	7.406.139	N-55	588.620	7.376.634	V-40	593.397	7.408.407
N-23	594.968	7.405.971	N-65	588.634	7.376.709	V-44	595.560	7.406.139
N-24	594.707	7.406.016	N-57	590.313	7.375.868	V-48	594.400	7.401.258
N-25	594.244	7.401.231	N-58	590.691	7.375.667	V-53	595.926	7.401.167
N-26	594.825	7.401.123	N-59	591.382	7.375.196	V-56	596.207	7.401.116
N-27	595.339	7.401.013	N-60	584.875	7.373.209	V-63	593.872	7.395.243
N-28	592.133	7.394.229	N-61	584.826	7.372.866	V-65	593.059	7.394.688
N-29	592.275	7.394.370	N-62	584.812	7.372.573	V-66	592.772	7.394.651
N-30	592.431	7.394.509	N-63	585.228	7.372.439	V-69	592.127	7.394.296
N-31	592.488	7.394.246	N-64	585.613	7.372.525	V-70	594.183	7.386.339
N-32	593.595	7.394.894	N-65	586.030	7.372.590	V-71	594.475	7.386.324
N-33	594.548	7.395.853	N-66	588.189	7.372.910	V-75	591.901	7.380.615

Fuente: elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-2. Distribución espacial de puntos de monitoreo de vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama.



Fuente: elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.1.2 Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

De acuerdo con lo indicado en la RCA N° 226/2006, para detectar posibles variaciones en las formaciones vegetales identificadas en el área de estudio, el monitoreo considera la estimación de la cobertura vegetal medida como superficie. Para ello, se utiliza una imagen satelital de alta resolución capturada en el mes de abril de cada año, sobre la cual, se identifican unidades homogéneas de vegetación (UVH), las que se clasifican en formaciones y tipos vegetacionales; para posteriormente estimar su cobertura. Además, se evalúa el estado vital y porcentaje de copa verde de las unidades vegetacionales a describir, y adicional a lo exigido en la RCA, se monitorea la fenología dominante en cada unidad.

Cabe mencionar que al procesamiento de los datos se incorporó una optimización metodológica, presentado al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), mediante carta GMPL 039/2019 la consulta de pertinencia “Optimización de la presentación de cobertura vegetal del Plan de Seguimiento Biótico”, sobre la cual la autoridad ambiental resolvió mediante Resolución exenta 128/2019 el no ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Esta optimización metodológica tuvo por objeto subsanar las limitaciones del Plan de Seguimiento Ambiental de la vegetación, aplicando un ajuste a la asignación del tipo vegetacional y a la cobertura de unidades vegetacionales.

Tabla 4-3. Síntesis de parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

Componente	Subcomponente	Variable	Parámetro	Metodologías utilizadas
Biota	Plantas	Vegetación	Estimación de la cobertura medida como superficie Estado de vitalidad, porcentaje de copa viva y fenología de cada unidad vegetacional	Carta Ocupación de Tierras (COT) Caracterización visual mediante criterios establecidos la clasificación de; vitalidad (seco, muy débil, débil, crecimiento normal, excepcionalmente vigoroso), porcentaje de copa viva y fenología (senescente, crecimiento vegetativo, floración, fructificación) Procesamiento imagen satelital y determinación del índice de vegetación NDVI

Fuente: elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.1.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

4.2.1.4 Prospección vegetacional en terreno

El monitoreo de la cobertura de las formaciones vegetales se realiza aplicando la metodología de la Carta de Ocupación de Tierras (COT), el cual es un método cartográfico que permite caracterizar la vegetación presente en un área determinada, estimando las formaciones vegetales, tipos vegetacionales y su cobertura. Este monitoreo consta de noventa y nueve [99] descripciones de terreno, en las que se registra el tipo biológico presente, estimando en forma visual su cobertura, su estratificación en término de altura y las especies dominantes que lo componen. Las categorías de cobertura utilizadas se presentan en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4. Rangos de cobertura utilizados en las descripciones vegetacionales

Coberturas	Rangos de cobertura (%)	Código
Densa	75-100	6
Semidensa	50-75	5
Abierta	25-50	4
Muy abierta	10-25	3
Rala	5-10	2
Muy rala	<5	1

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a Etienne y Prado, 1982

Adicionalmente, de acuerdo con la RCA 226/2006, en cada descripción de terreno se registra la vitalidad y el porcentaje de copa viva (follaje), de acuerdo con las categorías definidas en la siguiente Tabla 4-5 y Tabla 4-6.

Tabla 4-5. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas.

Código	Categoría	Descripción
0	Seco	No presenta follaje verde ni estructuras reproductivas de ningún tipo.
1	Muy débil	Presenta escaso follaje verde, sin producción de frutos. Se observa signos de ataque de patógenos.
2	Débil	Aun cuando presenta follaje verde puede observarse signos leves de ataques de patógenos. No obstante, es capaz de producir algunos frutos.
3	Crecimiento normal	Presenta gran parte de su follaje verde y producción de frutos. Sin signos de patógenos
4	Excepcionalmente vigoroso	Presentan abundancia de follaje y estructuras reproductivas.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a Etienne G., M., Prado Campos, C. (1982)⁸

El follaje verde (copa viva) corresponde a la proporción de la planta capaz de realizar actividad fotosintética. La pérdida parcial o completa del follaje, en forma sincrónica y fuera de estación, es un fenómeno conocido como “muerte regresiva” (Le Quesne, 2002). Su ocurrencia se asocia a la intervención de un agente abiótico (Ej. disponibilidad de agua), un agente biótico (como un patógeno) o al efecto combinado de ambos (Ej. el estrés hídrico predispone a las plantas a sufrir ataques de insectos u hongos). Las categorías de porcentaje de copa viva utilizadas se indican a continuación:

Tabla 4-6. Escalas utilizadas para clasificar el porcentaje de copa viva de las plantas.

Código	Porcentaje de copa viva
0	0%
1	<5%
2	5-25%
3	25-50%
4	50-75%
5	75-100%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a Etienne G., M., Prado Campos, C. (1982)

En forma complementaria a lo establecido en la RCA 226/2006, se describe en terreno el estado fenológico predominante en las especies que dominan cada formación, de acuerdo con las categorías que se presentan en la Tabla 4-7. La fenología se refiere a los fenómenos de aparición de tallos, hojas, flores y/o producción de frutos y semillas. Su ocurrencia guarda relación con las condiciones ambientales y estado vital de la planta.

⁸ Descripción de la vegetación mediante la cartografía de ocupación de tierras. Conceptos y manual de uso práctico. Santiago, Chile: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales.

Tabla 4-7. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.

Código	Estado fenológico
1	Senescente
2	Crecimiento vegetativo
3	Floración
4	Fructificación

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a Etienne G., M., Prado Campos, C. (1982)

4.2.1.5 Análisis de la imagen satelital

Tal como se establece en la RCA 226/2006, el monitoreo de vegetación se realiza sobre la base de imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución, las que deben ser tomadas en el mes de abril, en forma paralela a la toma de datos en terreno. Las imágenes deben ser captadas por el satélite Quickbird en modalidad multiespectral (3 bandas en espectro de luz visible y 1 banda en espectro infrarrojo) y Pancromática (1 banda en espectro visible, en rangos de gris). La modalidad multiespectral posee una resolución de 2,4 m mientras la imagen pancromática posee una resolución de 0,6 m. Para el caso del monitoreo del periodo 2023, se utilizaron imágenes del satélite Geoeye 1, cuya captura se realizó el 21 de abril. Esta imagen satelital se constituye de una imagen pancromática de resolución 50 cm y una imagen multiespectral de 4 bandas con una resolución espacial de 2 m. El cambio de satélite se debe a que el satélite Quickbird⁹ capturó su última escena el 17 de diciembre del 2014. En su reemplazo, se han adquirido imágenes que se encuentran en igual estándar de resolución, lo cual no implica un cambio en la metodología establecida para la cuantificación de la vegetación.

Las imágenes adquiridas se encuentran georreferenciadas en el sistema de coordenadas UTM, Datum WGS84, el cual, es el establecido para el muestreo, medición, análisis y/o control establecido según la Resolución 223/2015 de la Superintendencia del Medio Ambiente.

Previo al uso de imágenes, se procedió a ejecutar el preprocesamiento de la imagen ocupando el método de corrección atmosférica basados en el objeto oscuro (*dark object*) (Chávez, 1996). El principio de este método se basa en que superficies de fuerte absorción (como aguas o sombras) deberían presentar una radiancia espectral cercana a cero, pero que en la práctica presentan un valor mayor, atribuido al efecto de la dispersión atmosférica.

A partir de la imagen satelital procesada, se calculó el Índice de Vegetación (NDVI), que permite realzar y representar de manera precisa la actividad fotosintética de las coberturas vegetales. Este índice se basa en el particular comportamiento radiométrico, en el que la hoja sana absorbe la mayor parte de la energía en el espectro de la banda roja (0,6 a 0,7 μm) y la refleja en el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 μm), produciéndose un notable contraste espectral entre estas bandas. En los casos que, la vegetación sufre algún tipo de estrés, su reflectividad es inferior en el infrarrojo y mayor en el rojo, siendo menor el contraste entre dichas bandas

⁹ <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird/>

(Chuvieco, 2002). En consecuencia, cuanto mayor sea el contraste entre la banda infrarroja (IR) y roja (R), mayor vigor vegetal presentará la cubierta observada. Bajos valores de contraste indican una vegetación enferma o senescente, hasta llegar a las cubiertas sin vegetación, que ofrecen un contraste muy pequeño (Chuvieco, 2002).

En el principio físico señalado antes, se funda una amplia gama de índices de vegetación, y específicamente el NDVI se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{\rho_{IRC}(x, y) - \rho_R(x, y)}{\rho_{IRC}(x, y) + \rho_R(x, y)}$$

Dónde:

ρ_R : Reflectancia en la banda del rojo.

ρ_{IRC} : Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano.

En el análisis píxel a píxel, los valores del NDVI varían entre -1 y 1. En términos prácticos, se considera que valores sobre 0,1 podrían considerarse como vegetación (Chuvieco, 2002). Sin embargo, este valor es meramente referencial, por cuanto depende directamente a la influencia del suelo de fondo, el cual depende principalmente de la arquitectura del dosel, cobertura vegetal, estado fenológico y estado fitosanitario (Aguilar et al, 2010; Chuvieco, 2002).

En líneas generales, el NDVI se considera un buen estimador de la biomasa, usándose constantemente en la evaluación del contenido de clorofila en la hoja, contenido de humedad en la hoja, productividad neta de la vegetación e índices de área foliar fenología y la cobertura de la vegetación, entre otras (SMA, 2020, Soto et al., 2019; Li et al., 2018; Wilson y Norman, 2018, Meneses-Tovar, 2011, Aguilar et al., 2010, Chuvieco, 2002).

Es así como en estudios de cobertura de la vegetación se han identificado altas correlaciones entre el valor NDVI y el porcentaje de cubierta verde, lo que resulta lógico dado que ambas variables se vinculan a través de los mecanismos típicos de las plantas (Chuvieco, 2002). Esta afirmación es ratificada en el estudio “Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama” (Geobiota, 2021) donde se encontró que la correlación (R^2) entre la cobertura vegetal medida en terreno a través de transectos lineales y los valores NDVI de la serie Landsat N2, alcanzo valores entre los 0,7 y 0,87, lo que evidencia la estrecha relación entre la cobertura vegetal y los valores de NDVI.

4.2.1.6 Segmentación, clasificación y atribución de la vegetación

La construcción del mapa de vegetación correspondiente al periodo abril 2023, contempla en su primera etapa la identificación de unidades de vegetación homogénea (UVH), sobre la imagen satelital. Para estos fines se realiza una segmentación o delimitación de cada UVH (o polígono) mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), cuyo proceso consiste en la identificación de estas unidades a partir de criterios de similitud de colores, tonos y texturas en la imagen y las variaciones del NDVI del periodo de análisis. Posteriormente y en base a la información colectada en terreno, se define la formación, tipo vegetacional y cobertura de las plantas sobre el territorio. Para estos fines, la RCA contempla el monitoreo de 99 unidades

vegetacionales, las que son complementadas con las descripciones realizadas en el marco del monitoreo de zona de conexión vegetación – acuífero¹⁰ (RCA 226/2206), correspondiente a diecinueve [19] puntos de terreno, contabilizando un total de 118 descripciones vegetacionales.

En una segunda etapa, los tipos vegetacionales definidos a partir de las descripciones de terreno son extrapolados a las UVH no cubiertas por el muestreo, utilizando como criterio las similitudes de color, grano y textura entre las unidades identificadas sobre la imagen satelital y aquellas con datos de terreno. Como resultado, se obtiene un mapa de la vegetación a una escala 1:50.000, el cual posee una unidad mínima cartografiable 5 ha, entendiéndose por unidad mínima cartografiable, a la unidad espacial de menor superficie que podrá ser representada e identificada adecuadamente en un mapa.

El mapa de vegetación correspondiente al periodo 2023, es entregado en el Anexo 3 de este informe, en el cual se ilustra la distribución y representatividad de cada una de las formaciones y tipos vegetacionales, desagregados por categoría de cobertura vegetal

4.2.1.6.1 Mosaicos de vegetación

La vegetación en mosaico corresponde a formaciones vegetacionales que se presentan en forma de parches discontinuos y que individualmente pueden cubrir una pequeña superficie. Conforme a la escala de trabajo y la unidad mínima cartografiable definida, estos parches de vegetación no podrían ser representados en el mapa, por lo que, para definir una adecuada representación cartográfica y dar cuenta de la particular condición ecológica en que se desarrollan, fueron integrados en unidades vegetacionales homogéneas de mayor tamaño, las que fueron definidas como mosaicos de vegetación, donde la vegetación se inserta en una matriz de suelo desnudo (Figura 4-3).

Figura 4-3. Vegetación en mosaico y su representación cartográfica. Ejemplo de pradera de *Distichlis spicata*



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

¹⁰ Sección 5.2. del presente informe.

4.2.1.7 Materiales y equipos utilizados

Para el registro de la información en terreno, se utilizaron formularios digitales cargados en una Tablet, o celulares de terrero y GPS Garmin modelo MAP62.

Tal como lo establece la RCA 226/2006, para la elaboración de la cartografía se utilizó una imagen de alta resolución, la cual fue capturada para el monitoreo actual por el satélite Geoeye-1 el 21 de abril 2023.

En la siguiente Tabla se resumen los materiales y equipos utilizados.

Tabla 4-8. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
Monitoreo de la vegetación	GPS ETREX Tablet Celular con aplicación TimeStamp Camera Imágenes satelitales de alta resolución capturada por el satélite Geoeye 1 el 21 de abril de 2023

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.1.8 Fechas de muestreo

El muestreo de la vegetación en los 99 puntos de monitoreo en el Borde Este del Salar de Atacama acorde a lo establecido en la RCA 226/2006 se realiza en el mes de abril de cada año. Por otra parte, y de acuerdo con la Acción 14¹¹ detallada en el Plan de Cumplimiento asociado al proceso sancionatorio, aprobado mediante Resolución N° 38/ROL F-041-2016 del 29 de agosto de 2022 por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), se aumenta la frecuencia de monitoreo de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales y validación en terreno (en los 99 puntos de monitoreo definidos para el Borde Este del Salar) a una frecuencia trimestral cuyos resultados son presentados en este informe. Por tanto y de acuerdo con lo anterior, en la siguiente Tabla 4-9. se detallan las fechas en las cuales se realizaron en terreno el muestreo de la vegetación.

¹¹ Aumentar la frecuencia de monitoreo de la cobertura vegetal de la cuenca del Salar de Atacama mediante imágenes satelitales de alta resolución.

Tabla 4-9. Fechas de muestreo vegetación

subcomponente	Sector	Fecha de muestreo
Vegetación	Borde Este – primer trimestre	17 al 23 de enero de 2023
	Borde Este – segundo trimestre	02 al 05 de abril de 2023 10 al 19 de abril de 2023
	Borde Este – tercer trimestre	04 de julio de 2023 19 al 24 de julio de 2023 05 de agosto de 2023
	Borde Este – cuarto trimestre	03 al 10 de octubre de 2023

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Los permisos de acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos sector Soncor y Aguas de Quelana, se adjuntan en Anexo 2 y los profesionales responsables y participantes del monitoreo son indicados en el Anexo 1.

4.2.2 Monitoreo de la vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero

4.2.2.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

El monitoreo anual de la vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero, contempla la caracterización del sector donde se presume la conexión entre las raíces de las plantas y la napa de agua subterránea de la formación arbustiva de *Tessaria absinthioides* - *Atriplex atacamensis*, a través del levantamiento de 19 puntos de monitoreo fijos en el tiempo, los que fueron establecidos en la campaña pre-operacional del Proyecto, efectuada en abril de 2006. En la Tabla 4-10 se presentan las coordenadas de estos puntos y la distribución de ellos se ilustra en la Figura 4-4.

Tabla 4-10 Ubicación de los puntos de monitoreo de vegetación en la zona de conexión (Datum WGS84, 19 S)

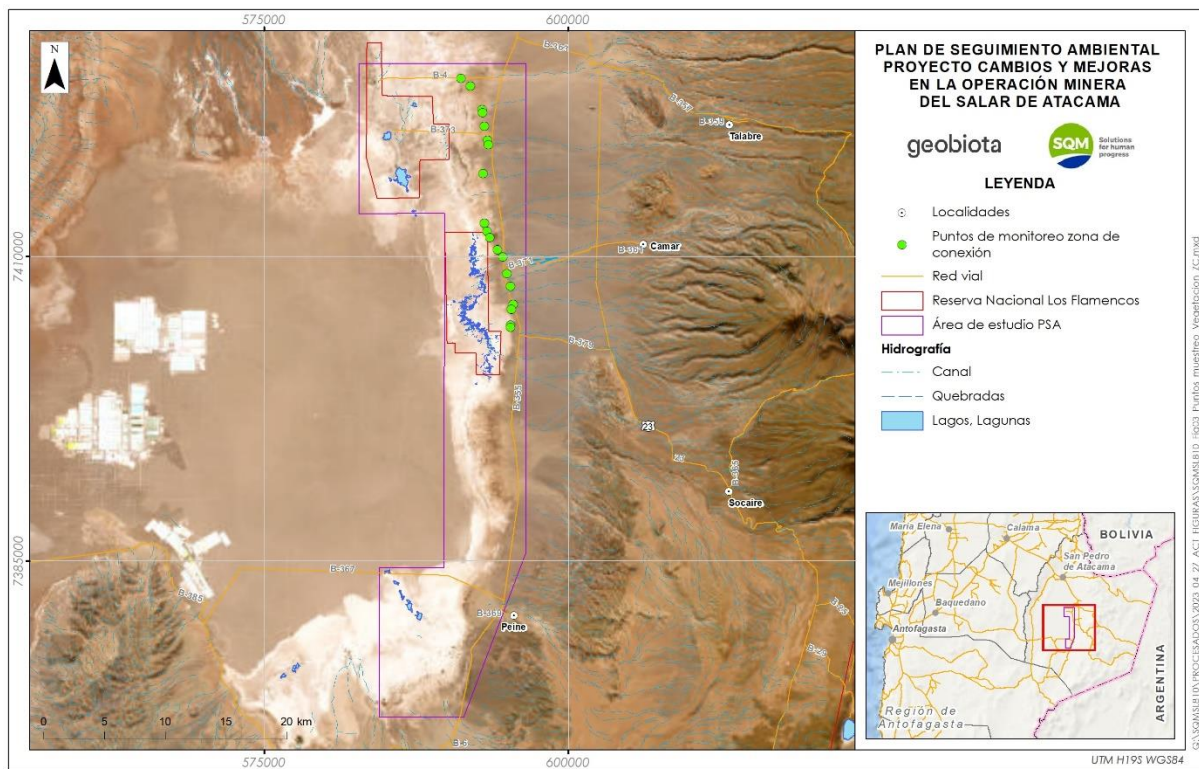
Parcela	Coordenadas UTM		Parcela	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte
VA-01	591.179	7.424.641	VA-11	593.540	7.411.577
VA-02	591.956	7.423.997	VA-12	594.171	7.410.567
VA-03	592.911	7.422.070	VA-13	594.613	7.409.968
VA-04	592.942	7.421.834	VA-14	594.974	7.408.612
VA-05	593.100	7.420.694	VA-15	595.268	7.407.541
VA-06	593.347	7.419.542	VA-16	595.477	7.406.063
VA-07	593.455	7.419.201	VA-17	595.328	7.405.678

Tabla 4-10 Ubicación de los puntos de monitoreo de vegetación en la zona de conexión (Datum WGS84, 19 S)

Parcela	Coordenadas UTM		Parcela	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte
VA-08	592.981	7.416.814	VA-18	595.259	7.404.365
VA-09	593.098	7.412.731	VA-19	595.253	7.404.179
VA-10	593.316	7.412.085	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-4. Ubicación de puntos de monitoreo de vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.2.2 Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

Las mediciones para caracterizar el estado y evolución de las variables han sido establecidas de acuerdo con lo autorizado en la RCA226/2006 (Considerando 10.3.2.2), en las que se incluyen las especies dominantes, cobertura vegetal, porcentaje de copa verde y el estado vital de la vegetación. De forma complementaria a las exigencias de la RCA, se agrega la fenología a las variables a medir.

4.2.2.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

El método empleado para la caracterización de la zona de conexión vegetación – acuífero corresponde a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), el que corresponde a un método cartográfico que permite caracterizar la vegetación presente en un área determinada, estimando las formaciones vegetales, tipos vegetacionales y su cobertura. Adicionalmente, el monitoreo incluye la determinación de las especies dominantes dentro de cada UVH, para ello se consideró como dominante a las especies que cuenten con una cobertura igual o superior al 5% dentro de la unidad y como acompañantes a las especies de cobertura inferior a este porcentaje. El monitoreo incluye también, la descripción del estado vital, copa viva (%) y fenología de las especies dominantes de cada UVH.

Los rangos de cobertura utilizados en las descripciones vegetacionales se detallan en la Tabla 4-11 a continuación.

Tabla 4-11. Rangos de cobertura utilizados en las descripciones vegetacionales

Coberturas	Rangos de cobertura (%)	Código
Densa	75-100	6
Semidensa	50-75	5
Abierta	25-50	4
Muy abierta	10-25	3
Rala	5-10	2
Muy rala	<5	1

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a Etienne y Prado, 1982

Las categorías y criterios para la evaluación del estado vital de las plantas en cada punto de muestreo se indican en la Tabla 4-12, siguiendo lo indicado en la RCA del Proyecto.

Tabla 4-12. Criterios utilizados para clasificar estado vital de las plantas.

Código	Categoría	Descripción
0	Seco	No presenta follaje verde ni estructuras reproductivas de ningún tipo.
1	Muy débil	Presenta escaso follaje verde, sin producción de frutos. Se observa signos de ataque de patógenos.
2	Débil	Aun cuando presenta follaje verde puede observarse signos leves de ataques de patógenos. No obstante, es capaz de producir algunos frutos.
3	Normal	Presenta gran parte de su follaje verde y producción de frutos. Sin signos de patógenos
4	Excepcionalmente vigoroso	Presentan abundancia de follaje y estructuras reproductivas.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a considerando 10.3.2.2 RCA 226/2006

Las categorías de porcentaje de copa vivan utilizadas se indican a continuación:

Tabla 4-13. Escalas utilizadas para clasificar el porcentaje de copa viva de las plantas.

Código	Porcentaje de copa viva
0	0%
1	<5%
2	5-25%
3	25-50%
4	50-75%
5	75-100%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a considerando 10.3.2.2 RCA 226/2006

En forma complementaria a lo establecido en la RCA del Proyecto, se consideró el registro del estado fenológico de las especies que constituyen la formación, de acuerdo con las categorías que se presentan en la Tabla 4-7.

Tabla 4-14. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.

Código	Estado fenológico
1	Senescente
2	Crecimiento vegetativo
3	Floración
4	Fructificación

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a Etienne y Prado, 1982

4.2.2.4 Materiales y equipos

Para el registro de la información en terreno, se utilizaron formularios digitales cargados en una Tablet, celulares de terrero y GPS Garmin modelo MAP62.

En la siguiente Tabla se resumen los materiales y equipos utilizados

Tabla 4-15. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
Monitoreo de la vegetación	GPS Garmin modelo MAP62 Tablet Celular con aplicación TimeStamp Camera

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.2.5 Fecha de muestreo de cada parámetro

Para el seguimiento de la vegetación en la zona de conexión, se realizan dos mediciones al año en la época de crecimiento de las plantas (considerando 10.3.2.2 de la RCA 226/2006), para lo cual se consideró en el periodo 2023 la visita a terreno en; enero y abril. El detalle de las fechas de terreno son las siguientes:

Tabla 4-16. Fechas de monitoreo de la vegetación.

Componente	Sector	Fecha de muestreo
Vegetación	Zona de conexión vegetación-acuífero (enero)	10 al 14 de enero de 2023
	Zona de conexión vegetación-acuífero (abril)	11 al 18 de abril de 2023

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Los profesionales responsables y participantes del monitoreo son indicados en el Anexo 1.

4.2.3 Monitoreo de flora vascular

4.2.3.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

El monitoreo de flora se realiza mediante un conjunto de siete transectos orientados en sentido Este-Oeste, en los que se dispone un total de 75 puntos de muestreo fijos en el tiempo, ubicados sistemáticamente cada 300 m. La ubicación de los puntos de muestreo fue definida en la RCA 226/2006, la cual se especifica en la Tabla 4-17.

Tabla 4-17. Ubicación de los puntos de monitoreo de flora (Datum WGS84 19S).¹²

Punto ¹³	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
TF-1-01	593.950	7.424.205	TF-2-07	592.388	7.418.785	TF-4-08	593.973	7.407.801
TF-1-02	593.660	7.424.201	TF-2-08	592.088	7.418.785	TF-4-FIN	593.673	7.407.801
TF-1-03	593.358	7.424.201	TF-2-09	591.788	7.418.784	TF-5-01	595.468	7.396.646
TF-1-04	593.058	7.424.201	TF-2-10	591.488	7.418.784	TF-5-02	595.168	7.396.645
TF-1-05	592.758	7.424.201	TF-2-11	591.188	7.418.784	TF-5-03	594.868	7.396.645
TF-1-06	592.458	7.424.201	TF-2-12	590.888	7.418.784	TF-5-04	594.568	7.396.645
TF-1-07	592.158	7.424.201	TF-2-13	590.588	7.418.784	TF-5-05	594.268	7.396.645
TF-1-08	591.858	7.424.201	TF-2-FIN	590.447	7.418.766	TF-5-06	593.968	7.396.645

¹² Las coordenadas de la tabla corresponden a una conversión de PSAD56 a WGS84 de los puntos señalados en la Tabla 14 de la RCA N° 226/2006, al objeto de dar cumplimiento con los estándares establecidos en los informes de Seguimiento ambiental según la Res. Ex. N° 223/2015 SMA, que dicta instrucciones sobre la elaboración del plan de seguimiento de variables ambientales, los informes de seguimiento ambiental y la remisión de información al sistema electrónico de seguimiento ambiental.

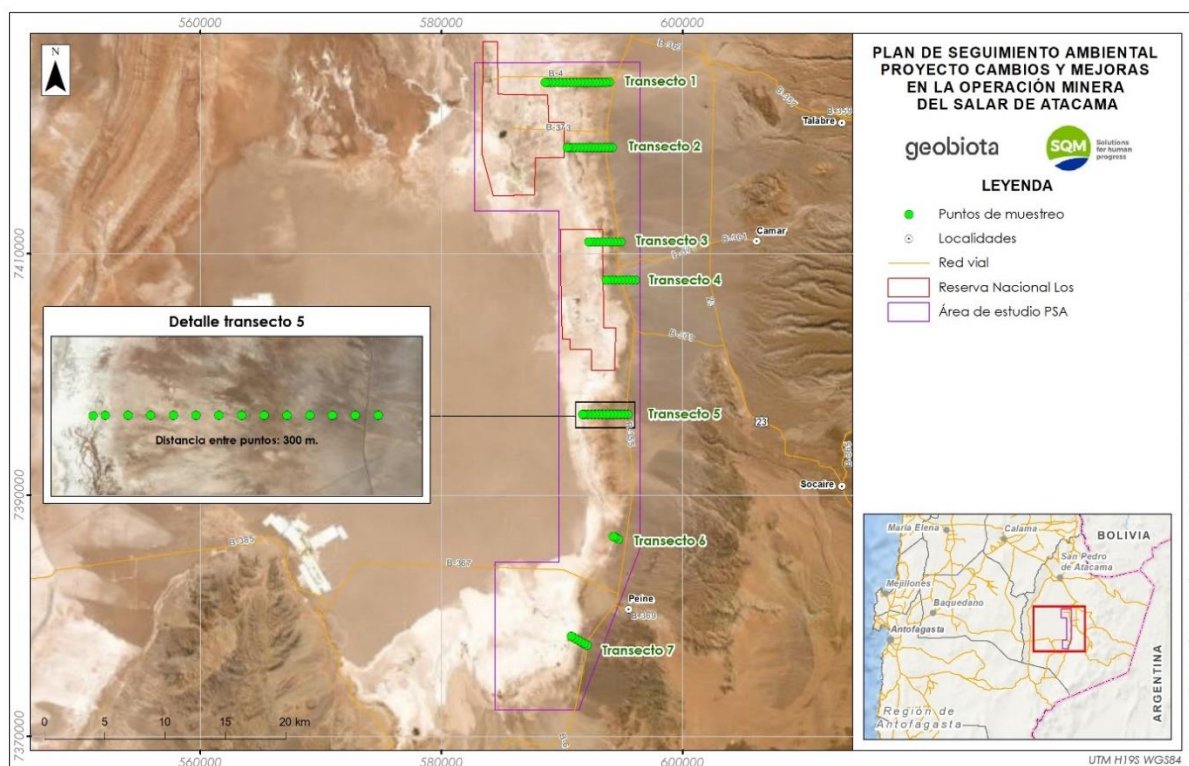
¹³ TF-X-XX, donde TF-X: N° de transecto y XX: N° de punto de muestreo.

Tabla 4-17. Ubicación de los puntos de monitoreo de flora (Datum WGS84 19S).12

Punto ¹³	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
TF-1-09	591.558	7.424.201	TF-3-01	594.879	7.410.951	TF-5-07	593.668	7.396.644
TF-1-10	591.258	7.424.200	TF-3-02	594.579	7.410.951	TF-5-08	593.367	7.396.644
TF-1-11	590.958	7.424.200	TF-3-03	594.279	7.410.951	TF-5-09	593.067	7.396.644
TF-1-12	590.658	7.424.200	TF-3-04	593.979	7.410.951	TF-5-10	592.767	7.396.644
TF-1-13	590.358	7.424.200	TF-3-05	593.679	7.410.951	TF-5-11	592.467	7.396.644
TF-1-14	590.058	7.424.200	TF-3-06	593.379	7.410.951	TF-5-12	592.167	7.396.644
TF-1-15	589.758	7.424.200	TF-3-07	593.079	7.410.951	TF-5-13	591.867	7.396.644
TF-1-16	589.458	7.424.200	TF-3-08	592.779	7.410.950	TF-5-FIN	591.707	7.396.639
TF-1-17	589.158	7.424.199	TF-3-09	592.479	7.410.950	TF-6-01	594.689	7.386.303
TF-1-18	588.858	7.424.199	TF-3-FIN	592.235	7.410.963	TF-6-02	594.429	7.386.453
TF-1-FIN	588.617	7.424.200	TF-4-01	596.073	7.407.802	TF-6-FIN	594.283	7.386.540
TF-2-01	594.188	7.418.785	TF-4-02	595.773	7.407.802	TF-7-01	592.086	7.377.526
TF-2-02	593.888	7.418.785	TF-4-03	595.473	7.407.802	TF-7-02	591.826	7.377.676
TF-2-03	593.588	7.418.785	TF-4-04	595.173	7.407.801	TF-7-03	591.566	7.377.826
TF-2-04	593.288	7.418.785	TF-4-05	594.873	7.407.801	TF-7-04	591.306	7.377.975
TF-2-05	592.988	7.418.785	TF-4-06	594.573	7.407.801	TF-7-05	591.046	7.378.125
TF-2-06	592.688	7.418.785	TF-4-07	594.273	7.407.801	TF-7-FIN	590.786	7.378.275

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-5. Ubicación de los transectos de Flora en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.3.2 Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

Para la caracterización del estado y evolución de la flora, en la RCA 226/2006 se estableció el registro de la riqueza florística y la medición de la frecuencia de especies presentes (abundancia). Además, de la caracterización del sustrato donde la flora se desarrolla, a través de una descripción del suelo y mediciones de salinidad y pH.

4.2.3.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

El monitoreo de flora considera en cada punto de muestreo, el registro de las especies de flora vascular y su cobertura, de acuerdo con la escala de abundancia-dominancia de Braun-Blanquet (1979). Esto permite construir el catálogo de riqueza florística del sector, determinar la frecuencia de taxa y evaluar su variación en el tiempo. Por otra parte, en cada punto de muestreo también se extrae una muestra de suelo para efectuar análisis de pH y conductividad eléctrica, permitiendo evaluar el sustrato en el cual se desarrollan las plantas. Cada punto de muestreo corresponde a un conglomerado compuesto por cinco parcelas de 4 m², determinando un total de 375 parcelas. Las parcelas se encuentran separadas entre sí por una distancia de 10 m y dispuestas en forma de "X".

Adicionalmente, se registran las especies vegetales observadas fuera del área de muestreo, con el objetivo de conformar un catálogo florístico para toda el área de estudio, tal como lo establece la RCA 226/2006. Las

taxa que no son identificadas a nivel de especie en terreno son colectadas, prensadas y herborizadas para su identificación en gabinete. La determinación taxonómica de las colectas se realiza en base a bibliografía especializada por la especialista botánica Sra. María Teresa Serra V.

La nomenclatura taxonómica utilizada para la denominación de los taxa registrados, al igual que la caracterización por origen geográfico, hábito de crecimiento y distribución en Chile continental, siguen el “Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur” (Zuloaga *et al.*, 2008) en su versión en línea (<http://www.darwin.edu.ar/>) y el “Catálogo de las plantas vasculares de Chile” (Rodríguez *et al.*, 2018).

Por otra parte, la caracterización del sustrato, a su vez, está asociada a puntos de muestreo en la parcela central. Se realizó la extracción de muestras de suelo por parte de la empresa SGS y la empresa Algoritmos SpA, ambas autorizadas como Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) para la toma de muestras de suelo¹⁴. En Anexo 8, se entregan las Resoluciones correspondientes de ambas Entidades.

Las muestras de suelo colectadas en terreno fueron almacenadas en bolsas plásticas herméticas y debidamente rotuladas, para luego ser enviadas para su análisis a laboratorio. En el caso de las muestras tomadas por la empresa SGS, las muestras fueron enviadas al laboratorio SGS Santiago. Para el caso de las muestras tomadas por Algoritmos SA., las muestras fueron derivadas para su análisis al laboratorio de Life Sciences Chile¹⁵.

De manera complementaria, también se enviaron las muestras al Laboratorio de Servicios de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile (Agroanálisis UC). Este Laboratorio utiliza los métodos expuestos en el documento técnico “Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile”, publicado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en el año 2006 y preparado por la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Es importante señalar que, el Laboratorio Agroanálisis UC corresponde a la entidad que ha ejecutado el análisis de pH y la conductividad eléctrica del suelo desde el año 2012, y se ha optado por mantener este laboratorio, para dar continuidad al análisis histórico de la variable, permitiendo mantener la trazabilidad histórica del monitoreo.

4.2.3.4 Materiales y equipos utilizados

Para el registro de la información en terreno, se utilizaron formularios digitales cargados en una Tablet, cámaras fotográficas o celulares de terrero y GPS Garmin modelo MAP62.

Para la extracción de las muestras de suelo se utilizó, pala de plástico, flexómetro, guantes de látex, bolsas con cierre hermético para almacenar la muestra en una caja de plumavit aislapol y etiquetas para la rotulación de las muestras.

En la siguiente Tabla se resumen los materiales y equipos utilizados

14 Empresa SGS Código ETFA 023-02, y empresa Algoritmos SpA código ETFA 015-01

15 Código ETFA 029-03.

Tabla 4-18. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
Flora	GPS Garmin modelo MAP62 Tablet Celular con aplicación TimeStamp Camera
Suelo	Pala Flexómetro Bolsas con cierre hermético Caja de plumavit aislapol Etiquetas para rotulación

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.3.5 Fechas de muestreo de cada parámetro

El muestreo de la flora y suelo se llevó a cabo en las siguientes fechas:

Tabla 4-19. Fechas de muestreo Flora

Componente	Sector	Fechas de muestreo
Flora	Borde Este	11 al 18 de abril de 2023
Suelo	Borde Este	11 al 13 de abril de 2023 24 de abril de 2023

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Los profesionales responsables y participantes del monitoreo son indicados en el Anexo 1.

4.2.4 Monitoreo de algarrobos

De acuerdo con lo establecido en el Considerando 10.3.2.2 de la RCA 226/2006, el PSAB considera realizar el seguimiento a una población de individuos de algarrobos que se emplaza entorno al pozo ex pozo de extracción de agua Camar-2¹⁶ (actualmente fuera de operación y desmantelado) los cuales corresponden a 71 individuos censados en la etapa pre-operacional (2006) y que han sido identificados como Serie A (Figura 4-6).

Cabe destacar que recientemente, las especies nativas y endémicas del género *Prosopis* en Chile han modificado su nomenclatura tradicional propuesta por Burkart (1976) siendo reemplazados por los géneros *Neltuma* y *Strombocarpa*, según estudios actuales de Hughes *et al.* (2002), que justifican la desintegración del género *Prosopis* L. En este sentido, las nuevas evidencias filogenéticas han demostrado que el antiguo género *Prosopis* presenta un origen polifilético con tres linajes separados, cada uno con afinidades de géneros de las Leguminosae mimosoideas. La proposición original de *Prosopis* realizada por Burkart (1976) ya

¹⁶ El pozo Camar-2 se encuentra desmantelado. Por lo tanto, actualmente no está en funcionamiento y se considera solo como un punto de referencia y de observación.

distinguía secciones que reunían especies de distintos orígenes y antigüedad, destacando, para la flora de Chile, las secciones Algarobia y Strombocarpa. La primera de ellas es representada por los algarrobos que actualmente integran el género *Neltuma*, y la segunda, es representada por el tamarugo y otras afines que actualmente integran el género *Strombocarpa* (Hughes *et al.*, 2022). Los tres linajes descritos corresponden en gran medida a los enunciados por Burkart (1976) como secciones y series y no modifican la información acerca de sus atributos biológicos, origen y distribución geográfica, descripción morfológica o anatómica, ecología ni estado de conservación (RCE, CITES). Si bien, la nomenclatura del género *Prosopis*¹⁷ aún se mantiene en las leyes, decretos y resoluciones que regulan a las especies que lo componen, ya se ha reconocido la denominación de *Neltuma alba* (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis en las principales bases de datos botánicas, tanto nacionales como internacionales (Instituto de Botánica Darwinion Flora del Cono Sur¹⁸, Catálogo de Plantas nativas del Herbario de la Universidad de Concepción¹⁹, International Plant Names Index (IPNI)²⁰). Por lo anteriormente expuesto, en adelante, las especies de algarrobos, tamarugo y afines serán nombradas de acuerdo con la nueva nomenclatura propuesta por Hughes *et al.* (2022) expuesta en la Tabla 4-20.

Tabla 4-20 Actualización en la nomenclatura del género *Prosopis*

Rodríguez <i>et al.</i> 2018	Hughes <i>et al.</i> 2022
<i>Prosopis alba</i> Griseb.	<i>Neltuma alba</i> (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis var. <i>alba</i>
<i>Prosopis burkartii</i> Muñoz	<i>Strombocarpa burkartii</i> (Muñoz) C.E. Hughes & G.P. Lewis
<i>Prosopis chilensis</i> (Mol.) Stuntz. Emend. Burkart	<i>Neltuma chilensis</i> (Mol.) C.E. Hughes & G.P. Lewis var. <i>chilensis</i>
<i>Prosopis flexuosa</i> DC var. <i>flexuosa</i>	<i>Neltuma flexuosa</i> (DC) C.E. Hughes & G.P. Lewis var. <i>flexuosa</i>
<i>Prosopis flexuosa</i> DC var. <i>fruticosa</i>	<i>Neltuma flexuosa</i> (DC) C.E. Hughes & G.P. Lewis var. <i>fruticosa</i> (Meyen) C.E. Hughes & G.P. Lewis
<i>Prosopis strombulifera</i> (Lam.) Benth.	<i>Strombocarpa strombulifera</i> (Lam.) A. Gray
<i>Prosopis tamarugo</i> Phil.	<i>Strombocarpa tamarugo</i> (Phil.) C.E. Hughes & G.P. Lewis

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

¹⁷ Nomenclatura vigente aún en el Catálogo de Plantas Vasculares de Chile (Rodríguez, R., C. Marticorena, D. Alarcón, C. Baeza, L. Cavieres, V.L. Finot, N. Fuentes, A. Kiessling, M. Mihoc, A. Pauchard, E. Ruiz, P. Sanchez & A. Marticorena. 2018.) y en la página de clasificación de especies del Ministerio del Medio Ambiente https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/10/Prosopis_alba.pdf

¹⁸ Recientemente actualizado en la página web del Instituto de Botánica Darwinion <http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=alba&genero=Neltuma&espcod=200674>

¹⁹ <http://catalogoplantas.udec.cl/?q=catalogo&combine=neltuma+alba>

²⁰ IPNI (2023). International Plant Names Index. Published on the Internet <http://www.ipni.org>, The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Herbarium. [Retrieved 25 July 2023]. <https://www.ipni.org/n/77303585-1>

4.2.4.1 Ubicación de los ejemplares de monitoreo

4.2.4.1.1 Ejemplares de algarrobo objeto de seguimiento

El monitoreo de algarrobos (*Prosopis alba*²¹) se realiza sobre 71 ejemplares fijos en el tiempo, y que corresponden a los presentados en la Figura I.5.3 y el Anexo V.IV, de la Adenda III del EIA del proyecto “Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama”. Para efectos del monitoreo, cada ejemplar ha sido rotulado con un código identificador (Serie A-XX), los que se indican en la Tabla 4-21, mientras que su distribución espacial en el área se presenta en la Figura 4-6.

Tabla 4-21. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 19S)

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-01	598.100	7.409.909	A-25	597.655	7.409.919	A-49	598.579	7.409.683
A-02	598.065	7.409.914	A-26	597.665	7.409.923	A-50	598.543	7.409.660
A-03	598.032	7.409.929	A-27	597.679	7.409.918	A-51	598.491	7.409.653
A-04	598.066	7.409.720	A-28	597.683	7.409.912	A-52	598.483	7.409.654
A-05	598.004	7.409.777	A-29	597.747	7.409.936	A-53	598.414	7.409.660
A-06	597.867	7.409.701	A-30	597.788	7.409.952	A-54	598.419	7.409.645
A-07	597.031	7.409.692	A-31	597.792	7.409.953	A-55	598.388	7.409.586
A-08	597.052	7.409.693	A-32	598.738	7.409.919	A-56	598.359	7.409.612
A-09	597.055	7.409.705	A-33	598.759	7.409.902	A-57	598.341	7.409.607
A-10	597.087	7.409.700	A-34	598.819	7.409.920	A-58	598.407	7.409.807
A-11	597.201	7.409.691	A-35	598.848	7.409.926	A-59	597.880	7.409.705
A-12	597.223	7.409.975	A-36	598.732	7.409.766	A-60	597.318	7.409.687
A-13	597.288	7.409.962	A-37	598.698	7.409.766	A-61	597.595	7.409.927
A-14	597.286	7.409.993	A-38	598.677	7.409.695	A-62	597.697	7.409.914
A-15	597.260	7.409.999	A-39	598.670	7.409.699	A-63	597.715	7.409.919
A-16	597.582	7.409.925	A-40	598.574	7.409.693	A-64	597.703	7.409.910
A-17	597.603	7.409.916	A-41	598.469	7.409.677	A-65	597.718	7.409.904
A-18	597.621	7.409.920	A-42	598.403	7.409.674	A-66	597.731	7.409.907
A-19	597.621	7.409.913	A-43	598.432	7.409.734	A-67	597.746	7.409.922

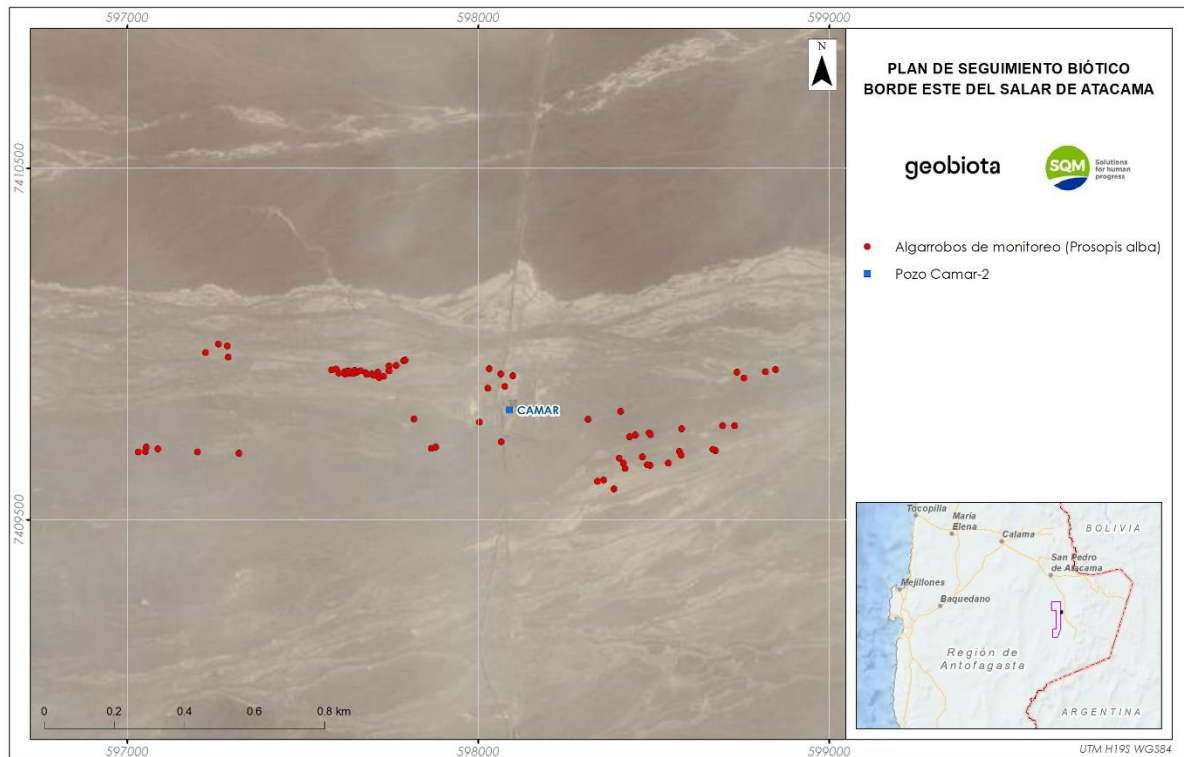
²¹ El “Análisis taxonómico de muestras de ejemplares de *Prosopis sp.*, sector quebrada Camar, provincia de El Loa, Región de Antofagasta” (2018), estableció que los ejemplares de *Prosopis* ubicados en el lecho aluvional del piedemonte de la quebrada Camar corresponden en su totalidad a *Prosopis alba*. Esta especie está actualmente clasificada como Preocupación Menor (LC), según el D.S. N° 13/2013 del MMA. En el EIA Cambios y mejoras esta especie se había identificado como *Prosopis flexuosa*, especie clasificada como Vulnerable (VU), según el D.S. N° 13/2013 MMA.

Tabla 4-21. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 19S)

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-20	597.627	7.409.921	A-44	598.449	7.409.740	A-68	597.767	7.409.938
A-21	597.632	7.409.915	A-45	598.488	7.409.746	A-69	598.076	7.409.878
A-22	597.634	7.409.921	A-46	598.492	7.409.741	A-70	598.028	7.409.873
A-23	597.645	7.409.915	A-47	598.581	7.409.758	A-71	597.817	7.409.786
A-24	597.649	7.409.924	A-48	598.314	7.409.784	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-6. Distribución de los individuos de Algarrobo monitoreados.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.4.1.2 Ejemplares de algarrobo con mediciones del estado fisiológico

De acuerdo con lo indicado en la Acción 23 detallada en el Plan de Cumplimiento (en adelante PdC) aprobado mediante Resolución N° 38/ROL F-041-2016 del 29 de agosto de 2022 por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), se incluirá en los informes anuales de seguimiento, mediciones del potencial hídrico y conductancia estomática. En este contexto, se realizan mediciones para determinar los parámetros de interés

en un grupo de 18 individuos de la Serie A que corresponde a la población objetivo. También se considera un grupo de nueve [9] ejemplares de otras Series que también son monitoreadas de manera mensual en el contexto de la Acción 24²² del PdC (Estudio “Análisis Vitalidad de Algarrobos Series A, B, C y D”). Cabe destacar que, los individuos monitoreados, están distribuidos aguas arriba y aguas abajo la tubería de agua superficial, y algunos individuos cuentan con un sistema de riego implementado en razón a la Acción 28²³ del PdC. En la siguiente Tabla 4-21 se indican los individuos de Algarrobos en los cuales se determina su estado fisiológico y en la Figura 4-7 se visualiza su distribución espacial.

Tabla 4-22. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 19S)

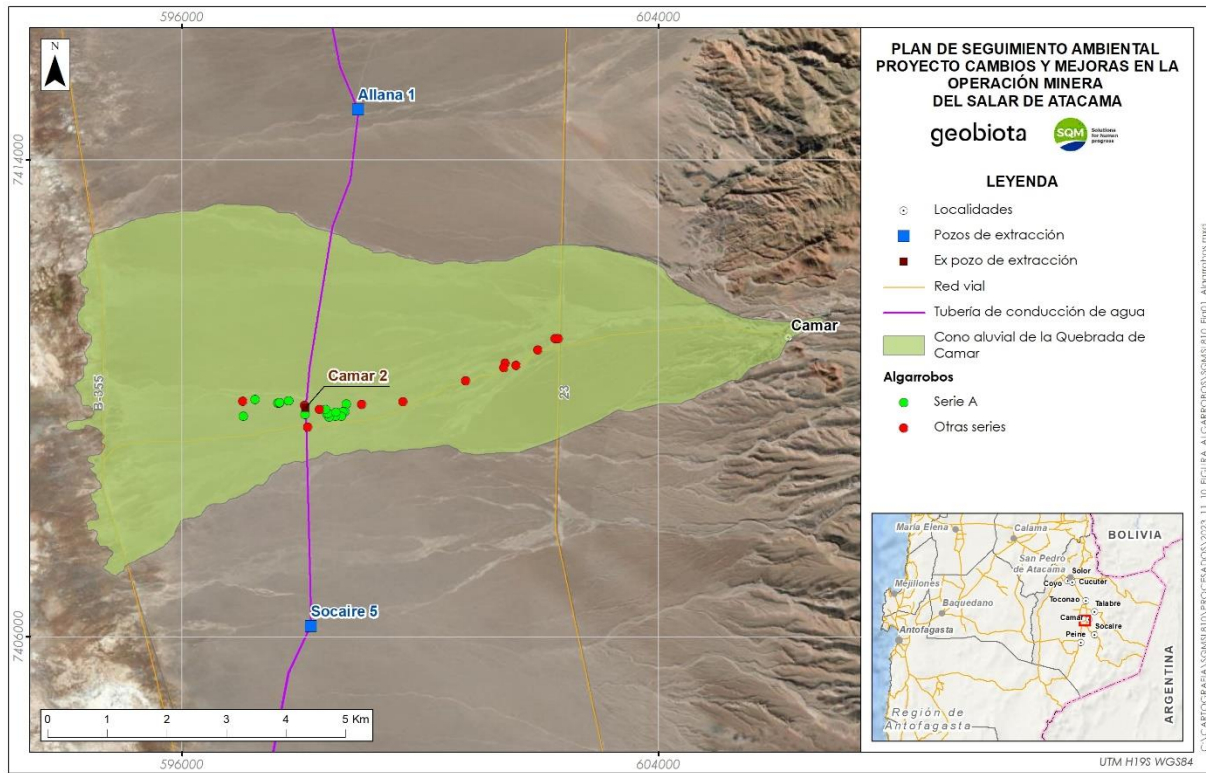
Punto	Coordenadas UTM		Sistema de riego	Punto	Coordenadas UTM		Sistema de riego
	Este	Norte			Este	Norte	
A-04	598.066	7.409.720	Si	A-47	598.581	7.409.758	Si
A-07	597.031	7.409.692	Si	A-58	598.407	7.409.807	Si
A-12	597.223	7.409.975	Si	B-02	599.016	7.409.889	No
A-17	597.603	7.409.916	Si	B-03	599.710	7.409.937	No
A-21	597.632	7.409.915	Si	B-04	600.761	7.410.288	No
A-22	597.634	7.409.921	Si	B-09	601.420	7.410.585	No
A-30	597.788	7.409.952	Si	B-10	601.403	7.410.509	No
A-31	597.792	7.409.953	Si	B-11	601.603	7.410.548	No
A-33	598.759	7.409.902	Si	B-17	601.972	7.410.806	No
A-36	598.732	7.409.766	Si	B-20	602.261	7.410.998	No
A-37	598.698	7.409.766	Si	B-21	602.313	7.410.998	No
A-38	598.677	7.409.695	Si	C-58	598.113	7.409.516	No
A-40	598.574	7.409.693	Si	D-28	598.055	7.409.453	No
A-41	598.469	7.409.677	Si	AX-01	598.305	7.409.804	Si
A-43	598.432	7.409.734	Si	AX-02	597.020	7.409.942	No
A-44	598.449	7.409.740	Si	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

²² Implementar programa de seguimiento de flora y vegetación de la quebrada Camar.

²³ Implementar programa de riego de los algarrobos que forman parte del monitoreo comprometido en la RCA 226/2006.

Figura 4-7. Distribución de los individuos de Algarrobo con mediciones de potencial hídrico y conductancia estomática



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.4.1.3 Ejemplares de algarrobo con estimación de biomasa.

De acuerdo con lo indicado en la Acción 23 detallada en el PdC aprobado mediante Resolución N° 38/ROL F-041-2016 del 29 de agosto de 2022 por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), se incluirá en los informes anuales de seguimiento la estimación de la biomasa de los ejemplares que son monitoreados, para lo cual se han considerado todos los individuos distribuidos en el cono aluvial de la Quebrada de Camar y que son identificados como Serie B, C y D, además de la Serie A que es parte de la población objetivo del seguimiento. Cabe destacar que, las Series B, C y D son monitoreadas de manera mensual en el contexto de la Acción 24 del PdC (Estudio “Análisis Vitalidad de Algarrobos Series A, B, C y D”). En la siguiente Tabla 4-23 se identifican los individuos y sus coordenadas de ubicación (coordenadas UTM, WGS84 19S), además su distribución espacial se presenta en la Figura 4-7.

Tabla 4-23 Ubicación de los individuos de N. alba monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-04	598.066	7.409.720	B-17	601.972	7.410.806	D-76	598.502	7.409.655
A-05	598.004	7.409.777	B-18	602.174	7.410.934	B-15	601.710	7.410.672
A-06	597.867	7.409.701	B-20	602.261	7.410.998	C-49	598.198	7.409.523

Tabla 4-23 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-07	597.031	7.409.692	B-21	602.313	7.410.998	C-50	598.152	7.409.549
A-08	597.052	7.409.693	C-01	598.556	7.409.676	C-51	598.156	7.409.544
A-09	597.055	7.409.705	C-02	598.553	7.409.678	C-54	598.131	7.409.519
A-10	597.087	7.409.700	C-03	598.559	7.409.682	C-55	598.132	7.409.523
A-11	597.201	7.409.691	C-05	598.561	7.409.683	C-56	598.131	7.409.521
A-12	597.223	7.409.975	C-06	598.567	7.409.681	C-58	598.113	7.409.516
A-13	597.288	7.409.962	C-07	598.568	7.409.678	C-59	598.111	7.409.506
A-14	597.286	7.409.993	C-08	598.570	7.409.679	C-60	598.095	7.409.505
A-17	597.603	7.409.916	C-09	598.577	7.409.681	C-66	598.557	7.409.716
A-19	597.621	7.409.913	C-10	598.588	7.409.673	C-67	598.563	7.409.715
A-21	597.632	7.409.915	C-13A	598.593	7.409.689	C-69	598.602	7.409.731
A-22	597.634	7.409.921	C-13B	598.586	7.409.688	C-70	598.609	7.409.736
A-23	597.645	7.409.915	C-14	598.602	7.409.693	C-71	598.602	7.409.691
A-25	597.655	7.409.919	C-15	598.603	7.409.693	C-74	598.105	7.409.725
A-26	597.665	7.409.923	C-16	598.618	7.409.703	C-75	598.098	7.409.481
A-27	597.679	7.409.918	C-17	598.623	7.409.690	C-76	598.109	7.409.481
A-28	597.683	7.409.912	C-18	598.624	7.409.692	C-77	598.102	7.409.492
A-29	597.747	7.409.936	C-19	598.630	7.409.704	C-78	598.469	7.409.488
A-30	597.788	7.409.952	C-21	598.557	7.409.718	C-79	598.469	7.409.679
A-31	597.792	7.409.953	C-22	598.560	7.409.720	D-01	599.662	7.409.679
A-33	598.759	7.409.902	C-23	598.595	7.409.728	D-02	599.297	7.409.953
A-34	598.819	7.409.920	C-24	598.595	7.409.721	D-03	599.294	7.409.919
A-35	598.848	7.409.926	C-25	598.599	7.409.719	D-04	599.278	7.409.926
A-36	598.732	7.409.766	C-26	598.606	7.409.726	D-05	599.277	7.409.953
A-37	598.698	7.409.766	C-28	598.614	7.409.713	D-06	599.282	7.409.966
A-38	598.677	7.409.695	C-29	598.625	7.409.722	D-07	599.227	7.410.001
A-39	598.670	7.409.699	C-31	598.097	7.409.466	D-08	599.204	7.410.004
A-40	598.574	7.409.693	C-33	598.113	7.409.480	D-09	599.070	7.409.970
A-41	598.469	7.409.677	C-34	598.117	7.409.483	D-11	598.693	7.409.609
A-42	598.403	7.409.674	C-36	598.121	7.409.469	D-12	598.710	7.409.626

Tabla 4-23 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).

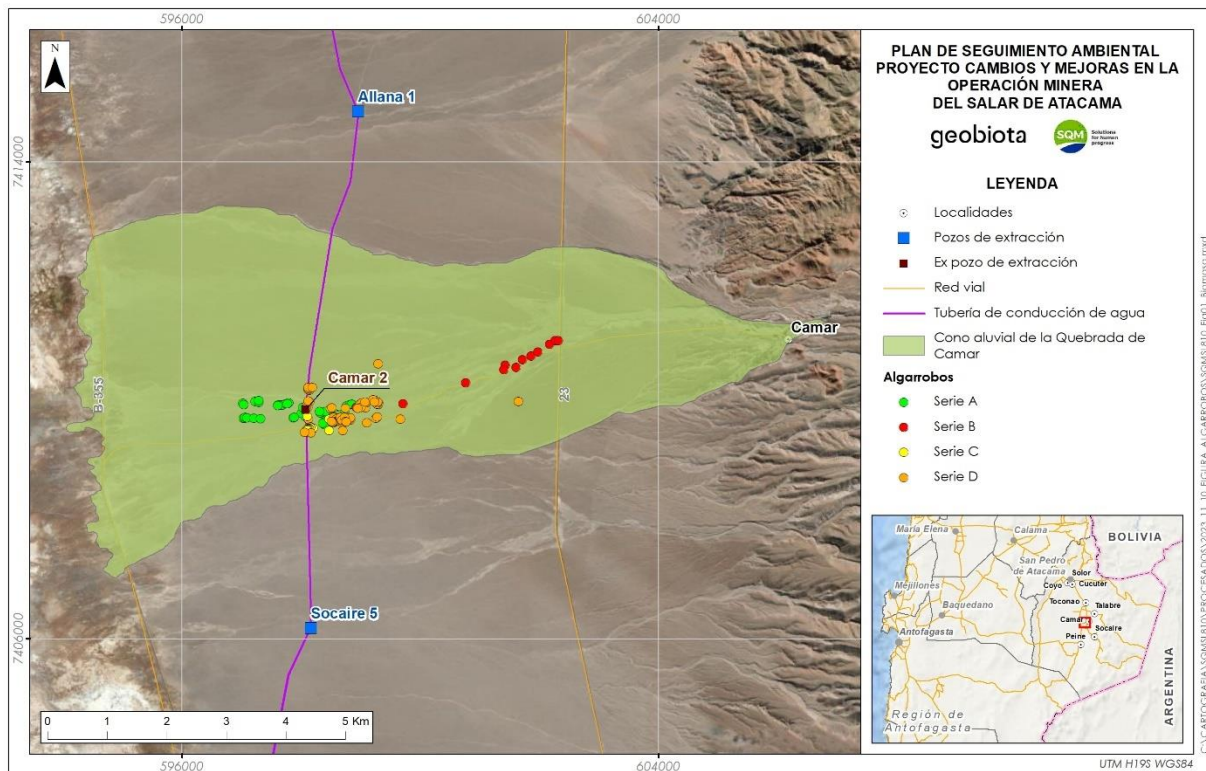
Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-43	598.432	7.409.734	C-37	598.121	7.409.490	D-13	598.570	7.409.682
A-44	598.449	7.409.740	C-39	598.133	7.409.492	D-14	598.603	7.409.716
A-45	598.488	7.409.746	C-40	598.135	7.409.494	D-15	598.610	7.409.715
A-46	598.492	7.409.741	C-41	598.133	7.409.490	D-16	598.562	7.409.710
A-47	598.581	7.409.758	C-42	598.137	7.409.491	D-17	598.540	7.409.705
A-48	598.314	7.409.784	C-43	598.141	7.409.484	D-18	598.578	7.409.679
A-49	598.579	7.409.683	C-45	598.150	7.409.473	D-19	598.564	7.409.639
A-50	598.543	7.409.660	C-46	598.155	7.409.474	D-20	598.550	7.409.621
A-51	598.491	7.409.653	C-47	598.184	7.409.499	D-21	598.537	7.409.624
A-52	598.483	7.409.654	D-52	598.755	7.409.662	D-22	598.529	7.409.626
A-53	598.414	7.409.660	D-53	598.795	7.409.668	D-23	598.523	7.409.626
A-54	598.419	7.409.645	D-54	598.822	7.409.663	D-25	598.160	7.409.448
A-55	598.388	7.409.586	D-55	598.810	7.409.679	D-28	598.055	7.409.453
A-56	598.359	7.409.612	D-56	598.829	7.409.698	D-29	598.107	7.409.879
A-58	598.407	7.409.807	D-58	599.249	7.409.692	D-30	598.086	7.409.900
A-59	597.880	7.409.705	D-59	601.641	7.409.977	D-31	598.078	7.409.861
A-60	597.318	7.409.687	D-60	599.289	7.410.610	D-34	598.695	7.409.488
A-68	597.767	7.409.938	D-61	598.987	7.409.931	D-35	598.660	7.409.708
A-70	598.028	7.409.873	D-62	598.743	7.409.858	D-36	599.272	7.409.717
AX-01	598.305	7.409.804	D-63	598.714	7.409.654	D-37	599.230	7.409.965
AX-02	597.020	7.409.942	D-64	599.100	7.409.620	D-38	598.117	7.409.982
AX-03	597.037	7.409.920	D-65	599.076	7.409.867	D-39	598.116	7.410.175
AX-76	597.609	7.409.906	D-66	599.083	7.409.951	D-42	598.118	7.410.190
B-01	598.922	7.409.874	D-68	598.114	7.409.681	D-43	598.117	7.410.207
B-02	599.016	7.409.889	D-69	598.138	7.410.168	D-45	598.189	7.410.214
B-03	599.710	7.409.937	D-70	598.138	7.409.964	D-46	598.516	7.409.866
B-04	600.761	7.410.288	D-71	599.083	7.409.952	D-47	598.509	7.409.637
B-09	601.420	7.410.585	D-72	599.015	7.409.952	D-48	598.679	7.409.661
B-10	601.403	7.410.509	D-73	598.997	7.409.873	D-49	598.728	7.409.705
B-11	601.603	7.410.548	D-74	598.944	7.409.858	D-50	598.745	7.409.637

Tabla 4-23 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
B-16	601.856	7.410.736	D-75	598.488	7.409.853	D-51	598.760	7.409.632

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-8. Distribución de los individuos de Algarrobo monitoreados



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.4.2 Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

El monitoreo de los individuos de algarrobo ubicados en torno al ex pozo de extracción de agua Camar-2 actualmente fuera de operación y desmantelado identificados como Serie A, considera la evaluación mensual de la vitalidad y la estimación del porcentaje de copa viva, acorde a lo establecido el considerando 10.3.2.2 de la RCA 226/2006. Complementariamente, el seguimiento de los 71 individuos incluye la determinación del estado fenológico y la identificación de daño ya sea antrópico o animal. Por otra parte, acorde a lo indicado en la Acción 23²⁴ del Plan de Cumplimiento (PdC) aprobado mediante Res.Ex. N° 38/ROL F-041-2016 del 29

²⁴ Incluir en los informes del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico (PSAB), un análisis de los resultados del estado vital y sanitario de los algarrobos, en función de las variables de temperatura, precipitaciones, nivel freático y nuevas variables antrópicas, presencia y daño

de agosto de 2022 por la Superintendencia del Medio Ambiente, se realizan mediciones del potencial hídrico y de conductancia estomática, además de mediciones de variables dendrométricas para la estimación de la biomasa. Acorde a lo anterior, en la siguiente Tabla 4-24 se detalla los parámetros considerados para el seguimiento de los ejemplares de algarrobos.

Tabla 4-24. Parámetros establecidos, responsables de la ejecución y medición de las variables

Componente	Variable	Parámetro	Frecuencia del monitoreo	Responsables del monitoreo
Medio Biótico	Población de <i>Neltuma alba</i>	Vitalidad	Anual	Geobiota y monitores ambientales de la Unidad medioambiental (UMA) de Camar
		Copa viva		
		Fenología		
		Afectación animal/antrópica		
		Potencial hídrico y conductancia estomática	Trimestral	
		Estimación de biomasa	Trimestral	

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.4.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

Para el monitoreo de los ejemplares de Algarrobo, la RCA 226/2006 contempla la evaluación en terreno de la vitalidad y el porcentaje de copa viva (follaje). En forma complementaria a lo establecido en la RCA 226/2006, desde el inicio de los monitoreos se ha evaluado el estado fenológico de los ejemplares y desde abril 2017, se registra el nivel de daño causado por agentes externos sobre cada individuo. En complemento, desde diciembre de 2021 y como parte de la Acción 23 del PdC, se realiza toma de datos de nuevos parámetros, tales como potencial hídrico, conductancia estomática y medición de variables dendrométricas para la estimación de la biomasa aérea. La metodología de cada una de estas variables de monitoreo se detalla a continuación.

4.2.4.3.1 Vitalidad

De acuerdo con lo establecido en la RCA 226/2006, se registra la vitalidad sobre cada ejemplar de algarrobo. La vitalidad es una forma de evaluación del estado sanitario general de los individuos, cuyas categorías de evaluación se presentan en la Tabla 4-25.

Tabla 4-25. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas.

Código	Categoría	Descripción
0	Seco	No presenta follaje verde ni estructuras reproductivas de ningún tipo.
1	Muy débil	Presenta escaso follaje verde, sin producción de frutos. Se observa signos de ataque de patógenos.

asociado a plagas y patógenos, análisis eco-fisiológicos comparativos, medición de potencial hídrico, medición de conductancia estomática y estimación de biomasa.

Tabla 4-25. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas.

Código	Categoría	Descripción
2	Débil	Aun cuando presenta follaje verde puede observarse signos leves de ataques de patógenos. No obstante, es capaz de producir algunos frutos.
3	Normal	Presenta gran parte de su follaje verde y producción de frutos. Sin signos de patógenos.
4	Excepcionalmente vigoroso	Presentan abundancia de follaje y estructuras reproductivas.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a considerando 10.3.2.2 RCA 226/2006

4.2.4.3.2 Copa viva (follaje verde)

La copa viva (follaje verde) corresponde a la proporción de la planta capaz de realizar actividad fotosintética. La evaluación de esta variable supone que, la pérdida parcial o completa del follaje, en forma sincrónica y fuera de estación, es un fenómeno conocido como “muerte regresiva” (Le Quesne, 2002). Su ocurrencia se asocia a la intervención de un agente abiótico (Ej. disponibilidad de agua), un agente biótico (patógeno) o al efecto combinado de ambos (Ej. el estrés hídrico predispone a las plantas a sufrir ataques de insectos u hongos).

De acuerdo con lo establecido en RCA N° 226/2006, las categorías de porcentaje de copa viva utilizadas se indican a continuación:

Tabla 4-26. Escalas utilizadas para clasificar el porcentaje de copa viva de las plantas.

Código	Porcentaje de copa viva
0	0%
1	<5%
2	5-25%
3	25-50%
4	50-75%
5	75-100%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a considerando 10.3.2.2 RCA 226/2006

4.2.4.3.3 Fenología

La fenología se refiere a la relación de las manifestaciones temporales periódicas o estacionales de las plantas, tales como la aparición de tallos y hojas, floración y producción de frutos y semillas, con respecto con las condiciones meteorológicas. Las categorías de fenología se presentan en la Tabla 4-27.

Tabla 4-27. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.

Código	Estado fenológico
1	Senescente

Tabla 4-27. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.

Código	Estado fenológico
2	Crecimiento vegetativo
3	Floración
4	Fructificación

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.4.3.4 Daño por agentes externos

La prospección del daño por acción de agentes externos es una variable complementaria, incorporada en el año 2017 de acuerdo con las recomendaciones realizadas en el estudio de CRICYT (2018), con el objetivo de identificar individuos afectados por agentes externos, ya sea antrópica o animal en cada temporada de monitoreo. La incorporación de esta variable se basa en las continuas observaciones de daños antrópicos y animal (herbívora), que han dañado en distintos grados a algunos ejemplares de algarrobo.

Metodológicamente, sobre cada ejemplar se registran evidencias de acciones antrópicas como corta, descepado, extracción de corteza, flores o frutos, entre otros. Así como también daño producido por animales, principalmente ramoneo.

Las categorías utilizadas para la evaluación de daños por agentes externos se presentan en la Tabla 4-28.

Tabla 4-28. Categorías de daño para la evaluación de individuos de algarrobo

Categoría	Daño
Antrópico	Daño producido por acción humana, tales como corta, descepado, extracción de corteza, flores o frutos, para uso artesanal, comercial u forraje para ganado, entre otros.
Animal	Daño producido por acción animal, del tipo ramoneo (producido probablemente por ejemplares de burro silvestre en el Salar de Atacama).
Ambos	Ejemplar observado con ambos tipos de daño (animal y antrópico).
Otro	Ejemplar con signos de daños no atribuible a humanos o animales. Estos pudiesen ser plagas, patógenos o daños estructurales producto de acciones ambientales.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a considerando 10.3.2.2 RCA 226/2006

4.2.4.3.5 Potencial hídrico

El potencial hídrico se mide en dos intervalos del día; pre-alba (hora de pre-alba 6:50 h) de manera de registrar la capacidad de recuperación hídrica de los árboles durante la noche (Acevedo et al., 1985) y al mediodía para registrar el estado hídrico al momento de mayor demanda de vapor de agua por parte de la atmósfera, debido a la alta radiación y mayor déficit de presión de vapor.

Las mediciones se realizan con una cámara de presión (Scholander et al., 1965) utilizando nitrógeno gaseoso como gas presurizado, en ramillas formadas durante la temporada anterior. Se seleccionan dos [2] ramillas por árbol, las que se guardaron al interior de una bolsa plástica sellada con una capa de papel aluminio (Meyer & Ritchie, 1980).

Cada ramilla se cortó, se desarrolló y se introdujo inmediatamente en la cámara de presión para medir su potencial hídrico. El potencial hídrico en mediodía fue medido para registrar el estado hídrico al momento de mayor demanda de vapor de agua por parte de la atmósfera, debido a la alta radiación y mayor déficit de presión de vapor. Previa a la medición, se eligieron dos ramillas y se envolvieron en bolsas plásticas con papel aluminio (Meyer & Ritchie, 1980) durante 1 hora aproximadamente, para equilibrar el potencial hídrico foliar y xilemático para las mediciones realizadas al mediodía. Para el caso de las mediciones en pre-alba cada ramilla se introdujo a la cámara de presión para medir su potencial hídrico entre las 5:45 y 7:25 am. Para el caso de las mediciones al mediodía, el potencial hídrico se midió entre las 12:00 y 13:00.

4.2.4.3.6 Conductancia Estomática

Para realizar las mediciones de conductancia estomática, se realiza la medición con un porómetro de flujo estacionario marca Meter, modelo SC-01 que mide la conductancia estomática de las hojas. Los estomas son pequeños poros ubicados en la parte superior e inferior de una hoja y son los responsables de absorber y expulsar CO₂ y humedad. La conductancia estomática es la velocidad de paso de CO₂ o vapor de agua a través de los estomas y es una función de la densidad, tamaño y grado de apertura de los estomas. Las mediciones se realizan entre las horas de máxima apertura estomática, entre 8:30 y 10:00 horas, en hojas adultas y sanas de exposición Este.

Finalmente, tanto para la determinación de la conductancia estomática, así como el potencial hídrico, se realiza análisis de varianza para determinar la existencia de diferencias significativas entre:

- a. Individuos de la serie A, que corresponden a la población objeto del seguimiento histórico en el contexto del PSAB, y el resto de los individuos de las series B y C
- b. Individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería que atraviesa de norte a sur el área de estudio.
- c. Individuos con riego y sin riego

Cuando se determinaron diferencias significativas entre los criterios evaluados, se procedió a realizar una prueba de separación de medias, por medio de la prueba DGC (Di Rienzo *et al.*, 2011), al 5% de probabilidad de error lo que es igual a un nivel de confianza del 95%. Cuando no se cumplió con el supuesto de normalidad de la varianza, se transformaron los datos a su valor inverso o recíproco (Pérez, 2018) y cuando persistió el problema se usó un análisis de varianza no paramétrico (Kruskal Wallis). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa InfoStat v.2020.

4.2.4.3.7 Estimación de la Biomasa

Para estimar la biomasa de la población de algarrobos presentes en el cono aluvial de la Quebrada de Camar, se registran en terreno, aquellas variables más utilizadas por los modelos de regresión reportados por la literatura y que permiten estimar en forma eficiente la cantidad de biomasa aérea, las cuales corresponden a; diámetro máximo de la copa (mcw), diámetro de copa a los 90° del mcw (cw90) y altura total (ht). Además,

para los individuos plurifustales que se registraron para todos los diámetros basales mayores a 2,5 cm las siguientes variables:

- Diámetro basal (db). Diámetro medido en la base del fuste (0,1 m del suelo) en cm.
- Diámetro a la altura del pecho (d1.3). Diámetro medido a 1.3 m del suelo, en cm. (según se presente)
- Largo del vástago (hf). Se debe medir el largo del fuste desde la base hasta el extremo superior en cm.
- Diámetro del fuste más largo (dls). Corresponde al diámetro del fuste más largo medido a los 0,1 m de altura en cm.

Además, se contaron todos los individuos con diámetros basales menores a 2,5 cm, y se les midió la altura individual (cm). Debido a que los individuos presentaron más de un vástago, la caracterización de la población según la clase diamétrica se realizó utilizando el Diámetro basal equivalente (Dbe), que estima el diámetro que tendría cada árbol si tuviera un único fuste conformado por los diámetros basales a una altura de 10 cm del suelo de todos los vástagos existentes. Esto se calculó con siguiente fórmula (Álvarez et al., 2011):

$$Dbe = 2 \sqrt{\sum \left(\frac{db_{0.1}}{2}\right)^2}$$

Donde:

Dbe = Diámetro basal equivalente (cm)

$db_{0.1}$ = Diámetros basales de cada vástago a 10 cm de altura del suelo

A partir de esta información se determinaron los siguientes parámetros:

- Rango diamétrico (Dbe) (cm).
- Altura media por rango diamétrico (m).
- Abundancia (Nº de vástagos).
- Área basal (m²).
- Área de copa (Acopa) (m²).
- Volumen de copa (Vc) (m³).

Luego, con la información de terreno se procedió a probar una selección de modelos de regresión, los cuales corresponden a modelos tradicionales para estudios de biomasa (Prodan et al., 1997; Husch 2003; Laar y Akça, 2007; Picard et al., 2012). Se preseleccionaron 135 modelos de regresión para estimar la biomasa

reportada por la literatura. Para la selección de los mejores modelos, desde el punto de su aplicabilidad a la población local de ejemplares de algarrobo, se descartaron aquellos modelos cuyas variables o rangos de aplicación estuvieran alejados de las características de los individuos de la población bajo estudio, o la información disponible publicada fuera insuficiente para la aplicación del modelo. Luego, con aquellos inicialmente seleccionados se calculó preliminarmente la biomasa aérea total de cada individuo, determinándose el máximo, mínimo, media y desviación estándar de los resultados de biomasa obtenidos. Estos resultados individuales se agruparon en bandas de confianza en torno a la desviación estándar de la media. Finalmente se seleccionaron sólo aquellos modelos cuyos resultados de biomasa promedio se agruparon dentro del rango 50%-100% de la desviación estándar de la media, según el número de funciones disponibles. Se considera este valor como conservador para el intervalo de confianza en el que se mueve el estadígrafo de posición. Esto teniendo en cuenta que los individuos de la población censada presentan una alta variabilidad de tamaños y las funciones aplicadas provienen de poblaciones de diversas especies del género y, a su vez, con diversos tamaños y hábitos de crecimiento.

Para la determinación de la biomasa de frutos se procedió de la siguiente manera: Cuando los árboles presentaran menos de 100 frutos se realizó un conteo de los frutos en las cuatro exposiciones de la copa de los árboles, y cuando estos presentaban más de 100 frutos, se realizó una estimación mediante el conteo de frutos en un volumen de 0,015m³, (cubo 0,25x0,25x0,25 m) en las cuatro exposiciones de la copa, para luego ser ajustado al total del volumen de la copa previamente calculado. Con los datos obtenidos, se construyó un modelo que permitió obtener el total de frutos para cada individuo, lo cual se ponderó por el peso de cada fruto, utilizando un valor conservador de 5,6 gr/fruto (Sciammaro, *et al.*, 2015) y se obtuvo el peso húmedo de frutos por árbol y el total para la población.

4.2.4.4 Materiales y equipos utilizados

Para el registro del estado de vitalidad de los algarrobos se utilizaron formularios en formato electrónico mediante el uso de Tablet, además de celulares con aplicación para el registro fotográfico y GPS. Para el caso de las mediciones de potencial hídrico, se utilizó una cámara de presión tipo Scholander, la que no requiere calibración. Por otro lado, para la medición de conductancia estomática, se utilizó un porómetro marca Meter SC-1, el que se calibra previo a realizar las mediciones cada día por el profesional a cargo respecto de las condiciones ambientales presentes en ese momento. En la siguiente Tabla, se detallan los materiales y equipos utilizados para cada estudio.

Tabla 4-29. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
Estado de vitalidad individuos <i>Neltuma alba</i>	GPS ETREX Tablet Celular con aplicación <i>TimeStamp Camera</i>
Potencial hídrico y conductancia estomática	Porómetro de flujo estacionario marca Meter, modelo SC-01 Cámara de presión Scholander
Medición de variables dendrométricas	Pie de metro. Huincha de medir (30 m)

Tabla 4-29. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
	Clinómetro
	GPS ETREX
	Celular con aplicación TimeStamp Camera

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.2.4.5 Fechas de muestreo de cada parámetro

El seguimiento de los 71 ejemplares de Algarrobo se realiza de forma anual en el mes de abril, cuyo mes es considerado como el periodo de mayor actividad vegetativa. Los parámetros asociados al potencial hídrico y conductancia estomática, así como los asociados a las biomasa, se ejecutan de manera trimestral acorde a lo establecido en la Acción 24 del Programa de Cumplimiento²⁵. Las fechas de monitoreo de cada una de estas variables se expone a continuación:

Tabla 4-30. Fechas de muestreo Flora

Subcomponente	Sector	Seguimiento	Fechas de muestreo
Flora – ejemplares de Neltuma alba	Cono aluvial de la Quebrada de Camar	Censo y determinación de la vitalidad	8/04/2023 -18/04/2023-
		Potencial hídrico y conductancia estomática	24.01.2023 – 26.01.2023 25.04.2023 – 27.04.2023 26.07.2023 – 28.07.2023 18.10.2023 – 20.10.2023
		Estimación Biomasa	24.01.2023 – 29.01.2023 18.04.2023 – 25.04.2023 18.07.2023 – 24.07.2023 17.10.2023 – 20.10.2023

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023.

²⁵ Res.Ex.N° 38/ROL F-041-2016 del 29 de agosto de 2022, SMA.

4.3 Fauna

4.3.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

4.3.1.1 Transectos para el monitoreo de reptiles, aves terrestres y mamíferos

Como se establece en la RCA N° 226/2006, se han definido cinco [5] hábitats para fauna, los que se distribuyen espacialmente de acuerdo con el gradiente de humedad y salinidad existente en el sector, determinando el desarrollo de las diferentes formaciones vegetacionales del Borde Este. Los hábitats para el estudio de la fauna silvestre corresponden a:

- Hábitat de Rica rica-Pingo pingo
- Hábitat de Brea-cachiyuyo
- Hábitat de pajonal
- Hábitat marginal de salar
- Hábitat de salar

En función de estos hábitat, se definieron los transectos que son monitoreados para la subcomponente fauna terrestre, correspondiente a las clases reptiles, aves terrestres y mamíferos. Las coordenadas con la ubicación de todos los transectos prospectados y fijos en el tiempo se presentan en la Tabla 4-31, mientras que la ubicación espacial de estos se presenta de manera global en la Figura 4-9 y diferenciada por sector en la Figura 4-10, Figura 4-11, Figura 4-12, y en la Figura 4-13. Cabe mencionar que, a partir de la campaña realizada el año 2015 se hizo una modificación en el transecto N° 9, ubicado en el sector de Aguas de Quelana. Este transecto originalmente quedó establecido según RCA N° 226/2006 como hábitat de Rica rica – Pingo pingo, sin embargo, se encontraba inserto en una zona de transición compartiendo características similares al hábitat de Brea – Cachiyuyo, por lo cual fue desplazado al sector donde se realizan las capturas de micro-mamíferos mediante trampas Sherman, zona que presenta una formación de Rica rica – Pingo pingo. De esta forma, se homologó este ambiente de fauna con la definición de ambientes para la vegetación, realizando la prospección mediante las distintas metodologías en el ambiente definido como hábitat de Rica rica – Pingo pingo. El desplazamiento de este punto no conlleva mayores diferencias en cuanto a la composición de especies, en especial cuando se considera que la caracterización busca contrastar la fauna existente en los distintos ambientes definidos. Así mismo, fue incluido el transecto 1, como punto complementario a lo definido en la RCA N° 226/2006 con la finalidad de contar con un muestreo de todos los ambientes existentes en cada sector dentro de la metodología de muestreo, considerando un total de 17 transectos, sus ubicaciones son expuestas en la siguiente tabla.

Tabla 4-31. Ubicación de los puntos de muestreo para la metodología de transectos para la prospección de fauna terrestre en el Borde Este del Salar de Atacama (Datum WGS84 19S).

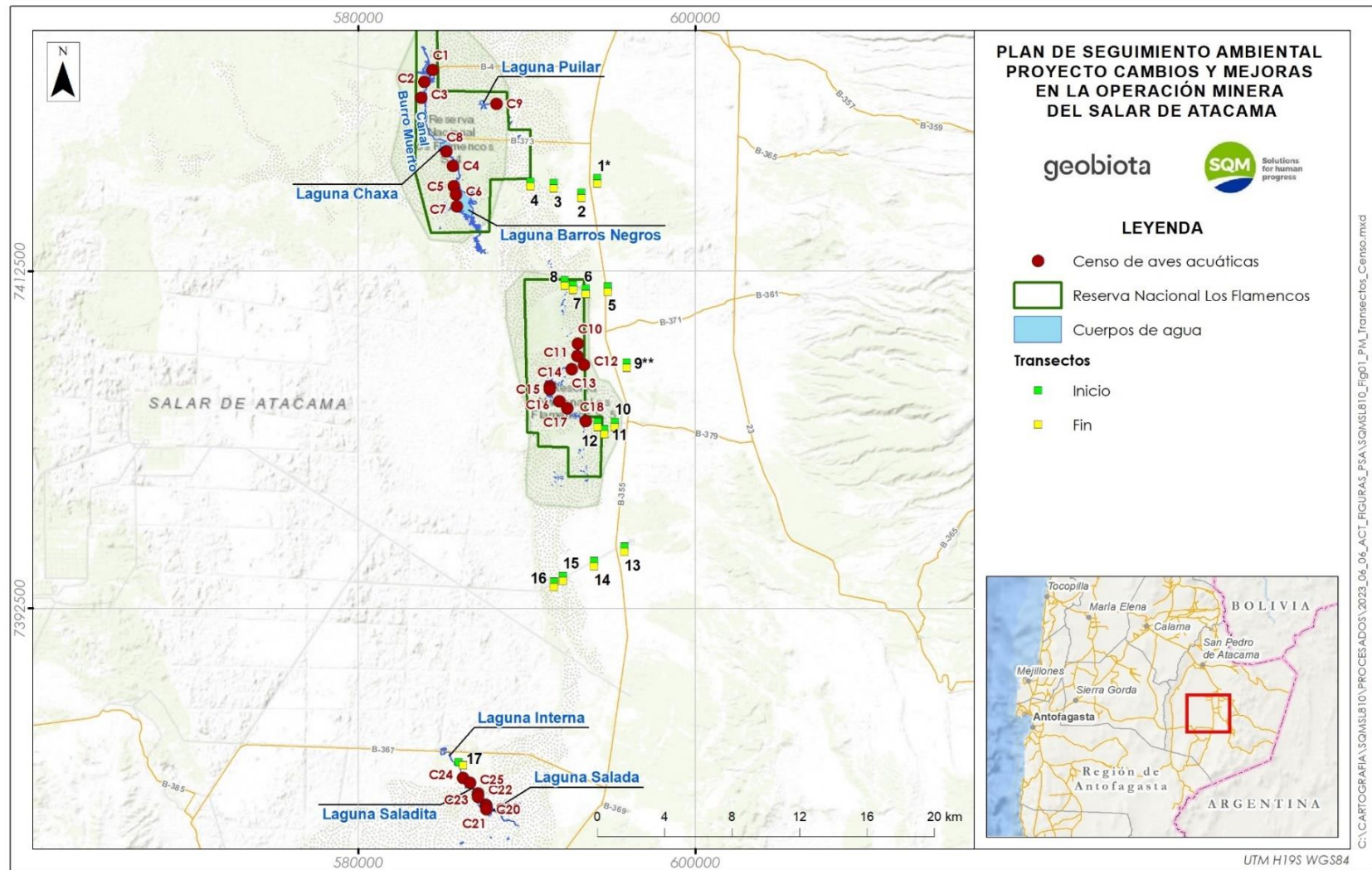
Sector	Hábitat	Transecto N°	Inicio Coordenada UTM		Fin Coordenada UTM	
			Este	Norte	Este	Norte
Vega de Carvajal	Hábitat de Rica rica - Pingo pingo	1*	594.403	7.419.114	594.289	7.419.402
	Hábitat de Brea – Cachiyuyo	2	593.604	7.417.442	593.604	7.417.142
	Hábitat de pajonal	3	591.552	7.417.741	591.552	7.417.441
	Hábitat marginal de salar	4	590.390	7.417.761	590.390	7.417.461
Cruce Camar	Hábitat de Rica rica - Pingo pingo	5	594.795	7.411.582	594.795	7.411.282
	Hábitat de Brea – Cachiyuyo	6	593.336	7.411.444	593.336	7.411.144
	Hábitat de pajonal	7	592.801	7.411.838	592.801	7.411.538
	Hábitat marginal de salar	8	592.572	7.411.612	592.572	7.411.312
Aguas de Que-lana	Hábitat de Rica rica - Pingo pingo	9**	595.919	7.407.056	595.921	7.406.756
	Hábitat de Brea – Cachiyuyo	10	595.236	7.403.528	595.236	7.403.228
	Hábitat de pajonal	11	594.436	7.403.523	594.436	7.403.223
	Hábitat marginal de salar	12	593.865	7.403.528	593.865	7.403.228
Cruce SQM	Hábitat de Rica rica - Pingo pingo	13	595.743	7.396.234	596.059	7.396.390
	Hábitat de Brea – Cachiyuyo	14	593.999	7.395.270	593.999	7.394.970
	Hábitat de pajonal	15	592.019	7.394.176	592.019	7.393.876
	Hábitat marginal de salar	16	591.566	7.394.039	591.566	7.393.739
Peine	Hábitat de salar	17	586.152	7.383.148	585.962	7.383.264

(*) Este punto se incorporó de manera complementaria a lo indicado en la RCA con el objeto de contar con muestreo de todos los ambientes existentes en cada sector.

(**) Para homologar el ambiente definido como hábitat de Rica rica – Pingo pingo, se desplazó el punto de transectos de reptiles y aves hacia el sector donde se realiza la captura de micromamíferos (año 2015).

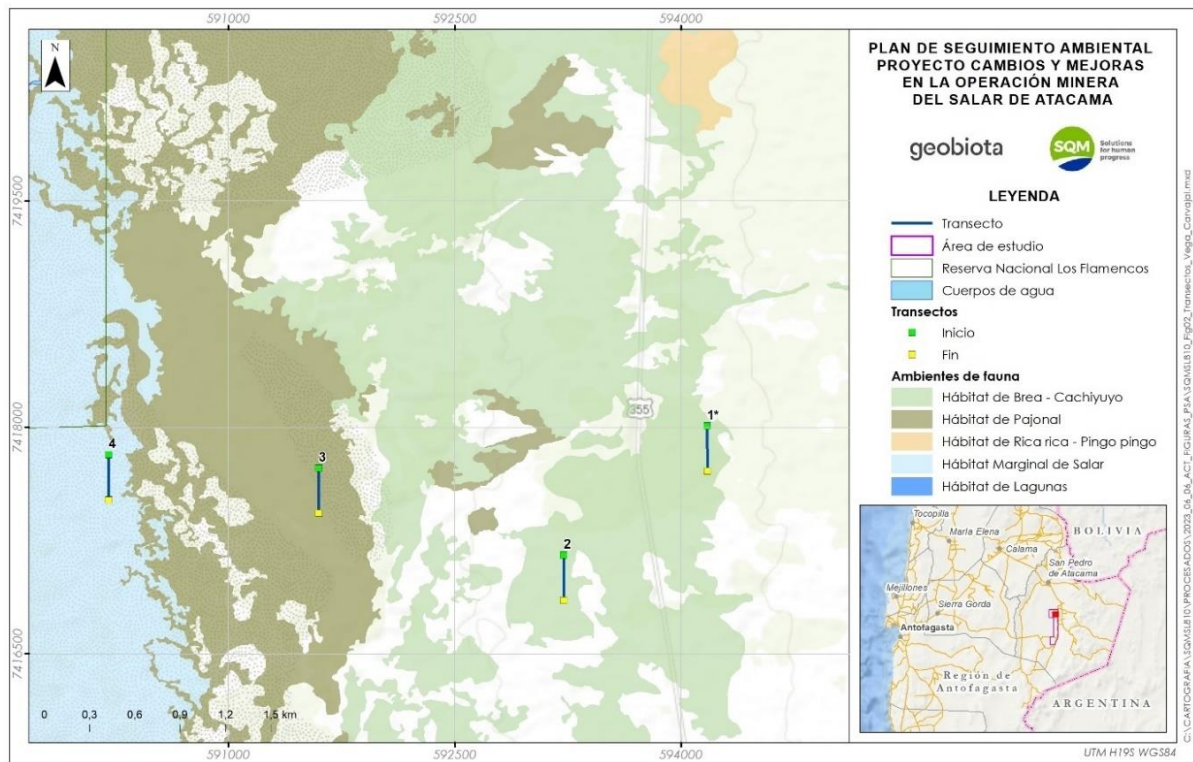
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-9. Ubicación de los puntos de muestreo de transectos y censos



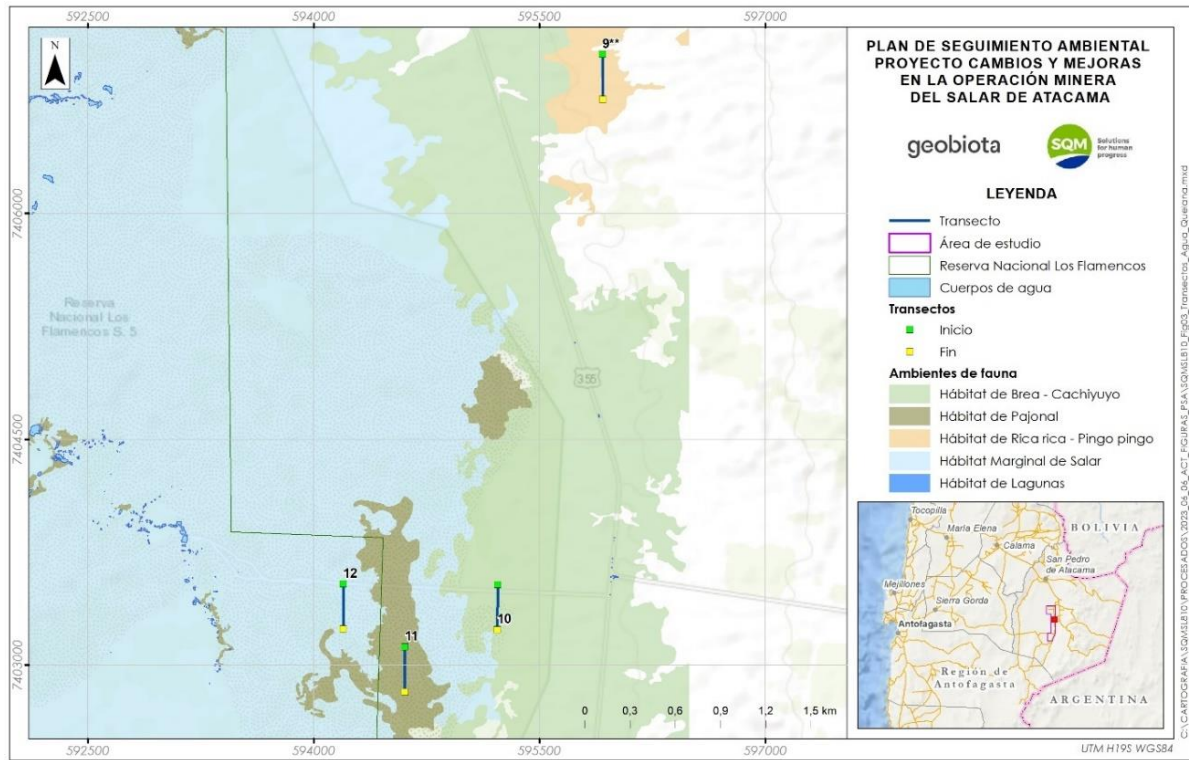
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-10. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio. Vista A



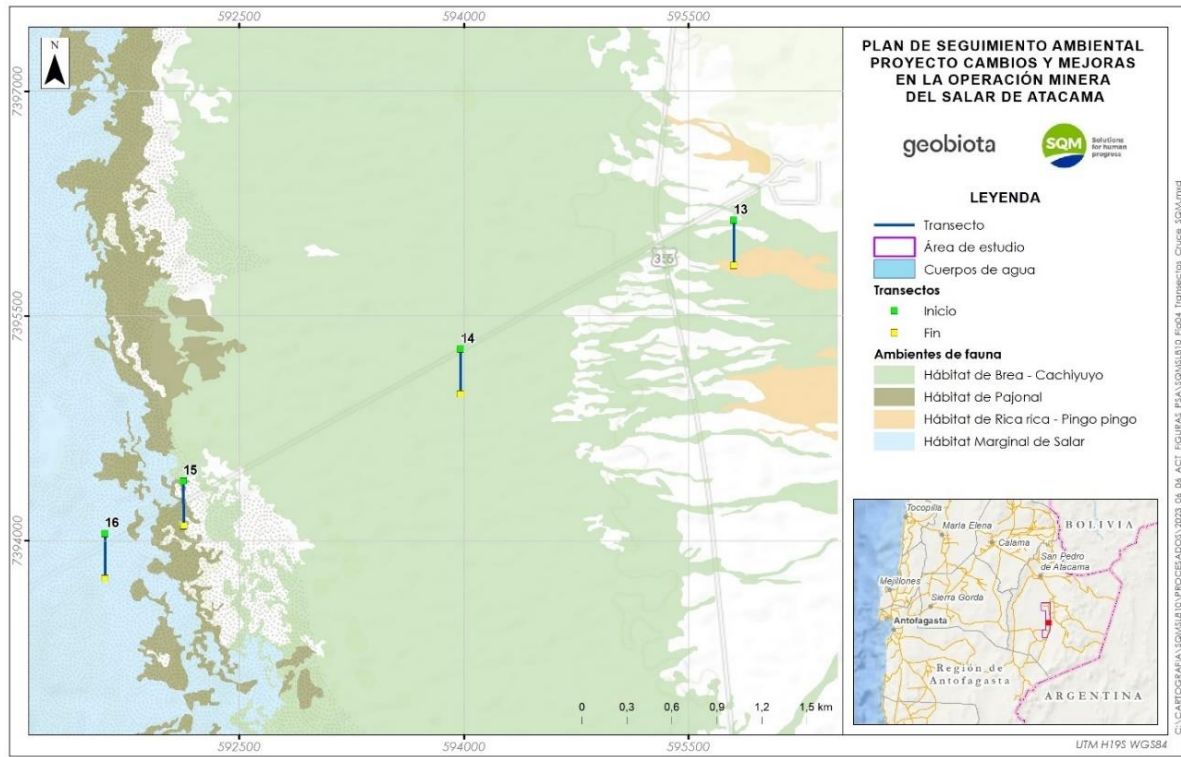
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-11. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio. Vista B



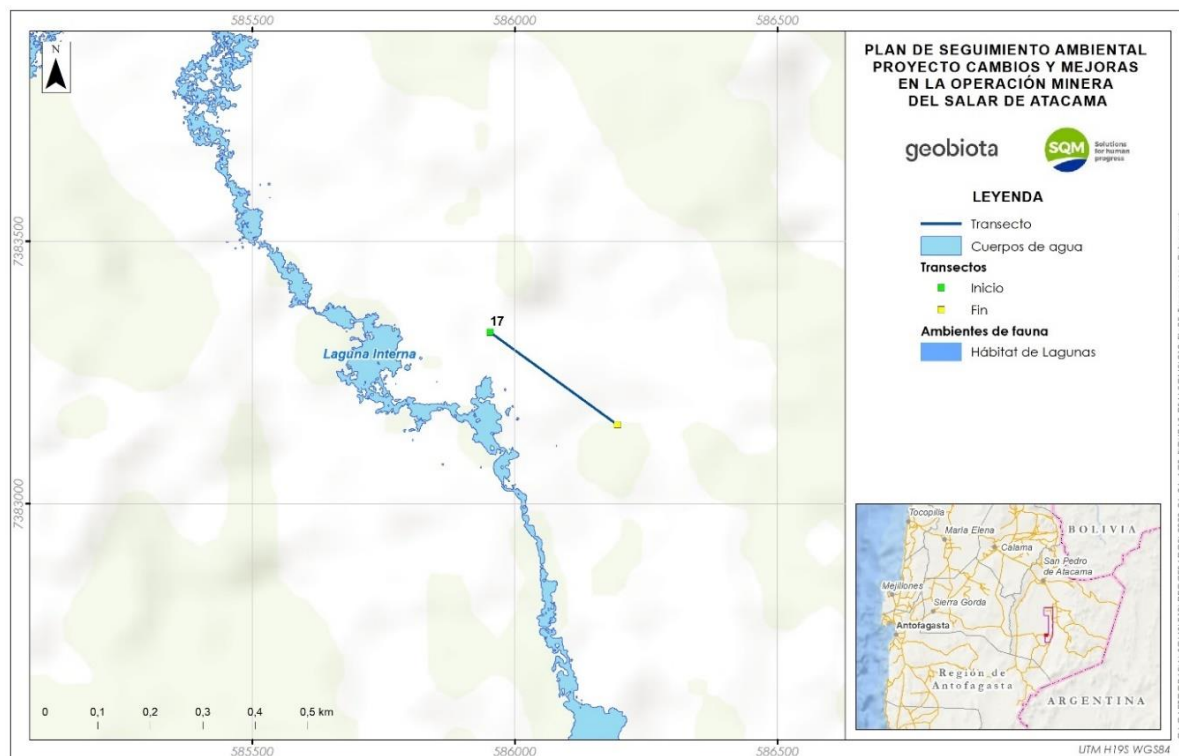
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-12. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio. Vista C



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-13. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio. Vista D



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.3.1.2 Censos para el monitoreo de aves en ambientes acuáticos

Para el censo de aves acuáticas, la RCA N° 226/2006 establece en el considerando 10.4.4 c), que, para el seguimiento se deberá considerar los sistemas lacustres Soncor y Peine, y una submuestra en Aguas de Quelana, con esto se considera una muestra de 25 puntos de observación de aves, los cuales se definieron en el informe de Monitoreo Anual N° 1. Las coordenadas de los puntos de presentan en la Tabla 4-32 y su distribución respecto de las lagunas se presenta en la Figura 4-14 (sistema Soncor), Figura 4-15 (Sistema Aguas de Quelana) y Figura 4-16 (Sistema Peine). Debido a la cercanía del sector Canal Chaxa-Barros Negros con la Laguna Chaxa, los datos obtenidos en el punto de muestreo N° 4, son analizados junto con los registros de Laguna Chaxa.

Tabla 4-32. Ubicación de puntos de observación de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama

Sistema	Sector	Punto N°	Coordenadas UTM (Datum WGS84 19S)	
			Este	Norte
Soncor	Canal Burro Muerto	1	584.405	7.424.456
		2	583.914	7.423.749
		3	583.717	7.422.793

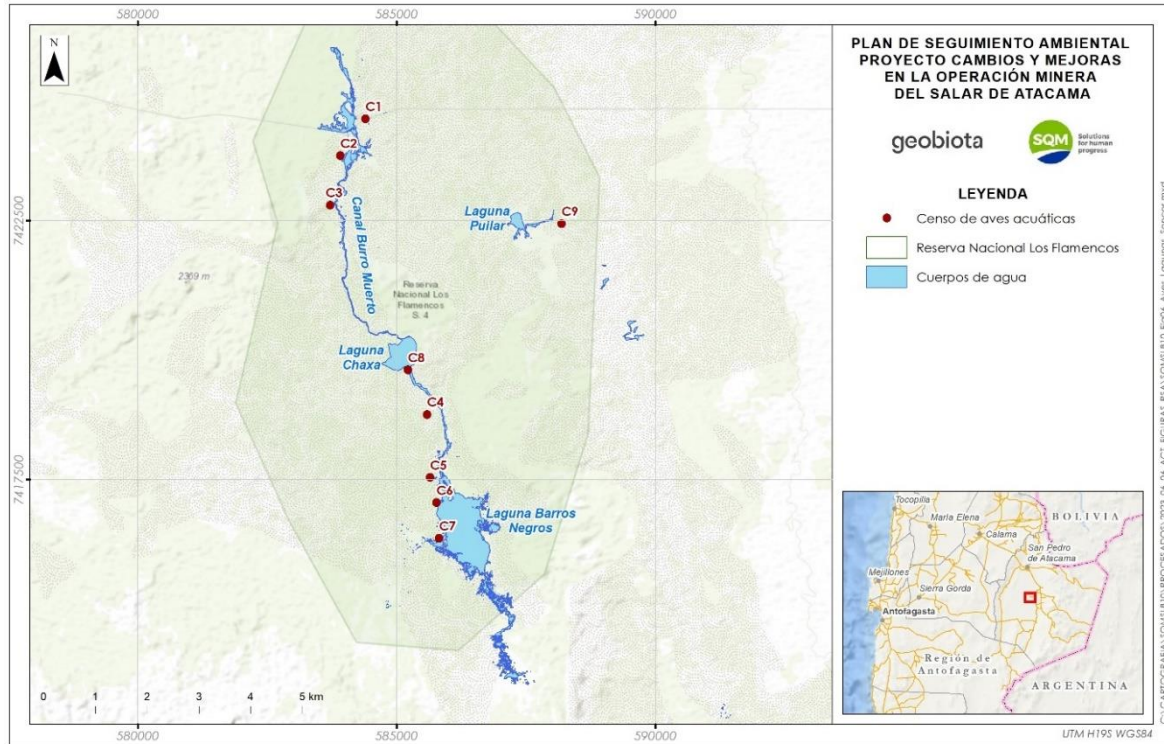
Tabla 4-32. Ubicación de puntos de observación de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama

Sistema	Sector	Punto N°	Coordenadas UTM (Datum WGS84 19S)		
			Este	Norte	
Aguas de Quelana	Canal Chaxa – Barros Negros*	4	585.593	7.418.750	
	Laguna Barros Negros	5	585.649	7.417.536	
		6	585.771	7.417.048	
		7	585.828	7.416.359	
	Laguna Chaxa	8	585.220	7.419.607	
	Laguna Puilar	9	588.193	7.422.435	
	Aguas de Quelana	Aguas de Quelana	10	593.032	7.408.202
			11	592.994	7.407.472
			12	593.389	7.406.950
13			592.665	7.406.680	
14			591.360	7.405.651	
15			591.361	7.405.479	
16			591.924	7.404.770	
17			592.395	7.404.358	
18			593.496	7.403.591	
Peine	Laguna Salada	19	587.562	7.380.813	
		20	587.592	7.380.721	
		21	587.581	7.380.535	
	Laguna Saladita	22	587.101	7.381.486	
		23	587.094	7.381.285	
	Laguna Interna	24	586.196	7.382.395	
		25	586.614	7.382.105	

*En el análisis de abundancia, los registros obtenidos en el punto de observación 4 son incluidos y analizados en conjunto con los obtenidos en la laguna Chaxa

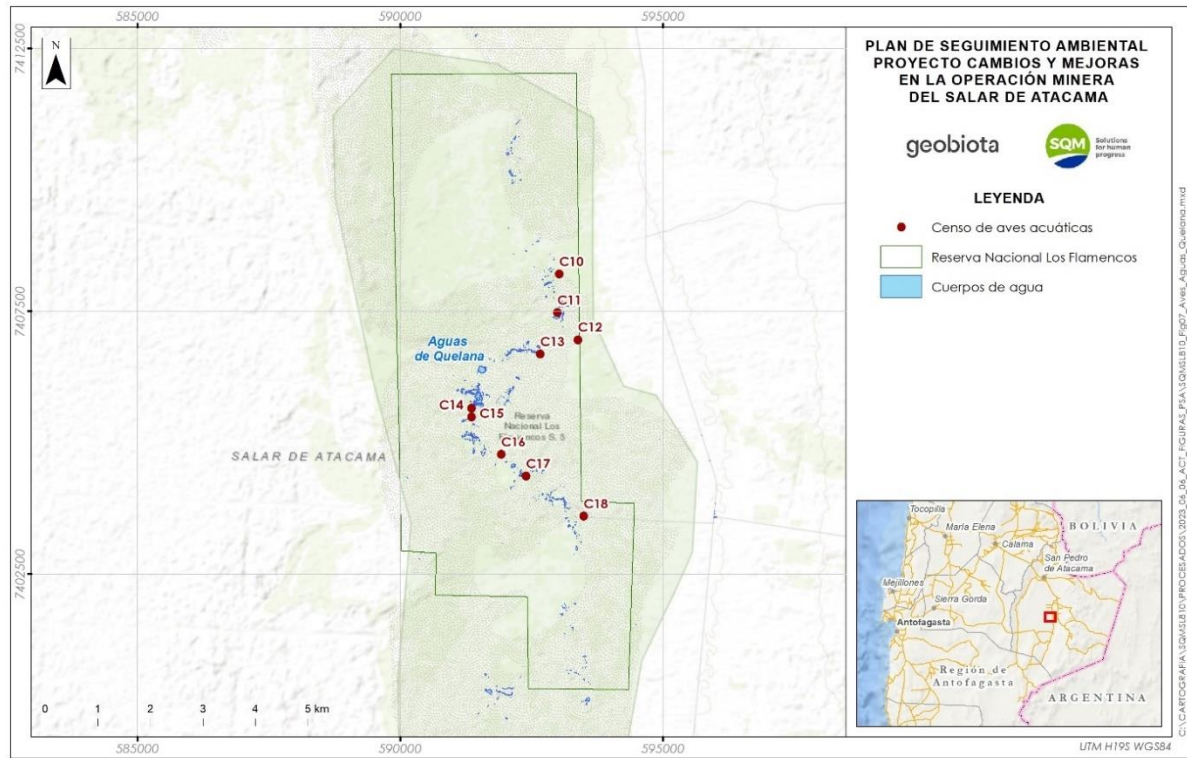
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-14. Ubicación de puntos de muestreo para la metodología de censo de aves acuáticas. Sistema Soncor



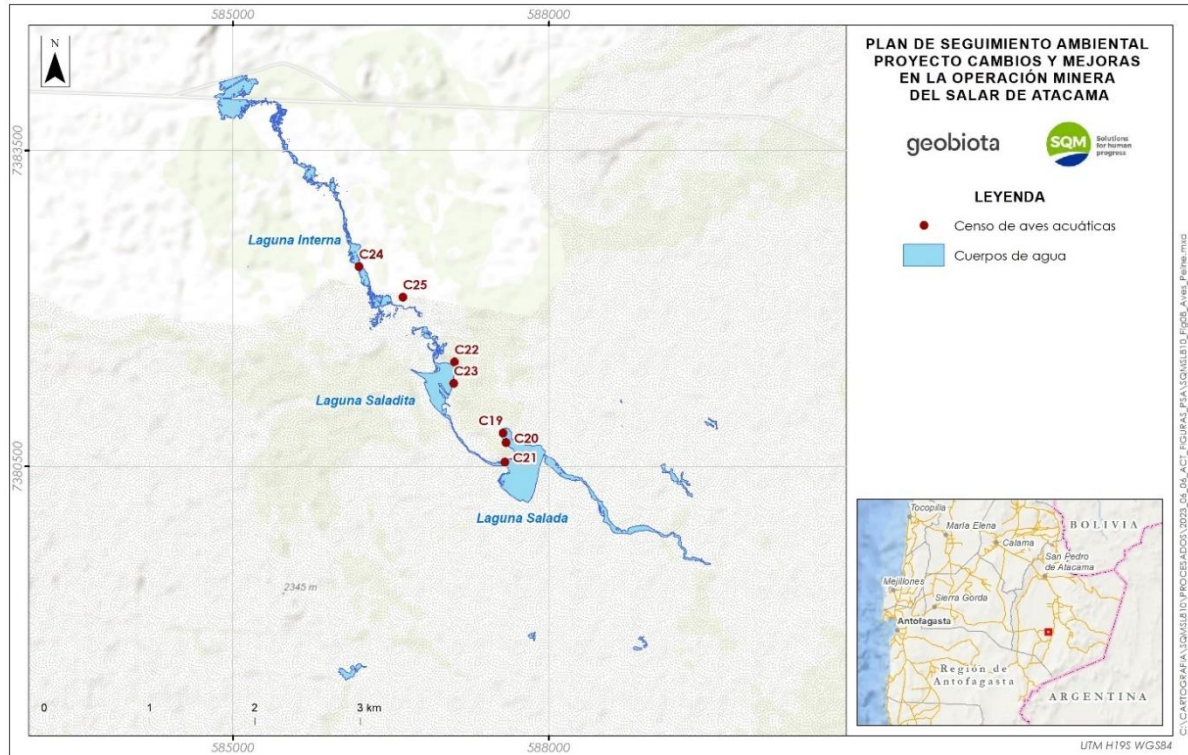
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-15. Ubicación de puntos de muestreo para la metodología de censo de aves acuáticas. Sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-16. Ubicación de puntos de muestreo para la metodología de censo de aves acuáticas. Sistema Peine



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.3.2 Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

El monitoreo de reptiles, aves de ambientes terrestres y mamíferos consideró el registro del número de especies (riqueza) y el registro de ejemplares para las distintas especies presentes en los hábitats registrados en los transectos, permitiendo identificar la evolución de las variables ambientales a partir de la abundancia promedio. Por su parte, para el monitoreo de las aves de ambientes acuáticos, se consideró el registró de ejemplares para las distintas especies presentes en los sistemas lacustres mediante censos, con lo cual fue posible identificar la evolución de las variables ambientales a partir de su abundancia total. Los parámetros considerados para el seguimiento de fauna silvestre son descritos en la siguiente Tabla 4-33.

Tabla 4-33. Síntesis de parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

Componente	Subcomponente	Variable	Parámetro	Metodologías utilizadas
Biota	Fauna silvestre	Reptiles	Riqueza y abundancia promedio	Transectos
		Aves acuáticas	Riqueza y abundancia total	Censo
		Aves terrestres	Riqueza y abundancia promedio	Transectos
		Micromamíferos	Riqueza y abundancia promedio	Trampas Sherman
		Macromamíferos	Riqueza y abundancia promedio	Trampas cámara Estaciones olfativas Transectos

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Cabe destacar que la clasificación de aves en aves acuáticas y terrestres corresponde a una simplificación de la diversidad de grupos que podemos definir dentro de la clase aves. Esto con el objetivo de diferenciar dentro del análisis el monitoreo de las lagunas del Salar y la avifauna asociada a éstas. Por tal motivo, se agruparon las aves en aves acuáticas (aves que dependen de estas lagunas para reproducirse y/o alimentarse) y aves no acuáticas (todo el resto de las especies que no dependen de un cuerpo de agua para reproducirse y/o alimentarse), las cuales son definidas como aves terrestres, para efectos del presente informe.

Sin embargo, los ambientes naturales son sistemas complejos y, por ende, estos límites no se ven reflejados de manera estricta en la realidad, ya que las aves terrestres pueden hacer uso eventual de las lagunas y las aves acuáticas pueden utilizar los ambientes terrestres, por ejemplo, como zonas de paso. Debido a lo anterior es posible registrar aves terrestres en censos y aves acuáticas en transectos. Esta información es útil para evidenciar la dinámica del ecosistema.

4.3.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

En forma previa a las actividades de terreno, se obtuvieron los Permisos Sectoriales para la Captura de Animales de Especies Protegidas de Fauna Silvestre (reptiles y micromamíferos), los que fueron autorizados por la Dirección Regional de Antofagasta y la Protección de Recursos Naturales Renovables (DIPROREN) del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), mediante la Resolución exenta N° 168/2023 y N° 169/2023. Los respectivos permisos de captura se encuentran disponibles en el Anexo 15.

Para el seguimiento se realizó un muestreo estratificado, considerando los tipos de hábitat definidos para fauna, utilizando metodologías específicas para la caracterización de cada grupo faunístico. De esta forma, se determinaron los parámetros de riqueza y abundancia registradas en el Borde Este del Salar de Atacama.

Cabe destacar que, no se considerarán metodologías para el seguimiento de especies de anfibios, debido a que no se registraron ejemplares de este grupo durante las campañas de Monitoreo Preoperacionales y tampoco se describen para esta zona en la literatura consultada.

4.3.3.1 Transectos para la evaluación de reptiles

Para evaluar la abundancia se realizaron diecisiete [17] transectos lineales, los que tuvieron una longitud de 300 metros cada uno. En cada transecto se realizó un recorrido pedestre, el que se repitió durante tres días registrando los individuos observados a una distancia de hasta 30 metros a cada lado del transecto, estandarizando el tiempo de muestreo a 20 minutos (De la Maza y Bonacic, 2013). Este método permite registrar el número de ejemplares de cada especie presente en los distintos hábitats y estimar la abundancia promedio.

Para el cálculo de la abundancia promedio se utilizaron todos los registros históricos, lo que permite medir que tan común o rara es una especie en un lugar determinado. Esto permite realizar comparaciones con otras especies que se encuentran en estos hábitats, independiente de la ausencia de registros en algunos periodos.

El registro de ejemplares, la evidencia indirecta y los ambientes fueron fotografiados cuando las condiciones lo permitieron, y se establecieron sus coordenadas geográficas UTM (Universal Transversal de Mercator, Datum WGS84, Huso 19S).

Para los individuos con patrones de rango unimodal, con estrecha actividad, se utilizó lo descrito en la bibliografía (Labra & Vidal, 2003). Respetando los rangos horarios de mayor avistamiento.

4.3.3.2 Transectos para la evaluación de aves en ambientes terrestres

Para el cálculo de abundancia de aves terrestres, se realizaron un total de diecisiete [17] transectos lineales de 300 metros distribuidos en los hábitats considerados relevantes. Cada transecto, fue recorrido a pie (pedestre) durante tres días, el periodo de observación estandarizado, fueron 20 minutos para cada transecto.

La presencia de aves en ambientes terrestres se determinó sobre la base de observaciones directas en terreno, posterior a esto, se calcularon las abundancias de aves por transectos a partir del promedio de animales observados durante los tres días de prospección.

Se registraron además los ejemplares observados fuera de los transectos, así como registros circunstanciales realizados fuera del tiempo de recorrido en cada transecto, con lo que se buscó complementar el catastro para la avifauna de ambientes terrestres en el área de estudio (riqueza de especies).

El registro de ejemplares, hallazgo de evidencia indirecta y ambientes, fueron fotografiados cuando las condiciones lo permitieron, y se establecieron sus coordenadas geográficas UTM (Universal Transversal de Mercator, Datum WGS84, Huso 19S).

Para el cálculo de la abundancia, en el caso de los promedios se utilizaron todos los datos históricos, independiente de la ausencia de registros. Esto corresponde a una mejora en el análisis de datos, los cuales históricamente utilizaron sólo valores distintos de cero.

4.3.3.3 Censos para la evaluación de aves en ambientes acuáticos

La metodología estándar utilizada para el cálculo de abundancias a partir de los censos fue la aplicada en Censos Neotropicales de Aves Acuáticas (Blanco y Carbonell, 2001; Espinosa, 1998) y en Censos Internacionales de Aves Acuáticas (Blanco y Carbonell, 2001; Delany, 2005; Espinosa 1998; López-Lanús y Blanco, 2005). Esta metodología consiste en recorrer el cuerpo de agua de forma tal de poder contar todos los individuos de las especies presentes, evitando los conteos dobles debido al movimiento de las aves.

Para el caso de los censos realizados entre los años 2006 y 2023, se consideraron veinticinco [25] puntos de observación (Tabla 4-32). La distribución de los puntos de observación en el perímetro de los sistemas lacustres mencionados se muestra en la Figura 4-13, Figura 4-14 y Figura 4-15. En cada punto se seleccionaron estaciones de observación, las que permitieron abarcar mediante un barrido visual toda el área de interés, manteniendo una distancia que facilitó la identificación de las especies y el conteo de los individuos evitando interferir en sus actividades. Se realizaron conteos dobles repetitivos realizados por 2 observadores en forma independiente, aceptándose el censo cuando la diferencia entre ambos observadores no sobrepasó el 5%.

Para el registro de especies se realizaron observaciones a través de binoculares y un telescopio monocular. Los cuerpos de agua y evidencias indirectas de avifauna acuática fueron fotografiados y se establecieron sus coordenadas geográficas UTM (Universal Transversal de Mercator, Datum WGS84, Huso 19).

Las campañas de seguimiento desde el 2006 a la fecha han sido realizadas fuera de la época reproductiva de flamencos, no siendo necesaria la implementación de medidas especiales para el resguardo de la nidificación y crianza de los polluelos.

4.3.3.4 Trampas Sherman para la evaluación de micromamíferos

Para el estudio de roedores y marsupiales, se instalaron treinta [30] trampas Sherman en los tres hábitats considerados relevantes para este grupo (Rica rica – Pingo pingo, Brea – Cachiyuyo y Pajonal) los cuales se emplazan en sectores definidos previamente, correspondientes a Vega de Carvajal y Aguas de Quelana (Figura 4-9 y Figura 4-10)²⁶. Siguiendo la metodología, se consideraron un total de seis puntos de muestreo, donde fueron instaladas las trampas asociadas a los transectos 1, 2, 3, 9, 10 y 11 (puntos de muestreo de mamíferos MM1 a MM6).

Las trampas Sherman (de captura viva) fueron cebadas con avena machacada y mantenidas abiertas durante tres noches consecutivas, obteniendo un esfuerzo de captura de 270 trampas/noche en cada sector, y un esfuerzo de captura total de 540 trampas/noche para toda el área de estudio.

Todos los registros, evidencias indirectas y ambientes para micromamíferos fueron fotografiados, estableciendo las coordenadas geográficas UTM (Universal Transversal de Mercator, Datum WGS84, Huso 19S) para cada trampa Sherman.

²⁶ La ubicación de las estaciones fue establecida durante el proceso de evaluación ambiental del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama” (figura I.6.2 del Anexo I, Adenda III, RCA 226/2006).

En Anexo 15 se adjunta el permiso que permite la captura de reptiles, y micromamíferos con fines de investigación de las profesionales a cargo del monitoreo.

4.3.3.5 Estaciones de atracción olfativa para la evaluación de Macromamíferos

En el caso de los macromamíferos, el muestreo fue realizado mediante la implementación de estaciones de atracción olfativa con el objeto de estimar el índice de visitas a estos lugares. De esta forma, fue posible establecer la abundancia relativa de carnívoros. Para esto, cada estación olfativa fue ubicada en una superficie de tierra cernida (o arena), para registrar la impronta de cada animal atraído por el cebo olfativo (Bobcat Urine), aumentando la probabilidad de obtener registros positivos (Muñoz-Pedrerros, 2008; Skewes, 2009).

El diseño muestral consideró la instalación de cuatro estaciones olfativas, en los hábitats de Rica rica - Pingo pingo y Brea - Cachiyuyo asociados a los transectos 1, 2, 9 y 10 (puntos de muestreo de mamíferos MM1, MM2, MM4 y MM5) presentes en cada uno de los sectores definidos para el estudio de mamíferos (i.e. Aguas de Quelana y Vegas de Carvajal). El muestreo mediante trampas de huellas no se llevó a cabo en el hábitat de pajonal debido a las dificultades metodológicas y de registro para su implementación en este ambiente, considerando la alta densidad y altura de la vegetación, así como la presencia de sustrato salino (sustrato no arenoso). Sin embargo, con el objeto de complementar los resultados obtenidos y realizar el seguimiento de macromamíferos, incluyendo el ambiente de pajonal, se instalaron de forma adicional, cámaras trampa en cada estación. Esta metodología consiste en la instalación de cámaras fotográficas con un sensor infrarrojo sensible al movimiento, el cual se activa obteniendo fotografías de las especies detectadas. Esta metodología resulta útil para el muestreo de especies evasivas, de hábitos nocturnos o de difícil detección visual (carnívoros y ungulados, entre otros). Las trampas son instaladas en lugares con muestras de actividad, tales como entrada de madrigueras, senderos o cuerpos de agua, utilizando un cebo para la atracción de animales. Las cámaras son mantenidas durante 3 noches, siendo programadas para funcionar durante las 24 horas del día.

Como índice se utilizó la proporción de visitas a cada estación por parte de macromamíferos, en función del número de noches en operación, expresado en porcentaje (Muñoz-Pedrerros et al., 1995; Rau & Muñoz-Pedrerros, 2009). Las estaciones fueron monitoreadas durante un período de tres días. Así mismo, durante las prospecciones en el Borde Este del Salar de Atacama se registraron los avistamientos directos y evidencia indirecta de carnívoros y macromamíferos (fecas, huellas, madrigueras, etc.) para determinar el uso y preferencias de hábitat de este grupo. Se debe mencionar que cada estación olfativa se ubicó a una distancia mínima de 300 metros respecto a las líneas de trampas Sherman (micromamíferos), con lo que se buscó evitar la interacción y posibles ataques por parte de los carnívoros atraídos hacia las estaciones olfativas.

El registro de ejemplares, estaciones de atracción, evidencia indirecta y ambientes fueron fotografiados (cuando las condiciones lo permitieron), y se establecieron sus coordenadas geográficas UTM (Universal Transversal de Mercator), Datum WGS84, Huso 19S.

4.3.3.6 Determinación del origen biogeográfico y singularidad de las especies

La determinación taxonómica de los animales se efectuó, de acuerdo con lo establecido en la RCA N° 226/2006, utilizando la siguiente bibliografía específica:

- Reptiles: Donoso-Barros (1966) y Pincheira-Donoso y Núñez (2005).
- Aves: Jaramillo (2005), Johnson (1965, 1967), Martínez y González (2005) y Stotz et al. (1997).
- Mamíferos: Mann (1978) y Muñoz y Yáñez (2000).

Adicionalmente, la información taxonómica y distribucional fue complementada con otras referencias bibliográficas, a saber:

- Reptiles: Cei (1962), Veloso y Navarro (1988), Núñez y Jaksic (1992), Vidal y Labra (2008), Demangel (2016), Mella (2017).
- Aves: Araya y Millie (1998), Bibby et al. (1992), Espinosa (1998), Blanco y Carbonell (2001), López-Lanús y Blanco (2005), Delany (2005) y Couve et al., (2016).
- Mamíferos: Osgood (1943), Mann (1958), Reise (1973), Muñoz-Pedrerros y Yáñez (2000) y Iriarte (2008)

Por otro lado, la identificación de especies de fauna singular se realizó sobre la base de las características de sensibilidad de las especies presentes en el área de estudio, considerando factores como el endemismo, el origen biogeográfico, categoría de conservación, límites de distribución²⁷, distribución restringida²⁸ y criterios de protección según la Ley de Caza (criterios BSE), correspondiente a la Ley N° 19.473 y su reglamento DS N° 5/1998 emitido por el Servicio agrícola y ganadero (SAG). Para el caso específico de las aves, se utilizó además la información existente en el “South American Classification Committee²⁹” (SACC, 2023).

Con respecto al criterio BSE, este criterio establecido en el Reglamento de la Ley de Caza permite catalogar a las especies en las siguientes categorías: B= especie catalogada como beneficiosa para la actividad silvo-agropecuaria, S= especie catalogada con densidades poblacionales reducidas, y E= especie catalogada como benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales (D.S. N° 05/98).

4.3.3.7 Estado de conservación de las especies

Para establecer el estado de conservación de las especies de fauna, se utilizaron los listados oficiales de especies en categoría de conservación de acuerdo con el Decreto Supremo N° 29/2011 del Ministerio del Medio Ambiente, que corresponde al actual Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres según Estado de Conservación (RCE; D.S. N° 75/05). A la fecha existen diecisiete [17] procesos de clasificación publicados en el Diario Oficial y el listado del Reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 5/1998). Estas

²⁷ El Proyecto se localiza en o cercano al límite de distribución geográfico de una o más especies nativas (latitudinal o altitudinal) Singularidad incorporada en abril 2023.

²⁸ Presencia de especies de distribución restringida. Singularidad incorporada en abril 2023.

²⁹ SACC, 2023. List Classification of Birds, Version 28 May 2023 by South American Classification Committee. <https://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCCountryLists.htm>

referencias contienen una clasificación de los vertebrados terrestres de Chile y sus estados de conservación por zonas del país.

Las referencias señaladas se consideran excluyentes, prevaleciendo el criterio asignado por los decretos aprobados de acuerdo con el RCE. Cuando alguna especie no se encuentra clasificada conforme a dicho sistema, se utilizó la clasificación del Reglamento de la Ley de Caza. En forma complementaria se consultó la literatura especializada para cada grupo, según establece la minuta “Prelación para efectos del SEIA de las clasificaciones y/o categorizaciones de las especies de flora y fauna silvestres” (CONAMA, 2009).

Las categorías de conservación consideradas corresponden a: En Peligro crítico (CR), En Peligro (EN), Vulnerable (VU), Casi amenazada (NT), Preocupación menor (LC) y Datos insuficientes (DD), según lo establecido en la RCE. Por su parte, para especies catalogadas según MINSEGPRES y Reglamento de la Ley de Caza, se definen: En Peligro (EN), Vulnerable (VU), Rara (R), Inadecuadamente conocida (IC) y Fuera de peligro (FP).

4.3.4 Materiales y equipos utilizados

Para realizar el levantamiento de la información y caracterización del componente fauna, se utilizaron los siguientes materiales y equipos: una cámara fotográfica Canon SX50, y una cámara fotográfica Canon D30, dos binoculares Carson 3D 10x50, un Telescopio monocular Sightmark 6-100 x 100, un Telescopio monocular Celestron Ultima 22-66 x 100, y cuatro GPS marca Garmin modelo eTrex. En la Tabla 4-34, se detallan los equipos y materiales utilizados en cada grupo faunístico.

Otros materiales utilizados en terreno fueron: un trípode, guías de campo, Tablet con aplicaciones por metodología y libreta de apuntes específicas por grupo taxonómico. Para el caso de micromamíferos, se utilizaron trampas de captura viva tipo Sherman (90). Para la implementación de estaciones de atracción olfativa para macromamíferos (i.e. trampas huella), se utilizaron harneros, palas y brochas, además del atractor olfativo BobCat Urine (orina de Lince). Finalmente, de manera complementaria para macromamíferos se instalaron 4 trampas cámaras, en los puntos definidos como M1, M2, M4 y M5.

Tabla 4-34. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
Reptiles	GPS Cámara fotográfica Binoculares
Censo de aves acuáticas	GPS Cámara fotográfica Binoculares telescopio Trípode Contador
Censo de aves terrestres	GPS Cámara fotográfica

Tabla 4-34. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
	Binoculares
Micromamíferos	GPS Cámara fotográfica Binoculares Trampas de captura viva tipo Sherman Algodón Avena machacada Vainilla Alcohol para desinfectar Guantes de nitrilo Guantes de cabritilla Protección respiratoria Bolsa para manipulación
Macromamíferos	GPS Cámara fotográfica Binoculares Atractor olfativo Brocha Cernidor Pala Trampas cámara

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.3.5 Fechas de muestreo de cada parámetro

De acuerdo con lo establecido en el Considerando 10.4.6 de la RCA 226/2006, el seguimiento de fauna se efectuará con una frecuencia anual durante el mes de abril de cada año. Para el periodo 2023 en la Tabla 4-35 se detallan las fechas en las que se desarrolló la campaña de abril para el subcomponente fauna.

Tabla 4-35. Fechas de muestreo Fauna

Subcomponente	Sector	Fechas de muestreo
Fauna	Borde Este	17 al 30 de abril 2023

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Los profesionales responsables y participantes del monitoreo son indicados en el Anexo 1.

4.5 Biota acuática

4.5.1 Ubicación puntos de monitoreo

El seguimiento de las variables relevantes comprometidas para este subcomponente ambiental es realizado en los sistemas lacustres de Soncor el que incluye las lagunas Barros Negros, Chaxa, Burro Muerto, y Puilar, el sistema Aguas de Quelana, compuesto por un gran número de cuerpos lacustres dispersos y de dimensiones variables y el Sistema Peine con las lagunas Salada, Saladita e Interna, de acuerdo con lo estipulado en el Considerando 10.5.2 de la RCA226/2006. Las estaciones de monitoreo en cada uno de los sistemas y cuerpos lacustres se detallan en Tabla 4-36 y su ubicación espacial se puede visualizar en la Figura 4-17 (Sistema Aguas de Quelana), Figura 4-18 (Sistema Soncor) y Figura 4-19 (Sistema Peine).

Tabla 4-36. Ubicación de los puntos de muestreo para Biota acuática.

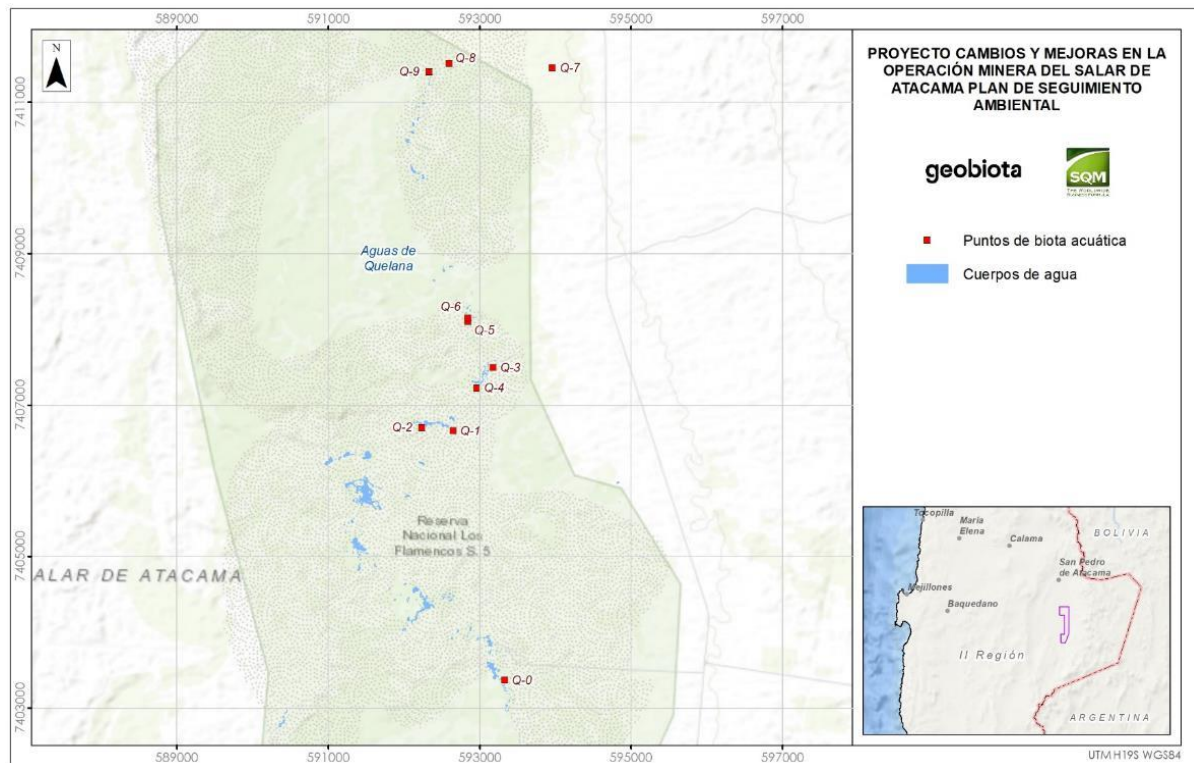
Sistema	Estación	Laguna	Coordenadas UTM (Datum WGS84 19S)	
			Este	Norte
Aguas de Quelana	Q-0	Quelana 0	593.353	7.403.585
	Q-1	Quelana 1	592.556	7.401.179
	Q-2	Quelana 2	592.176	7.406.940
	Q-3	Quelana 3	593.079	7.407.517
	Q-4	Quelana 4	592.948	7.407.289
	Q-5	Quelana 5	592.919	7.408.165
	Q-6	Quelana 6	592.882	7.408.228
	Q-7	Quelana 7	594.149	7.411.865
	Q-8	Quelana 8	592.810	7.411.863
	Q-9	Quelana 9	592.482	7.411.802
Soncor	PU-1	Puilar	588.187	7.422.739
	PU-2	Puilar	587.968	7.422.499
	PU-3	Puilar	587.476	7.422.307
	PU-4	Puilar	588.591	7.422.392
	PU-5	Puilar	588.107	7.422.157
	BN-1	Barros Negros	585.921	7.418.603
	BN-2	Barros Negros	585.885	7.417.292
	BN-3	Barros Negros (canal)	585.800	7.416.973
	CH-1	Laguna Chaxa	585.356	7.420.213
	BM-1	Canal Burro Muerto	584.178	7.424.913

Tabla 4-36. Ubicación de los puntos de muestreo para Biota acuática.

Sistema	Estación	Laguna	Coordenadas UTM (Datum WGS84 19S)	
			Este	Norte
Peine	PE-1	Laguna Interna	586.442	7.381.893
	PE-2		586.278	7.382.019
	PE-3		585.912	7.381.850
	SA-1	Laguna Salada	586.814	7.381.285
	SA-2	Laguna Saladita	587.604	7.380.483

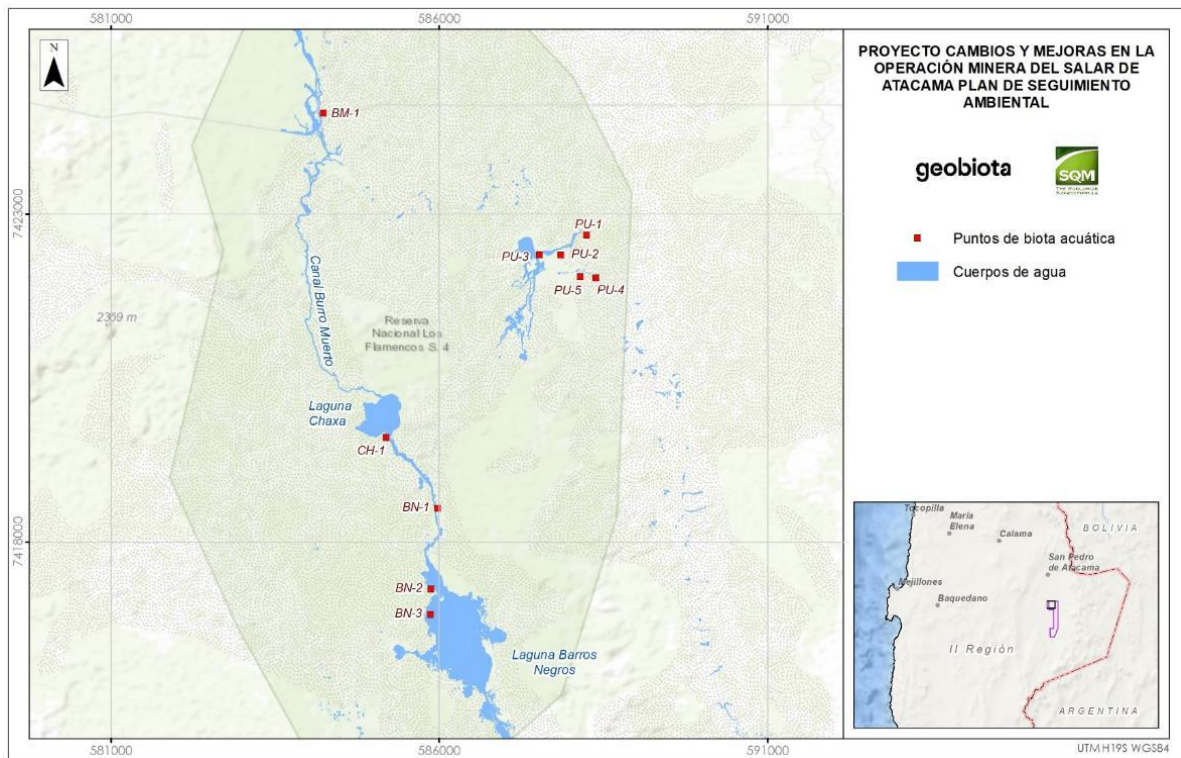
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-17. Ubicación espacial de los puntos de muestreo de Biota Acuática en Sistema Aguas de Quelana.



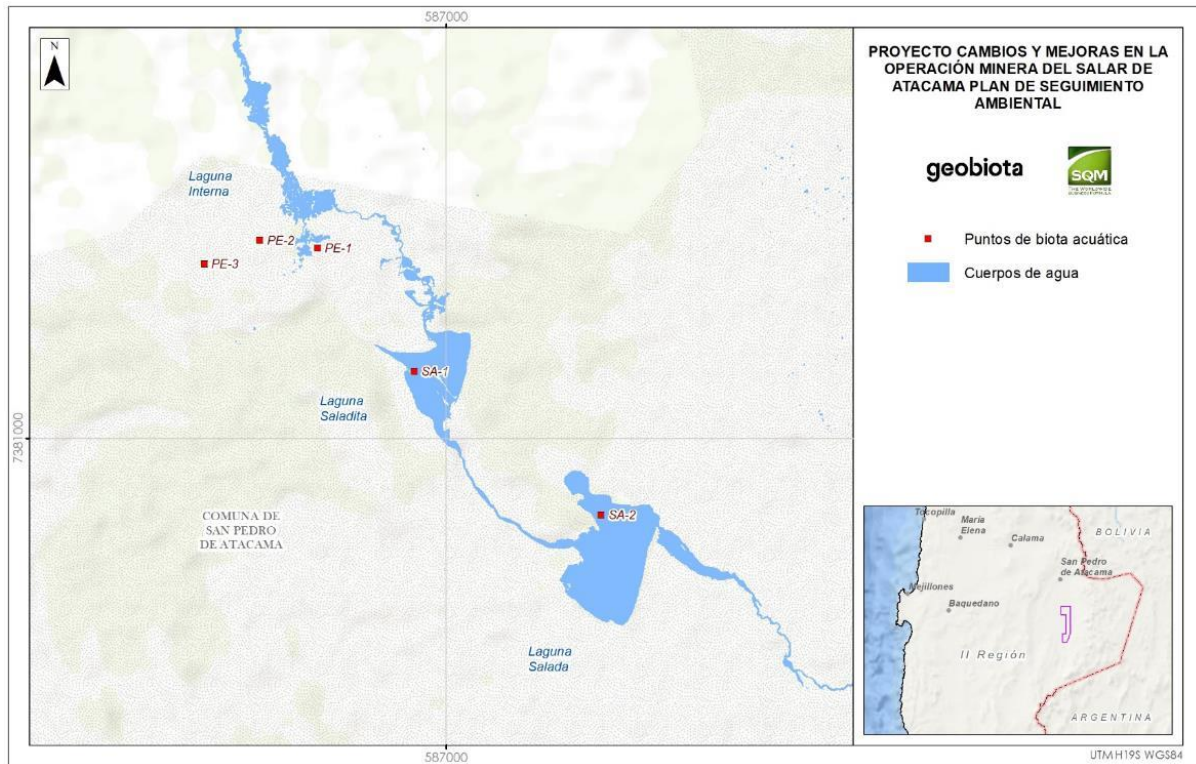
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-18. Ubicación espacial de los puntos de muestreo de Biota Acuática en Sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 4-19. Ubicación espacial de los puntos de muestreo de Biota Acuática en Sistema Peine.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.5.2 Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

De acuerdo con el Plan de Seguimiento de Biota Acuática expuesto en el considerando 10.5 de la RCA N°226/2006, se recolectaron muestras para la caracterizaron de los ensambles biológicos del fitobentos, fitoplancton, zoobentos, zooplancton, macrófitas y caracterización de hábitat incluyendo parámetros abióticos *in situ* en la columna de agua y sedimentos los que se indican en la Tabla 4-37

Tabla 4-37. Síntesis de parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

Componente	Subcomponente	Variable	Parámetro	Metodologías utilizadas
Biota acuática	Agua superficial	Calidad del agua	pH Conductividad eléctrica Temperatura, Oxígeno disuelto Salinidad (parámetro adicional a los exigidos por RCA)	Toma de muestra y análisis de acuerdo con la NCh 411 Mediciones in-situ usando sonda multiparámetros y análisis de laboratorio (ETFA; INN; ISO/IEC 17025:2005, ISO 9001, 14001, OHSAS)

Tabla 4-37. Síntesis de parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

Componente	Subcomponente	Variable	Parámetro	Metodologías utilizadas
	Sedimento	Calidad del sedimento	Temperatura Conductividad eléctrica	Toma de muestra y análisis de acuerdo con procedimientos establecidos en “Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life
	Fitobentos	Composición y diversidad	Abundancia Total Riqueza total Biomasa (contenido de clorofila)	Muestra de sedimento mediante testigo core 10 mm diámetro. Técnica de identificación y conteo mediante cámara Sedgwick-Rafter
	Fitoplancton	Composición y diversidad	Abundancia Total Riqueza total Biomasa (contenido de clorofila)	Filtrado 10 L. Técnica de identificación y conteo mediante cámara Sedgwick-Rafter
	Zoobentos	Composición y diversidad	Abundancia Total, Riqueza total Índice de Shannon Weiner	Muestra de sedimento mediante testigo core 70 mm diámetro. Identificación taxonómica mediante lupa binocular
	Zooplancton	Composición y diversidad	Abundancia Total Riqueza total	Filtración 10 L. de agua red 60 um. Identificación taxonómica mediante lupa binocular
	Plantas acuáticas	Composición y diversidad	Porcentaje de cobertura absoluta	Parcelas y transectos

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.5.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

A continuación, se indica la metodología empleada para la caracterización cualitativa y cuantitativa de los componentes bióticos analizados, así como para la determinación de parámetros fisicoquímicos del agua.

4.5.3.1 Medio abiótico

4.5.3.1.1 Parámetros físicos y químicos del agua

a. Toma de muestras de aguas y procedimientos analíticos

La toma de muestras y las mediciones *in situ* realizadas en la columna de agua y sedimento fueron ejecutadas por un inspector ambiental asociado al laboratorio ALS Global, entidad ETF A (N° 029-03 Res. Ex. 59/2022 y Res. Ex. 1648/2022 SMA) acreditada por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). La toma de muestras y su manejo fue realizado siguiendo las metodologías analíticas sugeridas por “Standard

Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, AWWA y WEF; 2005 y 2012), y los protocolos establecidos por el laboratorio ALS Global Ltda. destinados a la colecta, preservación y transporte apropiado de las muestras. El laboratorio ALS Global está acreditado por el Instituto Nacional de Normalización (INN) bajo los estándares de competencia establecidos en la norma internacional ISO/IEC 17025:2005. Como parte del protocolo de muestreo se realiza la colecta de muestras de clorofila desde la fracción bentónica. Estas muestras son analizadas por el laboratorio Plancton Andino SpA. el cual se encuentra acreditado bajo la Norma ISO/IEC 17025:2005 (certificado LE 1345).

b. Mediciones *in-situ*

Las mediciones *in situ* de parámetros fisicoquímicos fueron realizadas siguiendo la metodología establecida por la APHA AWWA y WEF 2012 con una sonda multiparámetro (HANNA hi9829), La sonda fue calibrada diariamente previo a la realización de las mediciones. El equipo multiparámetro cuenta con un GPS incorporado que permite archivar la ubicación donde se miden los parámetros. La medición consistió en la inmersión de la sonda por un período de 5 minutos y / o hasta que la lectura de los parámetros se estabiliza, cuidando de mantener los sensores sumergidos en la columna de agua, sin perturbar el fondo. Los parámetros registrados corresponden a los detallados a continuación:

- Temperatura (°C): precisión de 0,01 °C.
- pH: precisión 0,01 unidades de hidrógeno.
- Conductividad eléctrica (µS/cm): precisión 1 µS/cm de precisión.
- Oxígeno Disuelto (mg/L): precisión de 0,01 mg/L. Esta sonda multiparamétrica cuenta con un barómetro incorporado para la compensación concentración de OD. La saturación del oxígeno disuelto en el agua depende de factores que incluyen temperatura, presión atmosférica/altitud y salinidad, el equipo está diseñado para realizar mediciones considerando estas variables, por lo que funciona sobre los 4000 m. de altura sin perder precisión.

c. Toma de muestras en la columna de agua y sedimentos

Las muestras de la columna de agua para análisis en laboratorio fueron tomadas directamente desde el cuerpo de agua por un inspector ambiental autorizado en botellas de polietileno de alta densidad oscuras, para limitar el ingreso de luz, de 1 litro de capacidad. Las muestras fueron almacenadas en frío (4,0 °C) en cajas aislantes con ice-packs y transportadas al laboratorio dentro de los plazos definidos por el tiempo de preservación de las muestras.

4.5.3.2 Medio biótico

a. Fitobentos

Para la estimación de la composición y abundancia de los organismos fitobentónicos se obtuvieron muestras en duplicado para cada estación de muestreo, las cuales fueron extraídas mediante un testigo de un centímetro de diámetro, y fijadas con una solución de lugol, para su preservación y posterior análisis en laboratorio

(Figura 4-20.A). Para el análisis de las muestras se realizó un recuento en microscopía de acuerdo con el método de recuentos de células o colonias en Cámara Sedgwick-Rafter. En este análisis solo se consideraron los individuos vivos (con cloroplastos o remanentes). La identificación se realizó utilizando literatura lo más actualizada posible con la finalidad de llegar hasta el nivel taxonómico más detallado posible. Los resultados fueron expresados en número de células por centímetro cúbico (cel/cm³).

b. Fitoplancton

Para la estimación de la composición y abundancia de fitoplancton se tomaron muestras en duplicado mediante el uso de una red de 60µm de apertura de malla y filtrando un volumen conocido y estandarizado (10 L) (Figura 4-20.B). Posteriormente, la muestra fue fijada mediante una solución de lugol para su preservación y análisis en laboratorio. Para el análisis taxonómico de las muestras se realizó la identificación y recuento en microscopía de acuerdo con el método de recuentos de células o colonias en cámara Sedgwick-Rafter. Para la identificación se utilizó la literatura taxonómica más actualizada con la finalidad de llegar hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Las muestras fueron evaluadas respecto de su riqueza y abundancia de las microalgas presentes. Los resultados fueron expresados en número de células por litro (cel/L).

c. Zoobentos

Los organismos asociados al sustrato (bentos) de las lagunas fueron colectados muestras en duplicado, mediante un testigo de sedimento de 0,0085 m², y fijada con etanol al 70% para su preservación posterior análisis en el laboratorio (Figura 4-20.C). Las muestras en el laboratorio fueron cernidas con tamices de 0,25 y 0,5 mm de apertura de malla, la fauna retenida en los respectivos tamices fue separada y analizada. La identificación taxonómica se realizó de acuerdo con la información sistemática más reciente con la finalidad de llegar hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Las muestras fueron cuantificadas bajo microscopio estereoscópico (lupa) marca Nikon SMZ 645. Los resultados fueron expresados en número de organismos por metro cuadrado (ind/m²).

d. Zooplancton

Para la estimación de la composición y abundancia de los organismos que habitan permanente o temporalmente la columna de agua se colectaron muestras en duplicado para cada estación de muestreo. Las muestras fueron colectadas mediante una red de zooplancton de 110µm de apertura de malla, filtrando un volumen conocido y estandarizado (10 L) (Figura 4-20.D). En terreno las muestras fueron fijadas con etanol al 70%, para su preservación y posterior análisis en laboratorio. Para el recuento de organismos, se utilizó una cámara de recuento zigzagueante de 10ml (cámara Bogorov), analizando la totalidad de la muestra. La identificación taxonómica se realizó de acuerdo con la información sistemática más reciente con la finalidad de llegar hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Los resultados fueron expresados en número de individuos por litro (ind/L).

e. Clorofila-a en fracción Planctónica y Bentónica

Para determinar la clorofila-a en la fracción planctónica y bentónica las muestras fueron colectadas por el Inspector Ambiental autorizado y estas fueron enviadas al laboratorio. Las muestras fueron analizadas de acuerdo con lo establecido en Standard Methods 10.200 Plankton (H). 2012 por el laboratorio Plancton

Andino SpA (fracción bentónica) y por el laboratorio ALS Global Ltda (fracción planctónica), ambos acreditados bajo los estándares de competencia técnica de la norma internacional ISO/IEC 17025:2005. Los resultados fueron expresados como $\mu\text{g/L}$ y mg/m^2 de Clorofila a total.

f. Plantas acuáticas (macrófitas)

Para la caracterización de las plantas acuáticas se realizó un reconocimiento *in situ* de la cobertura relativa de macrófitos e identificación de taxa presentes, en el caso de no poder realizar la identificación taxonómica *in situ*, se procedió a tomar muestras de las plantas acuáticas para ser transportadas al laboratorio y ser identificadas posteriormente. Según la revisión de antecedentes, este componente biológico ha sido encontrado exclusivamente en el sector de Aguas de Quelana, sin embargo, en la presente campaña también fue identificada en el sistema hidrológico de Peine (Figura 4-20 E-F).

La identificación de las plantas acuáticas se realizó en base a la bibliografía más reciente. La cobertura de las distintas especies se estimó visualmente de acuerdo con una modificación del protocolo de Braun-Blanquet. Para lo anterior, se establecieron 4 rangos de valores, los cuales representan la productividad local de cada especie:

- 0-25 % de cobertura absoluta en el sector en el cual crecen macrófitas e hidrófilas
- 25-50 % de cobertura absoluta en el sector en el cual crecen macrófitas e hidrófilas
- 50-75 % de cobertura absoluta en el sector en el cual crecen macrófitas e hidrófilas
- 75-100 % de cobertura absoluta en el sector en el cual crecen macrófitas e hidrófilas

Figura 4-20. Ubicación espacial de los puntos de muestreo de Biota Acuática en Sistema Aguas de Quelana.



A.- Toma de muestra de fitobentos



B.- Toma de muestra de fitoplancton



C.- Toma de muestras de zoobentos



D.- Toma de muestras de zooplancton



E y F.- Cobertura de macrófitas en los cuerpos de agua.

Fuente: Registro fotográfico en terreno, Geobiota 2023

4.5.3.3 Análisis estadísticos en las distintas matrices de estudio

Para la evaluación de diferencias estadísticas entre campañas en las distintas matrices de estudio (Componente biótico: calidad de agua y sedimento. Componente biológico), se realizaron análisis univariados previa evaluación de los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia de los datos. Adicionalmente se realizaron pruebas no paramétricas y multivariados, estos últimos solo aplicados en las matrices biológicas, excepto para las macrófitas.

Para cada componente biológico (fitobentos, fitoplancton, zoobentos y zooplancton) se calcularon descriptores ecológicos de diversidad alfa (índice de Shannon-Wiener, riqueza específica, abundancia, índice de Simpson e índice de Pielou) mediante el programa *Past 4.13* (Hammer *et al.*, 2001) para cada estación y sistema lagunar. Para determinar diferencias significativas entre los parámetros ecológicos de cada estación de muestreo, se utilizó pruebas paramétricas (test de Student) y no paramétricas (test de Wilcoxon), mediante el uso del programa *Rstudio Team* (2020).

La estructura comunitaria y su comparación espacial (con otros sistemas lagunares) fue evaluado mediante un análisis de PERMANOVA (Anderson, 2001), considerando solo un factor, los sistemas lagunares. Los datos biológicos utilizados fueron estandarizados y transformados a raíz cuadrada. El análisis de PERMANOVA fue efectuado mediante el paquete estadístico de Vegan (*Rstudio Team*, 2020).

Por último, todos los gráficos presentes en el informe fueron elaborados utilizando el paquete de Ggplot2, del programa *Rstudio Team* (2020).

4.5.4 Materiales y equipos utilizados

En la siguiente Tabla, se detallan los materiales y equipos utilizados para las mediciones de los parámetros abióticos para lo cual se utiliza un equipo multiparámetro para las mediciones *in situ* y recolección de muestras para los análisis en laboratorio, además se detallan los materiales y equipos para la recolección de muestras bióticas.

Tabla 4-38. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
Medio abiótico	Multiparamétrico HANNA INSTRUMENTO HI9829 (pH) Multiparamétrico HANNA INSTRUMENTO HI9830 (temperatura) Multiparamétrico HANNA INSTRUMENTO HI9831 (OD) Multiparamétrico HANNA INSTRUMENTO HI9832 (CE) Multiparamétrico HANNA INSTRUMENTO HI9833 (Salinidad) Rotuladores Fascos
Medio biótico	Testigo de sedimento de 1 cm de diámetro Testigo de sedimento de 10 cm de diámetro Red de 100 micras con copo receptor Cuadrantes/cinta métrica de 2 metros Red de 60 micras con copo receptor Fascos 250 ml de macroinvertebrados Fascos Falcon 15 ml clorofila bentónica y perifiton Fascos Falcon 50 ml fitoplancton y zooplancton Cinta métrica (1) Etanol 1 L Piseta

Tabla 4-38. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
	Placa Petri
	Redes de plancton
	Embudo
	Pipeta Lugol
	Plato
	Lugol
	Red de fitoplancton (60 micras)
	Red de zooplancton (100 micras)
	Testigo o core de 10 cm de diámetro
	Testigo o core de 1 cm de diámetro
	Tamices de 200, 300 y 500 micras

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

4.5.5 Fechas de muestreo de cada parámetro

El muestreo de la flora y suelo se llevó a cabo en las siguientes fechas:

Tabla 4-39. Fechas de muestreo de biota acuática

Componente	Sector	Fechas de muestreo
Biota Acuática	Soncor (Chaxa)	24 de mayo de 2023
	Soncor (Puilar y Burro muerto)	28 de abril de 2023
	Aguas de Quelana y Burro muerto	25 de abril de 2023
	Peine	24 de abril de 2023

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Los profesionales responsables y participantes del monitoreo son indicados en el Anexo 1.

5 Resultados

5.1 Flora y vegetación

5.1.1 Monitoreo de la vegetación mediante imágenes satelitales

Se presentan los resultados del mapa de vegetación del mes de abril 2023 (Anexo 3. Mapa de Vegetación Borde Este), a fin de detectar cambios en la distribución, abundancia y vitalidad de la vegetación. Toda la información recopilada en terreno, a saber: tipo biológico, especies dominante, cobertura por especie, estado vital, porcentaje de copa vida y fenología se presenta en el Anexo 5.

A continuación, se analizan las caracterizaciones en terreno, para luego presentar los resultados de las superficies de cada tipo vegetacional identificado en el Borde Este del Salar de Atacama.

5.1.1.1 Análisis de las caracterizaciones de terreno

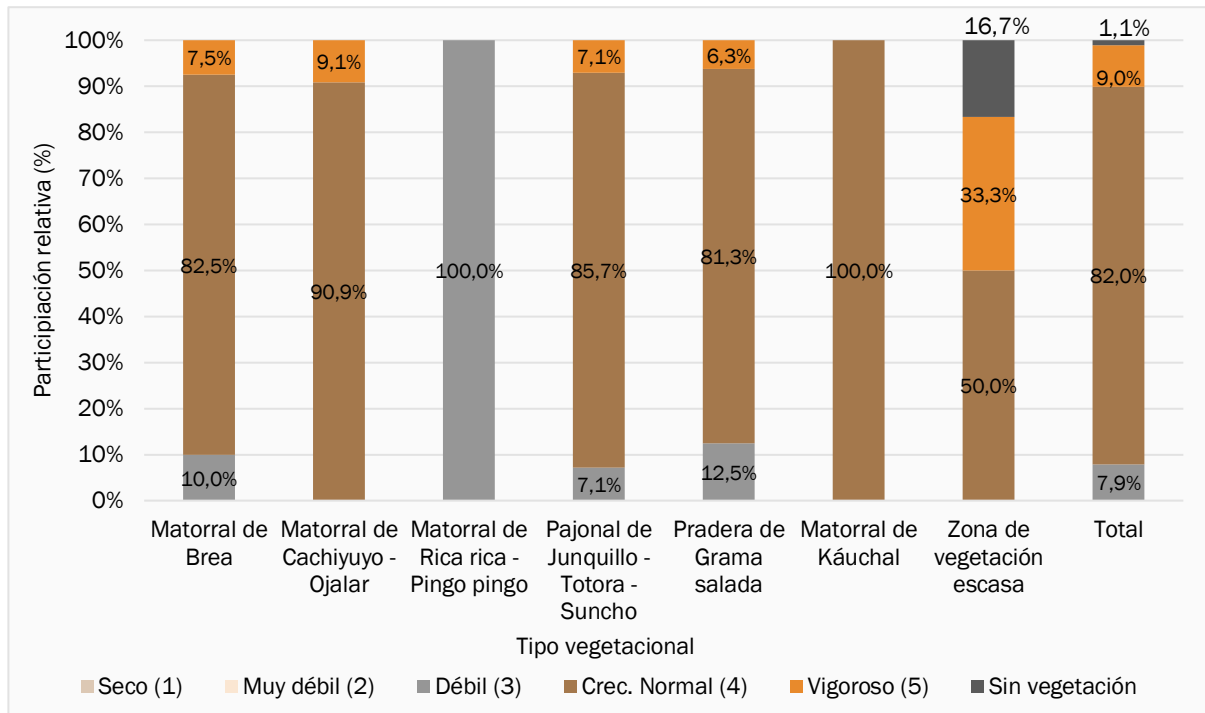
En esta sección se analizan las 99 descripciones de vegetación en terreno (muestras), comprometidas en la RCA N° 226/2006, las que pertenecen a la red de puntos utilizados en la campaña pre-operacional del Proyecto, efectuada en abril de 2006.

Cabe mencionar que 10 puntos de monitoreo ubicados en territorio perteneciente a la demanda territorial de la comunidad Atacameña de Peine, no pudieron ser monitoreados debido a que no se otorgaron los permisos de muestreo por parte de la comunidad, por lo que, los resultados expuestos en las secciones siguientes se han obtenido sobre la base de 89 estaciones de muestreo (Ver Anexo 24. Medio de Verificación puntos no realizados).

5.1.1.1.1 Estado vital

De las 89 observaciones de vegetación realizadas en el periodo 2023, la mayoría se ubicó en la categoría de vitalidad Crecimiento normal, concentrando el 82% de las muestras, equivalente a 73 descripciones de terreno. Por su parte, un 9% (8 muestras) se ubicó en la categoría de vitalidad excepcionalmente vigoroso; mientras que la categoría débil comprende un 7,9% de las muestras, al identificarse 7 unidades con esta categoría. Cabe indicar que no se identificaron muestras en las categorías seco y muy débil, mientras que se registró 1 muestra sin vegetación, tal como se presenta en la Figura 5-1 en forma diferenciada por formación vegetacional.

Figura 5-1. Vitalidad de las formaciones vegetacionales en el Borde este del Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

En el área de estudio existen 40 unidades de vegetación con presencia de Matorral de Brea, de ellas 33 presentaron una vitalidad normal (82,50% del total); mientras que, en 4 unidades la vitalidad fue débil (10,00% del total). En proporciones menores, se presenta la categoría excepcionalmente vigoroso, con 3 descripciones equivalente al 7,50% del total. No se evidenciaron las categorías seco y muy débil. La distribución de frecuencias en cada una de las diferentes categorías se observa en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de matorral de Brea.

Categoría de vigor	N° muestras	% de representación
Seco	0	0,00%
Muy débil	0	0,00%
Débil	4	10,00%
Crecimiento normal	33	82,50%
Excepcionalmente vigoroso	3	7,50%
Total, muestreado	40	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Por su parte, las caracterizaciones realizadas sobre matorrales de Cachiyuyo - Ojalar, también se presentaron mayoritariamente con crecimiento normal (en un 90,91% de las muestras). El 9,09% restante (1 muestra) se

encuentra en la categoría Excepcionalmente vigoroso. El detalle de las mediciones en cada categoría se muestra en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de matorral de Cachiyuyo - Ojalar.

Categoría de vitalidad	N° muestras	% de representación
Seco	0	0,00%
Muy débil	0	0,00%
Débil	0	0,00%
Crecimiento normal	10	90,91%
Excepcionalmente vigoroso	1	9,09%
Total	11	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Se realizó una única muestra en el matorral de Rica rica – Pingo pingo, la cual se identificó en la categoría débil, tal como se observa en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de matorral de Rica rica – Pingo pingo.

Categoría de vitalidad	N° muestras	% de representación
Seco	0	0,00%
Muy débil	0	0,00%
Débil	1	100,00%
Crecimiento normal	0	0,00%
Excepcionalmente vigoroso	0	0,00%
Total	1	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

El 85,71% de las muestras de la pradera Junquillo – Totora – Suncho (12 de 14 puntos) presentaron vitalidad en la categoría normal. Mientras que, una muestra se observó en la categoría de crecimiento débil y otra, en la categoría vigoroso (7,14% del total cada una).

Tabla 5-4. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de pradera de Junquillo-Totora-Suncho.

Categoría de vitalidad	N° muestras	% de representación
Seco	0	0,00%
Muy débil	0	0,00%
Débil	1	7,14%
Crecimiento normal	12	85,71%
Excepcionalmente vigoroso	1	7,14%
Total	14	100,00%

Tabla 5-4. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de pradera de Junquillo-Totora-Suncho.

Categoría de vitalidad	N° muestras	% de representación
------------------------	-------------	---------------------

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

La pradera de Grama salada (Tabla 5-5). presentó la mayor parte de los registros en la categoría normal (13 unidades; 81,25% del total). Mientras que en dos puntos de muestreo se registró la categoría débil (12,50% del total) y en una unidad la categoría excepcionalmente vigoroso (6,25% del total).

Tabla 5-5. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de pradera de Grama salada.

Categoría de vitalidad	N° muestras	% de representación
Seco	0	0,00%
Muy débil	0	0,00%
Débil	2	12,50%
Crecimiento normal	13	81,25%
Excepcionalmente vigoroso	1	6,25%
Total	16	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Se realizó una única muestra en el matorral de Káuchal, la cual se identificó en la categoría crecimiento normal, tal como se observa en la Tabla 5-3.

Tabla 5-6. Categoría de vitalidad registrada en las formaciones de matorral de Káuchal.

Categoría de vitalidad	N° muestras	% de representación
Seco	0	0,00%
Muy débil	0	0,00%
Débil	0	0,00%
Crecimiento normal	1	100,00%
Excepcionalmente vigoroso	0	0,00%
Total	1	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Además, se registraron 6 unidades de vegetación escasa, en 3 de ellas se registraron plantas con crecimiento normal (50% del total) mientras que 2 la vegetación se presentó en la categoría excepcionalmente vigoroso (33,33% del total), además, se registró una unidad desprovista de vegetación (16,67% del total).

Tabla 5-7. Categoría de vitalidad registrada en las zonas de vegetación escasa (ZVE).

Categoría de vitalidad	N° muestras	% de representación
Sin vegetación*	1	16,67%

Tabla 5-7. Categoría de vitalidad registrada en las zonas de vegetación escasa (ZVE).

Categoría de vitalidad	N° muestras	% de representación
Seco	0	0,00%
Muy débil	0	0,00%
Débil	0	0,00%
Crecimiento normal	3	50,00%
Excepcionalmente vigoroso	2	33,33%
Total	6	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

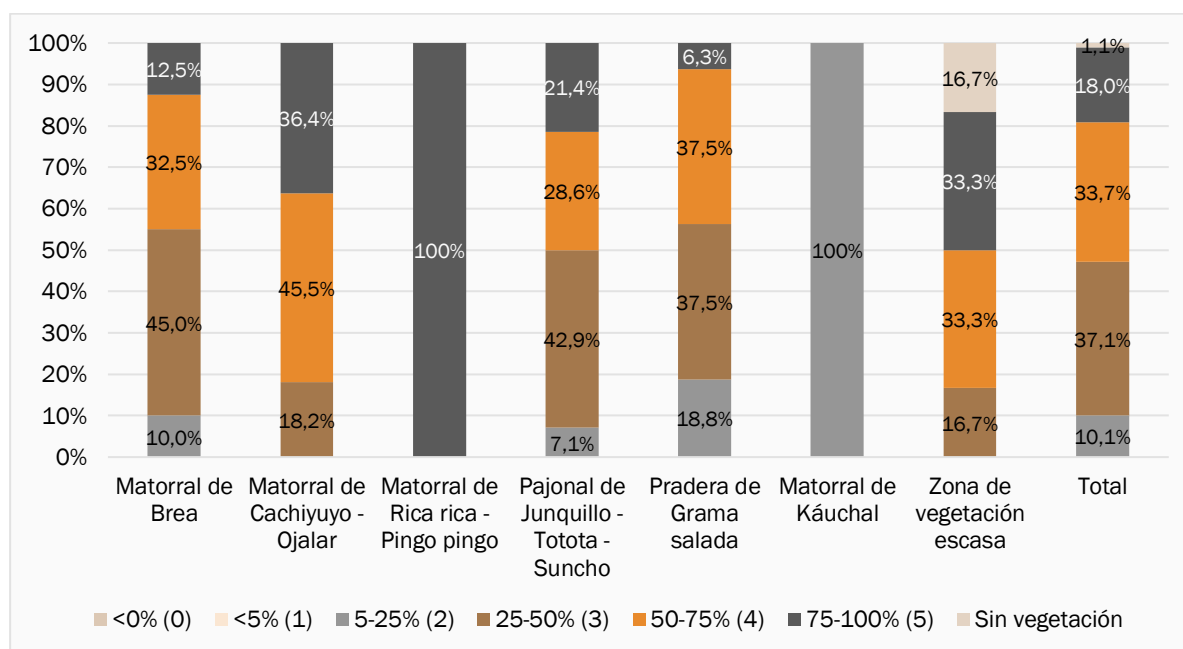
El detalle de las descripciones vegetacionales de terreno se entregan en el Anexo 5.

5.1.1.1.2 Porcentaje de copa viva

Los resultados generales y por formación vegetacional se presentan en la Figura 5-2 y los resultados específicos para cada punto se observan en el Anexo 5.

A nivel general, de las 89 descripciones de vegetación realizadas en el 2023, el 37,1% de las muestras (33 puntos) presentan copa viva entre 25-50%. Por otra parte, se identificaron 30 descripciones (33,7% del total) con copa viva entre 50-75% y 16 descripciones en la categoría 75-100% (18% del total). Por otro lado, se identifican 9 descripciones donde las plantas se catalogaron con copa viva entre 5-25% (10,1% del total). Además, de una descripción en un área desprovista de vegetación. El detalle de estas proporciones por categoría de copa viva se presenta en la Figura 5-2.

Figura 5-2. Proporción de porcentaje de copa viva de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Las evaluaciones particulares en cada formación vegetacional mostraron que la mayoría de los registros del matorral de Brea se presentaron tanto en la categoría 25-50% (45,00% de las muestras). Le siguen la categoría 50-75% con una representación de 32,50% (13 registros), continuado por la categoría 75-100% con un 12,50% (5 registros). En último lugar se encuentra la categoría 5-25%, con 4 registros (10,00% de las muestras).

Tabla 5-8. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Brea.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
0%	0	0,00%
<5%	0	0,00%
5-25%	4	10,00%
25-50%	18	45,00%
50-75%	13	32,50%
75-100%	5	12,50%
Total	40	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Las descripciones realizadas en el matorral de Cachiyuyo – Ojalar, dan cuenta que el porcentaje de copa viva de esta formación se ubica exclusivamente en las categorías mayores a 25% de follaje verde (Tabla 5-9). En particular, se observan cinco registros dentro de la categoría 50-75% (45,45% de la representatividad), cuatro dentro del rango 75-100% (36,36% del total) y dos en la categoría 25-50% (18,19% del total).

Tabla 5-9. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Cachiyuyo – Ojalar.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
0%	0	0,00%
<5%	0	0,00%
5-25%	0	0,00%
25-50%	2	18,19%
50-75%	5	45,45%
75-100%	4	36,36%
Total	11	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

El matorral de Rica rica – Pingo pingo posee un único registro (Tabla 5-10), el cual se encuentra en la categoría 75-100%.

Tabla 5-10. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Rica rica – Pingo pingo.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
0%	0	0,00%
<5%	0	0,00%
5-25%	0	0,00%
25-50%	0	0,00%
50-75%	0	0,00%
75-100%	1	100,00%
Total	1	100,00%

Fuente: Elaboracion propia, Geobiota 2023

Por su parte, las descripciones realizadas en la pradera de Junquillo – Totora – Suncho, dan cuenta que el porcentaje de copa viva de esta formación se ubica en las categorías mayores a 5% de follaje verde (Tabla 5-11). En particular, se observan seis registros dentro de la categoría 25-50% (42,86% de la representatividad), cuatro dentro del rango 50-75% (28,57% del total), tres en la categoría 75-100% (21,43% del total) y una en la categoría 5-25% (7,17% del total).

Tabla 5-11. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Junquillo-Totora-Suncho.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
0%	0	0,00%
<5%	0	0,00%
5-25%	1	7,17%
25-50%	6	42,86%
50-75%	4	28,57%
75-100%	3	21,43%
Total	14	100,00%

Fuente: Elaboracion propia, Geobiota 2023

La pradera de Grama Salada presentó 16 registros (Tabla 5-12), los cuales se distribuyen principalmente en las categorías 25-50% y 50-75% con 6 registros cada una (37,5% del total respectivamente). Además, de tres registros en la categoría 5-25% (18,8% del total) y una en la categoría 75-100% (6,25% del total).

Tabla 5-12. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Grama salada.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
<5%	0	0%
5-25%	3	18,75%
25-50%	6	37,50%

Tabla 5-12. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Grama salada.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
50-75%	6	37,5%
75-100%	1	6,25%
Total	16	100

Fuente: Elaboracion propia, Geobiota 2023

Se realizó una única descripción de vegetación en el Matorral de Káuchal, describiendo a esta unidad en la categoría 5-25% de copa viva (Tabla 5-13).

Tabla 5-13. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Káuchal.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
0%	0	0,00%
<5%	0	0,00%
5-25%	1	100,0%
25-50%	0	0,00%
50-75%	0	0,00%
75-100%	0	0,00%
Total	1	100,00%

Fuente: Elaboracion propia, Geobiota 2023

Además, se registraron 6 unidades de zona de vegetación escasa (Tabla 5-14), donde la cobertura vegetal es inferior al 5%. Estas unidades presentaron las siguientes categorías de porcentaje de copa verde: dos unidades se registraron con la categoría 50-75% (33,33% del total), dos unidades se registraron con la categoría 75-100% (33,33% del total), una unidad se registró en la categoría 25-50% (16,67% del total) y una unidad se registró sin vegetación (16,67%).

Tabla 5-14. Categoría de copa viva registrada en las zonas de vegetación escasa (ZVE).

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
0%	1	16,67%
<5%	0	0,00%
5-25%	0	0,00%
25-50%	1	16,67%
50-75%	2	33,33%
75-100%	2	33,33%
Total	6	100,00%

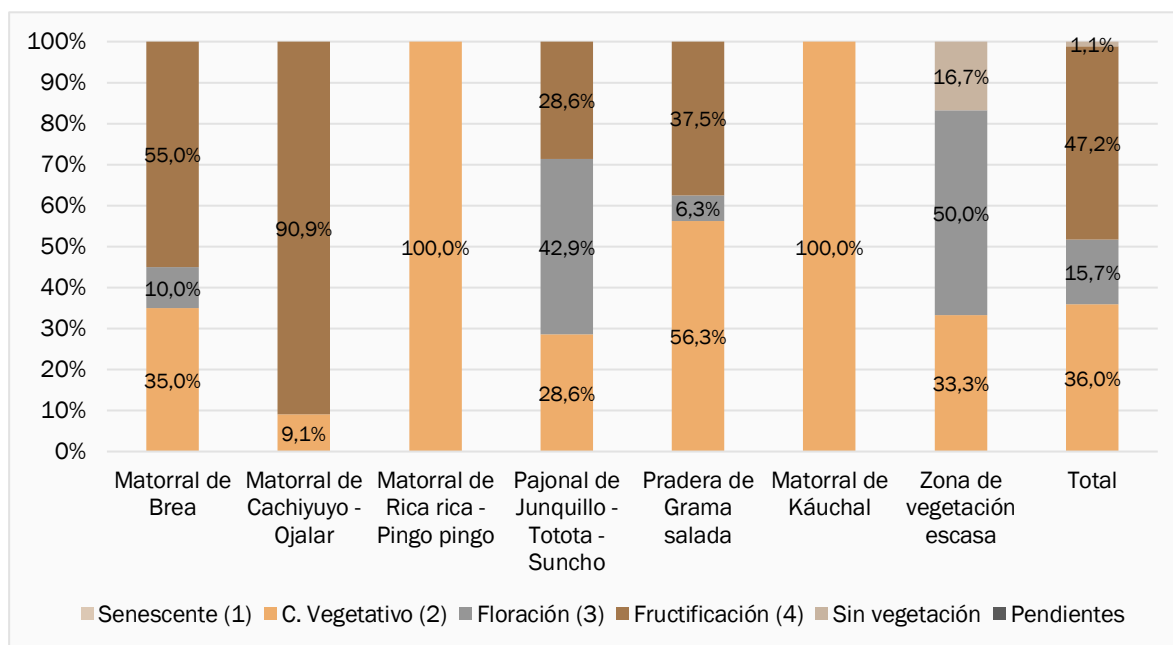
Fuente: Elaboracion propia, Geobiota 2023

5.1.1.1.3 Fenología

A continuación, se analiza las etapas fenológicas que presentan los distintos tipos vegetacionales del Borde Este del Salar de Atacama en el mes de abril 2023, los cuales se grafican en la Figura 5-3 y las que se presentan detalle en el Anexo 5

Un 47,2% de las muestras se encontraron con fructificación en la época de monitoreo. Le sigue proporcionalmente la categoría de crecimiento vegetativo con un 36% de las muestras. Mientras que, aquellas unidades con floración alcanzaron un 15,7%. Una unidad se registró sin presencia de vegetación.

Figura 5-3. Fenología de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Respecto al comportamiento de la fenología a nivel de tipo vegetacional, cabe destacar que en 22 unidades de matorral de Brea se registró la etapa de fructificación (55,00% del total) y en 14 unidades la etapa de crecimiento vegetativo (35,00% del total); en menor medida, se registraron 4 unidades donde predominaron individuos en floración (10,00% del total).

Tabla 5-15. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Brea.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
Senescente	0	0,00%
C. Vegetativo	14	35,00%
Floración	4	10,00%
Fructificación	22	55,00%
Total	40	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

En el matorral de Cachiyuyo – Ojalar (Tabla 5-16) dominó la fase de fructificación, al presentarse en 10 muestras (90,91% del total), mientras que una muestra presentó crecimiento vegetativo (9,09% del total).

Tabla 5-16. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Cachiyuyo – Ojalar

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
Senescente	0	0,00%
C. Vegetativo	1	9,09%
Floración	0	0,00%
Fructificación	10	90,91%
Total	11	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Por otra parte, el matorral de Rica rica – Pingo pingo (Tabla 5-17) y el matorral de Káuchal (Tabla 5-18), en su totalidad fueron registrados con crecimiento vegetativo.

Tabla 5-17. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Rica rica – Pingo pingo.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
Senescente	0	0,00%
C. Vegetativo	1	100,00%
Floración	0	0,00%
Fructificación	0	0,00%
Total	1	100%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Tabla 5-18. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de matorral de Káuchal.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
Senescente	0	0,00%
C. Vegetativo	1	100,00%
Floración	0	0,00%
Fructificación	0	0,00%
Total	1	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

La pradera de Junquillo – Totorá – Suncho registró en 6 puntos (42,86% del total) la fase fenológica de floración, seguido de cuatro registros (28,57% del total) con fructificación y cuatro registros con crecimiento vegetativo (28,57% del total).

Tabla 5-19. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Junquillo-Totora-Suncho.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
Senescente	0	0,00%
C. Vegetativo	4	28,57%
Floración	6	42,86%
Fructificación	4	28,57%
Total	14	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Por su parte, la pradera de Grama Salada, en 9 descripciones (56,25% del total) registró crecimiento vegetativo, en 6 descripciones se registró fructificación (37,50% del total) y sólo en una se registró floración (6,25% del total).

Tabla 5-20. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Grama salada.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
Senescente	0	0,00%
C. Vegetativo	9	56,25%
Floración	1	6,25%
Fructificación	6	37,50%
Total	16	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Se realizaron 6 descripciones en zonas de vegetación escasa, en tres de ellas se observaron plantas con floración (50,00% del total), mientras que en dos se registró presencia de crecimiento vegetativo (33,33% del total). Además, en una unidad se registró sin vegetación (16,67% del total).

Tabla 5-21. Categoría de copa viva registrada en las formaciones de pradera de Grama salada.

Categoría de copa viva	N° muestras	% de representación
Sin vegetación	1	16,67%
Senescente	0	0,00%
C. Vegetativo	2	33,33%
Floración	3	50,00%
Fructificación	0	0,00%
Total	6	100,00%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.1.1.2 Superficie de las formaciones vegetacionales mediante imágenes satelitales

En esta sección, se presentan los resultados de la clasificación de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama, la cual se realizó sobre la base de la interpretación y análisis de imágenes satelitales capturadas en el mes de abril de 2023 y descripciones de terreno efectuadas en el periodo 2023.

La vegetación del Borde Este del periodo 2023 se constituye de seis tipos vegetacionales, con diferentes grados de cobertura. La distribución de los tipos vegetacionales en el Borde Este del Salar se presentan en el Anexo 3 correspondiente al periodo de abril 2023 y Anexo 4 correspondiente al periodo trimestral (enero, julio y octubre), a saber:

- Matorral de Rica rica – Pingo pingo (*Aloysia deserticola* – *Ephedra multiflora*)
- Matorral de Cachiyuyo – Ojalar (*Atriplex atacamensis*- *Atriplex imbricata*)
- Matorral de Brea (*Tessaria absinthioides*)
- Pradera de Grama Salada (*Distichlis spicata*)
- Matorral de Káuchal (*Tiquilia atacamensis*)
- Pajonal de Junquillo - Totorá - Suncho (*Juncus balticus*, *Schoenoplectus americanus* y *Baccharis juncea*)

Los resultados obtenidos en el periodo 2023 (Tabla 5-22 y Figura 5-4) indican que la superficie cubierta con vegetación en el Borde Este de Salar de Atacama alcanza 14.100,8 ha. La formación vegetacional con mayor representación corresponde al matorral de Brea, que cubre una superficie de 7.359,40 ha, equivalente al 52,2% de toda la vegetación presente en el área.

Las praderas de Grama salada y el matorral de Cachiyuyo - Ojalar presentan superficies de ocupación de 2.251,66 y 1.801,89 ha respectivamente, con porcentajes de 16% y 12,8%, cada uno. Las otras formaciones vegetacionales identificadas corresponden al matorral de Rica rica – Pingo pingo, Pajonal y Matorral de Káuchal.

El detalle de las superficies por tipo vegetacional y cobertura se presenta en la Tabla 5-22.

Tabla 5-22. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama año 2023

N°	Formación	Cobertura	Cobertura (%)	Superficie (Ha)
1	Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> - <i>Ephedra multiflora</i>	Abierto	25 - 50	3,74
	(Rica rica-Pingo pingo)	Muy Abierto	10 - 25	190,71
		Ralo	5 - 10	242,14
	Subtotal			436,59
2		Semidenso	50 - 75	35,94

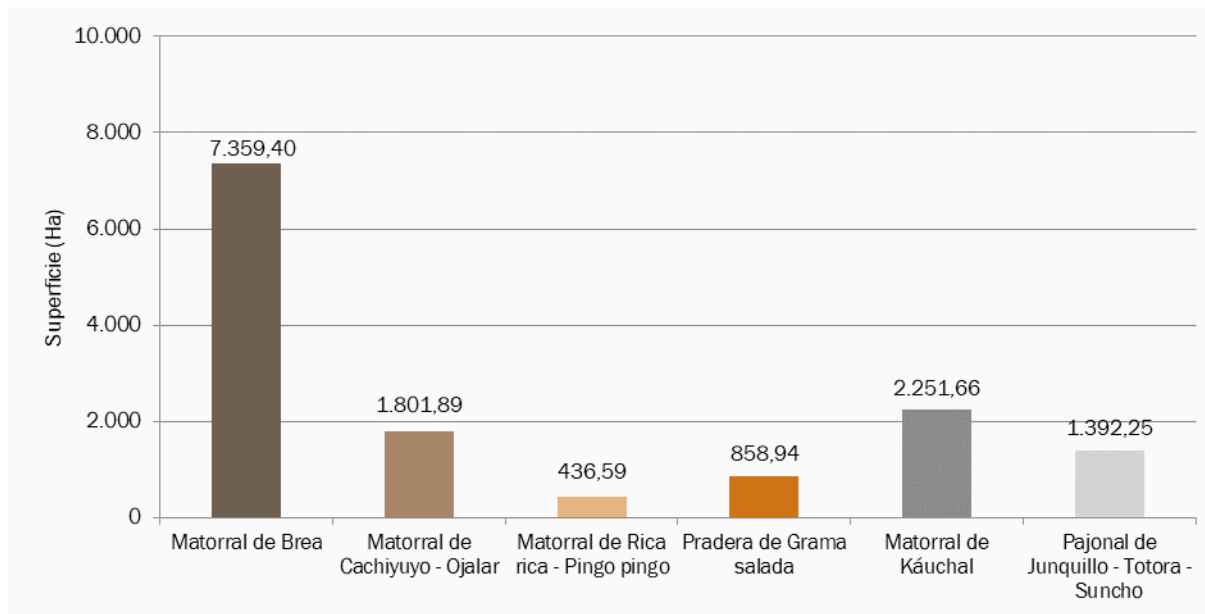
Tabla 5-22. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama año 2023

N°	Formación	Cobertura	Cobertura (%)	Superficie (Ha)
	Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i> – <i>Atriplex imbricata</i> (Cachiyuyo - Ojalar)	Abierto	25 - 50	135,32
		Muy abierto	10 - 25	808,09
		Ralo	5 - 10	822,54
		Subtotal		1.801,89
3	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)	Denso	75 - 100	139,43
		Semidenso	50 - 75	611,98
		Abierto	25 - 50	1.244,01
		Muy abierto	10 - 25	2.652,41
		Ralo	5 - 10	2.711,57
		Subtotal		7.359,40
4	Matorral de <i>Tiquilia atacamensis</i> (Káuchal)	Abierto	25 - 50	822,57
		Muy abierto	10 - 25	14,13
		Ralo	5 - 10	22,24
		Subtotal		858,94
5	Pradera de <i>Distichlis spicata</i> (Gramasalada)	Denso	75 - 100	117,57
		Semidenso	50 - 75	230,72
		Abierto	25 - 50	374,98
		Muy abierto	10 - 25	573,15
		Ralo	5 - 10	955,24
		Subtotal		2.251,66
6	Pajonal de <i>Juncus balticus</i> - <i>Schoenoplectus americanus</i> - <i>Baccharis juncea</i> (Junquillo - Totoras - Suncho)	Denso	75 - 100	289,36
		Semidenso	50 - 75	249,80
		Abierto	25 - 50	177,44
		Muy abierto	10 - 25	374,19
		Ralo	5 - 10	301,46
		Subtotal		1.392,25
Total				14.100,73

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Las superficies de los tipos vegetacionales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama se presentan de manera gráfica en la Figura 5-4.

Figura 5-4. Superficie (ha) de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama



Fuente: Elaboracion propia, Geobiota 2023

5.1.1.3 Monitoreo trimestral de la vegetación

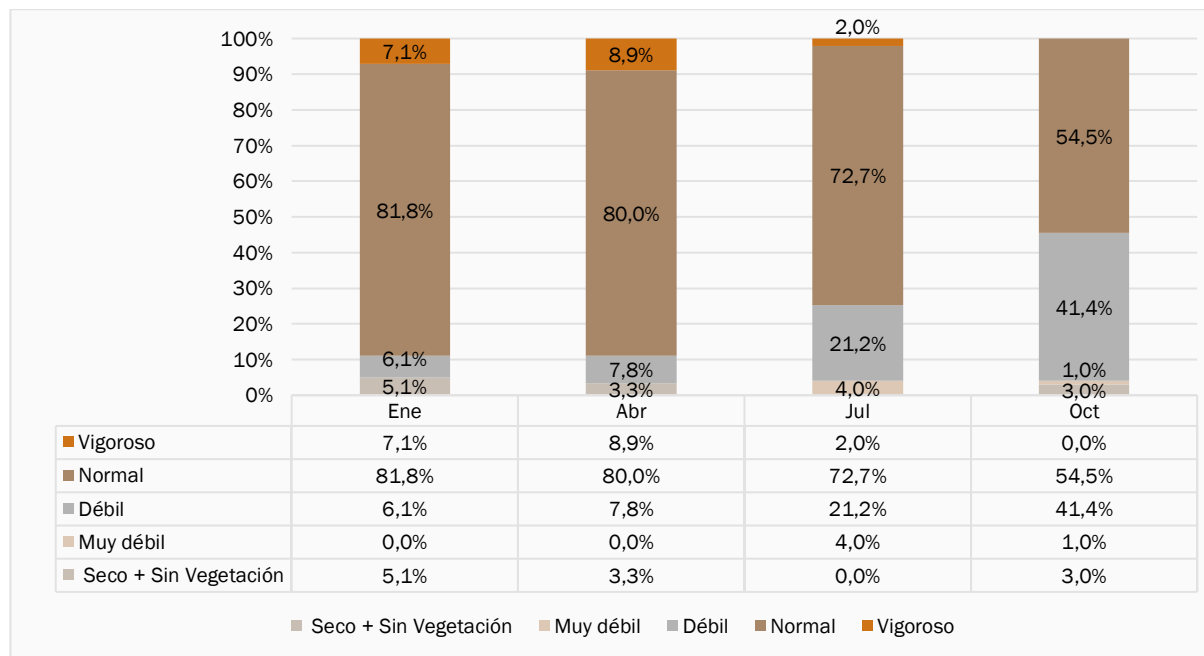
5.1.1.3.1 Estado vital

En la Figura 5-5 se presenta el comportamiento de la variable Estado vital para el período 2023. En él se puede ver que, en las muestras de vegetación las categorías “vigoroso” y “normal” descienden, teniendo sus valores máximos en el primer semestre del año 2023. Mientras que, los valores de las categorías “débil” y “muy débil” ascienden con el paso de los monitoreos durante el año registrando sus valores máximos durante el segundo semestre.

Los valores de la categoría “seco o sin vegetación” disminuyó levemente hacia el segundo semestre.

De manera general, se observa que la categoría “normal” se encuentra presente a lo largo del año y mantiene mayor proporción que el resto de las categorías para cada uno de los registros (enero, abril, julio y octubre) mientras que, las categorías “vigoroso”, “muy débil” y “seco o sin vegetación” incluso no se registran en algunas temporadas del año.

Figura 5-5. Estado vital de las unidades de vegetación prospectadas trimestralmente, año 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

La evolución del estado vital de la vegetación descritas en el marco de este informe se presenta de forma gráfica en la Figura 5-5, de ella se observa lo siguiente:

La descripción catalogada como “normal” presenta una disminución en el tiempo a lo largo del monitoreo. Se observa que, en el período correspondiente a la temporada de verano y otoño de 2023, se presentan los valores máximos para los registros con un 81,8% y un 80%, respectivamente.

Así mismo, la categoría catalogada como “muy débil” muestra el comportamiento inverso al anterior descrito, sin registros para las temporadas de verano y otoño de 2023.

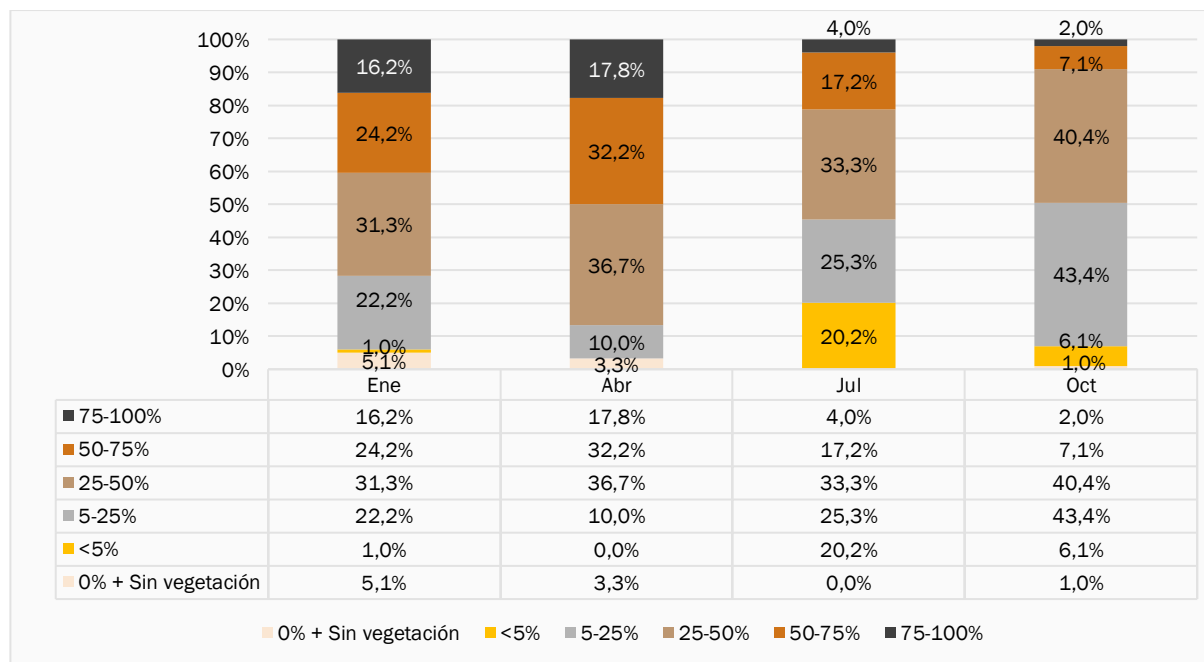
Estos resultados se condicen con el comportamiento esperado de la vegetación para el sector, ya que producto de la ocurrencia de precipitaciones asociadas al primer semestre, principalmente en los meses de enero a abril (Red Agrometeorológica INIA, 2023) se presenta disponibilidad de agua lluvia para las plantas y con ello se manifiesta en mayor proporción una vitalidad vigorosa o normal.

5.1.1.3.2 Porcentaje de copa viva

En la Figura 5-6 se presenta el comportamiento de la variable porcentaje de copa viva durante el período 2023. Se puede ver que, conforme avanzan las estaciones del año, las categorías “75-100%” y “50-75%” descienden de manera regular, salvo por el segundo trimestre (abril), donde ambas categorías tuvieron valores superiores a los registrados en el primer trimestre (enero). Contrariamente, las categorías “25-50%” y “5-25%” aumentaron considerablemente durante el segundo semestre, registrando ambas, su máximo valor en el cuarto trimestre (octubre).

Sucede de manera similar con la categoría “<5%”, que sólo se registró en una estación de muestreo durante el primer trimestre, y tuvo su mayor expresión durante el tercer trimestre (julio). La categoría “0% o sin vegetación” disminuye levemente conforme avanza el año.

Figura 5-6. Porcentaje de copa viva de las unidades de vegetación prospectadas trimestralmente, año 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

La evolución del porcentaje de copa viva (o follaje verde) de las unidades de vegetación descritas en el marco de este informe se presenta de forma gráfica en la Figura 5-6, desde donde se extrae lo siguiente:

- Durante los meses monitoreados, se observa una disminución en la cantidad de categoría “0% o sin vegetación” conforme avanza el año. Así, el máximo se observa en el mes de enero donde el 5,1% de las muestras se ubicó en esta categoría y el mínimo fue en julio donde no se registró la categoría.
- La categoría “<5%” tiene un leve descenso entre enero y abril, pero en general muestra un aumento en el tiempo donde el máximo se registra para el mes de julio.
- En la categoría “5-25%” de copa verde también muestra un aumento en el tiempo y una leve disminución entre los meses de enero y abril. Se observa el máximo de registros en el mes de octubre y el mínimo en el mes de abril.
- El porcentaje de copa viva de categoría “25-50%” muestra un aumento en el tiempo. Esta vez, se aprecia que el valor mínimo se registra en el mes de enero con un 31,3% de los registros y un máximo de 40,4% en el mes de octubre.

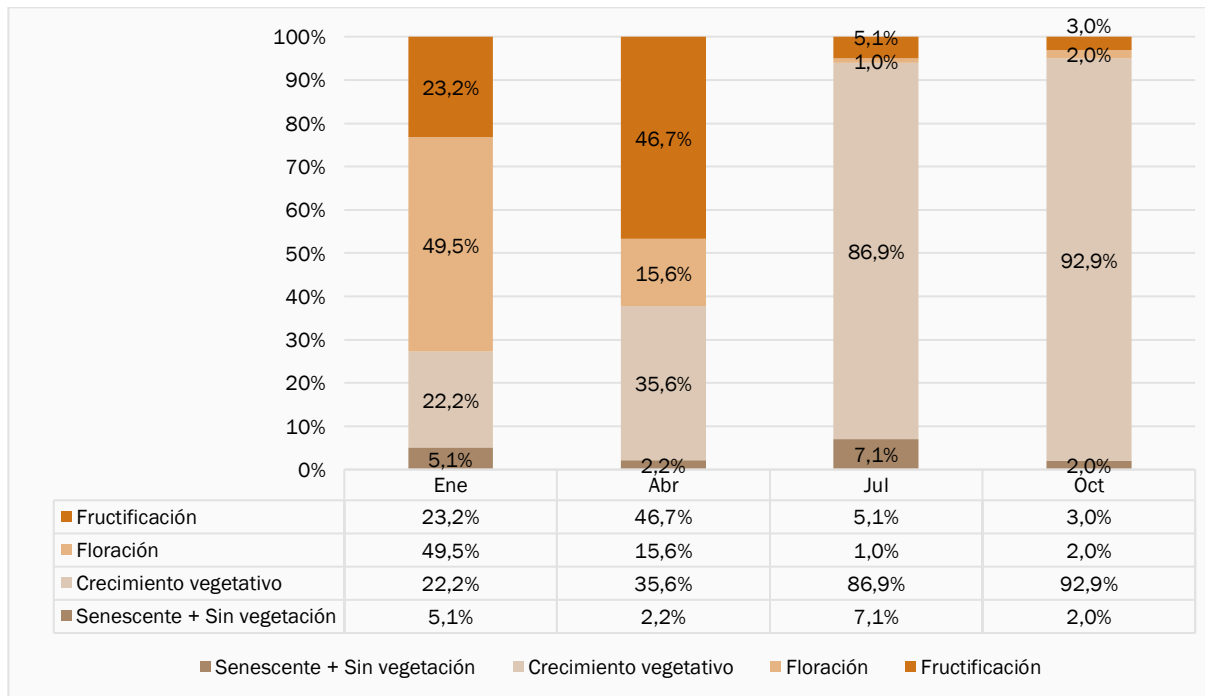
- Las categorías “50-75%” y “75-100%”, presentan una notoria baja hacia el segundo trimestre donde los registros disminuyen en más de la mitad.

Los resultados muestran que, en general la proporción de copa viva disminuyó durante el trimestre julio y octubre 2023, aumentando hacia los meses más favorables (enero y abril), respondiendo al proceso natural de las distintas temporadas. Y, junto con ello, describe que el mayor porcentaje de copa viva presente para todo el período en estudio corresponde a la categoría “25-50%” coincidiendo con la descripción del desarrollo para el lugar, su tipo biológico, arquitectura y proyección de copa y tipo de vegetación.

5.1.1.3.3 Fenología

En la Figura 5-7 se presenta el comportamiento de la variable Fenología para el período 2023. Se puede ver que, conforme avanzan las estaciones del año, las categorías “floración” y “fructificación” descienden de manera abrupta. Sucede de manera contraria con la categoría “crecimiento vegetativo”, que aumenta de manera regular conforme avanzan las estaciones del año. La categoría “senescente o sin vegetación” fluctúa en cada trimestre, sin presentar una tendencia clara. Considerando que la formación más abundante en el borde este del salar corresponde al matorral de *Tessaria absinthioides*, cuyo ciclo fenológico tiene su floración en enero y fructificación en abril, es de esperarse que, ambas categorías presenten sus máximos valores durante los primeros dos trimestres del período estudiado.

Figura 5-7. Fenología de las unidades de vegetación prospectadas trimestralmente, año 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

La evolución de la fenología de las unidades de vegetación descritas en el marco de este informe se presenta de forma gráfica en la Figura 5-7, desde donde se extrae lo siguiente:

- a. Tal como se ha observado en la caracterización del vigor y porcentaje de copa verde, las unidades monitoreadas “secas o sin vegetación” van a la baja en el periodo analizado. Respecto a la fenología, estas unidades se desarrollan en la categoría de senescencia, la cual presenta el mismo comportamiento. El valor máximo se ha registrado en el mes de julio con un 7,1% mientras que el valor mínimo se ubicó en el mes de octubre donde solo un 2,0% de las muestras se catalogaron como senescentes.
- b. En el caso de la categoría de “crecimiento vegetativo”, se observa un aumento entre los meses de julio a octubre (concordando con la sucesión entre las épocas de invierno a primavera). Es en el mes de octubre donde se registra la mayor proporción en esta categoría, con el 92,9% de las muestras. Por otro lado, en el mes de enero se registra el valor mínimo, donde un 22,2% de las muestras se catalogaron con crecimiento vegetativo, para luego aumentar levemente hacia el mes de abril a un 35,6%.
- c. La etapa fenológica de “floración” presenta un comportamiento esperable en oposición al de crecimiento vegetativo, donde el máximo se registró en el mes de enero (donde un 49,5% de los registros presentaron desarrollo de flores) y el mínimo se registró en el mes de julio con un 1,0%.
- d. La fase fenológica de “fructificación” aumentó entre los meses de enero y abril para luego disminuir al segundo semestre, donde presenta el mínimo en el mes de octubre con un 3% de las muestras.

Finalmente, la categoría “crecimiento vegetativo” es la que presenta mayor cantidad de registros para todo el período en estudio.

5.1.2 Monitoreo de la vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero

A continuación, se presentan los resultados correspondientes al periodo 2023 de las unidades vegetacionales que se encontrarían en la zona de conexión entre la napa subterránea y el sistema radicular de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.

5.1.2.1 Especies dominantes

A partir de los resultados, se observa que la especie con mayor representación en la zona de conexión es *Tessaria absinthioides*, al identificarse en 17 puntos de monitoreo en enero y 18 puntos en abril de 2023. En efecto, tanto en el mes de enero como el mes de abril, se evidenció como especie dominante en 17 puntos, y como especie acompañante en uno [1] de los puntos en abril (Tabla 5-23).

Por otra parte, se visualizó a la herbácea *Distichlis spicata* como especie dominante en nueve [9] puntos de monitoreo en enero y seis [6] puntos en abril. Como especie acompañante, también fue encontrada en cuatro [4] puntos en enero y siete [7] en abril.

Por último, también es posible encontrar *Atriplex atacamensis* dentro de la zona de conexión, aunque con una menor frecuencia que las ya mencionadas, presentándose generalmente como especie acompañante (Tabla 5-23).

Tabla 5-23. Especies dominantes y acompañantes en los monitoreos de enero y abril de 2023

Monitoreo	Dominantes			Acompañantes		
	<i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i>	<i>Distichlis spicata</i>	<i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i>	<i>Distichlis spicata</i>
Enero	17	2	9	0	3	4
Abril	17	0	6	1	2	7

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

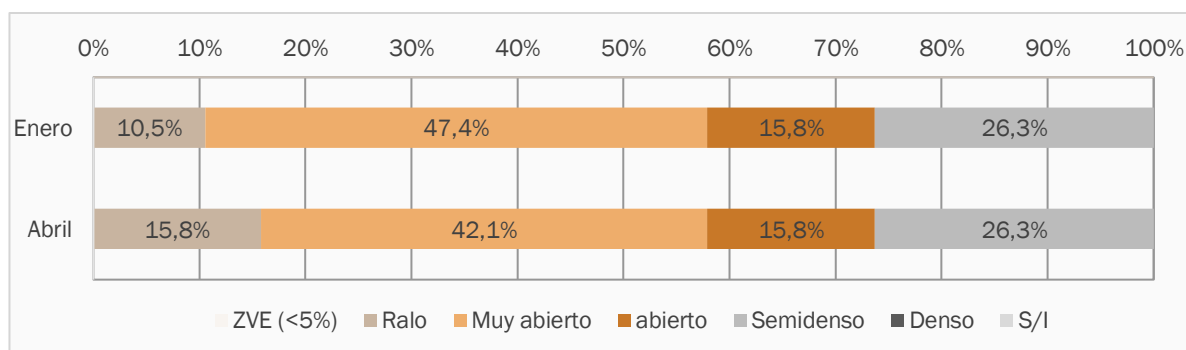
5.1.2.2 Cobertura vegetal

La Figura 5-8 y Tabla 5-24 muestran los resultados obtenidos de las mediciones de cobertura en enero y abril de 2023 en la zona de conexión vegetación – acuífero. El detalle de las descripciones vegetacionales se entregan en el Anexo 6 del presente informe.

Las descripciones de la vegetación en los monitoreos de enero 2023 demostraron que las coberturas varían de rala (5 – 10% de recubrimiento) a semidensa (50 – 75% de recubrimiento), siendo la categoría de muy abierta (10 – 25%) la más frecuente con nueve [9] registros (47,4% de las muestras). Le siguen proporcionalmente la categoría de semidensa con cinco [5] registros y abierta (25 – 50% de recubrimiento) con tres [3] registros. En abril, las proporciones se mantuvieron relativamente similares, la categoría más frecuente fue igualmente la cobertura muy abierta con 42,1% de los registros.

Al comparar los registros de ambos meses, se observa que las categorías de cobertura abierta y semidensa se mantienen, mientras que la proporción de muestras que presentó una cobertura rala en el mes de enero aumentó en un 5,3%, correspondiente a una [1] muestra que pasó de muy abierta a rala en el mes de abril. Consecuentemente, en abril, la proporción de muestras pertenecientes a la categoría muy abierta disminuyó en un 5,3% (1 muestra).

Figura 5-8. Clasificación de los puntos de muestreo en la zona de conexión vegetación – acuífero, por categorías de cobertura de la unidad vegetal



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Tabla 5-24. Puntos de muestreo en la Zona de conexión vegetación – acuífero. por categoría de cobertura de la vegetación. Campañas enero y abril de 2023.

Año de monitoreo	Mes de monitoreo	Categorías de cobertura							Total
		ZVE (<5%)	Ralo	Muy abierto	abierto	Semidenso	Denso	S/I	
2023	Enero	-	2	9	3	5	-	-	19
	Abril	-	3	8	3	5	-	-	19

S/I: Sin información para el periodo monitoreado.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.1.3 Monitoreo de flora vascular

A continuación, se presentan los resultados del monitoreo anual de la flora en el periodo 2023, el cual incluye un análisis de la riqueza y abundancia de taxa en el Borde Este del Salar de Atacama, así como del pH y salinidad de sustrato donde se desarrolla la flora. La base de datos de las descripciones en terreno se adjunta en Anexo 7.

5.1.3.1 Riqueza de flora en el Borde Este

En el periodo 2023 se registró un total de 23 taxa, los que incluyen los registros dentro y fuera de los puntos de muestreo (Tabla 5-25). Dentro de los puntos de muestreo se identificaron 15 taxa, mientras que fuera de ellos, se identificaron 21 taxa. Estas especies se agruparon en 13 familias, donde Chenopodiaceae tiene la mayor cantidad ([4] taxa), seguido de Boraginaceae y Poaceae ([3] taxa cada una).

Tabla 5-25. Riqueza de la flora registrada en el periodo 2023

Lugar	Taxa	Especie
Dentro de los puntos de muestreo	Asteraceae	<i>Baccharis juncea</i> (Cass.) Desf.
		<i>Tessaria absinthioides</i> (Hook. & Arn.) DC.
	Boraginaceae	<i>Tiquilia atacamensis</i> (Phil.) A.T. Richardson
		<i>Tiquilia paronychioides</i> (Phil.) A.T. Richardson
	Chenopodiaceae	<i>Atriplex atacamensis</i> Phil.
		<i>Atriplex imbricata</i> (Moq.) D. Dietr. var. <i>imbricata</i>
		<i>Nitrophila atacamensis</i> (Phil.) Hieron. ex Ulbr.
		<i>Sarcocornia andina</i> (Phil.) Freitag, M.A. Alonso & M.B. Crespo
	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus americanus</i> (Pers.) Volkart ex Schinz & R. Keller
	Ephedraceae	<i>Ephedra multiflora</i> Phil. ex Stapf
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i> Willd. subsp. <i>mexicanus</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) Kirschner
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i> Burt Davy

Tabla 5-25. Riqueza de la flora registrada en el periodo 2023

Lugar	Taxa	Especie
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene
		<i>Festuca rigescens</i> (J. Presl) Kunth
	Solanaceae	<i>Lycium humile</i> Phil.
Fuera de los puntos de muestreo	Asteraceae	<i>Baccharis juncea</i> (Cass.) Desf.
		<i>Tessaria absinthioides</i> (Hook. & Arn.) DC.
	Boraginaceae	<i>Allionia incarnata</i> L.
		<i>Tiquilia atacamensis</i> (Phil.) A.T. Richardson
		<i>Tiquilia paronychioides</i> (Phil.) A.T. Richardson
	Chenopodiaceae	<i>Atriplex atacamensis</i> Phil.
		<i>Atriplex imbricata</i> (Moq.) D. Dietr. var. <i>imbricata</i>
		<i>Nitrophila atacamensis</i> (Phil.) Hieron. ex Ulbr.
		<i>Sarcocornia andina</i> (Phil.) Freitag, M.A. Alonso & M.B. Crespo
	Ephedraceae	<i>Ephedra multiflora</i> Phil. ex Stapf
	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i> Willd. subsp. <i>mexicanus</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) Kirschner
	Juncaginaceae	<i>Triglochin concinna</i> Burt Davy
	Malvaceae	<i>Cristaria dissecta</i> Hook. & Arn. var. <i>dissecta</i>
	Montiaceae	<i>Cistanthe celosioides</i> (Phil.) Carolin ex Hershkovitz
		<i>Cistanthe salsoloides</i> (Barnéoud) Carolin ex Hershkovitz
	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene
		<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.
	Solanaceae	<i>Exodeconus integrifolius</i> (Phil.) Axelius
		<i>Lycium humile</i> Phil.
	Verbenaceae	<i>Aloysia deserticola</i> (Phil.) Lu-Irving & O'Leary
Zygophyllaceae	<i>Tribulus terrestris</i> L.	

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

En la Tabla 5-26 se presenta la clasificación de las taxa identificadas en la campaña 2023 respecto a su hábito de crecimiento, diferenciados entre taxa dentro y fuera de los puntos de muestreo. Dentro de los puntos de muestreo predominan taxa con hábito arbustivo y hierba perenne, identificándose ocho [8] y seis [6] especies de cada hábito respectivamente, además de una hierba anual, correspondiente a *Nitrophila atacamensis*. No se observaron especies arbóreas, hierbas anuales o perennes y/o suculentas en el periodo 2023. Respecto a los registros fuera de parcela (FP), predominan arbustos, hierbas perennes y hierbas anuales, identificándose 9, 6 y 5 especies de cada hábito respectivamente; además de una especie con hábito de

hierba anual o perenne, correspondiendo a *Cristaria dissecta*. No se registraron especies arbóreas o suculentas en el periodo 2023.

Tabla 5-26. Hábito de crecimiento de la flora presente en el Borde Este del Salar de Atacama

Hábito de crecimiento	Dentro puntos de muestreo		Fuera de puntos de muestreo	
	N° de taxa	% de participación	N° de taxa	% de participación
Árbol	0	0%	0	0%
Arbusto	8	53%	9	43%
Hierba perenne	6	40%	6	29%
Hierba anual	1	7%	5	24%
Hierba anual o perenne	0	0%	1	5%
Suculento	0	0%	0	0%
Total	15	100%	21	100%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Respecto al origen biogeográfico de la flora registrada en los puntos de muestreo, se identificaron 12 especies nativas (80% del total) y tres especies endémicas (20% del total), correspondientes a *Atriplex atacamensis*, *Nitrophila atacamensis* y *Tiquilia atacamensis*. No se registraron especies introducidas o indeterminadas (Tabla 5-27).

Por otro lado, de las especies registradas fuera de los puntos de muestreo, se identificaron 16 de origen nativo (76% del total), tres especies endémicas (14% del total) y dos especies introducidas (10% del total) correspondientes a *Phragmites australis* y *Tribulus terrestris* (Tabla 5-27).

Tabla 5-27. Origen biogeográfico de la flora presente en el Borde Este del Salar de Atacama

Origen biogeográfico	Dentro puntos de muestreo		Fuera de puntos de muestreo	
	N° de taxa	% de participación	N° de taxa	% de participación
Nativo	12	80%	16	76%
Endémico	3	20%	3	14%
Introducido	0	0%	2	10%
Indeterminado	0	0%	0	0%
Total	15	100%	21	100%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Cabe destacar que de acuerdo con lo establecido en el Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres (RCE)³⁰, a partir julio de 2020 en el 15° proceso de clasificación de especies RCE (D.S. N° 23/2019 del

³⁰ El 27 de abril de 2012, el Decreto N° 29 de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente dictó el nuevo Reglamento para Clasificar Especies según Estado de Conservación (denominado con la sigla RCE)

Ministerio del Medio Ambiente), se oficializó a *Nitrophila atacamensis* bajo la categoría de conservación “En Peligro”, siendo esta especie la única en categoría registrada en la campaña de 2023.

5.1.3.2 Frecuencia de flora en el Borde Este

En la Tabla 5-28 se presenta la frecuencia de las especies registradas en el monitoreo 2023, de acuerdo con la cantidad de puntos de monitoreo donde apareció cada taxa. La especie más frecuente fue *Tessaria absinthioides* presente en 34 puntos de monitoreo (45,3% del total de puntos de muestreo), seguido de *Distichlis spicata* presente en 24 puntos de monitoreo (32% del total). En menor medida, *Atriplex atacamensis* fue registrado en 8 puntos de muestreo (10,7% del total) y *Nitrophila atacamensis* en 7 (9,3% del total).

Tabla 5-28. Frecuencia de las especies durante la campaña 2023

N°	Especie	N° de puntos de muestreo	% del total de puntos de muestreo
1	<i>Atriplex atacamensis</i>	8	10,7%
2	<i>Atriplex imbricata</i>	1	1,3%
3	<i>Baccharis juncea</i>	1	1,3%
4	<i>Distichlis spicata</i>	24	32,0%
5	<i>Ephedra multiflora</i>	1	1,3%
6	<i>Festuca rigescens</i>	1	1,3%
7	<i>Juncus balticus</i> subsp. <i>mexicanus</i>	4	5,3%
8	<i>Lycium humile</i>	2	2,7%
9	<i>Nitrophila atacamensis</i>	7	9,3%
10	<i>Sarcocornia andina</i>	1	1,3%
11	<i>Schoenoplectus americanus</i>	1	1,3%
12	<i>Tessaria absinthioides</i>	34	45,3%
13	<i>Tiquilia atacamensis</i>	4	5,3%
14	<i>Tiquilia paronychioides</i>	1	1,3%
15	<i>Triglochin concinna</i>	4	5,3%

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023.

5.1.3.3 Parámetros de suelo

En la siguiente sección se presentan los resultados de la caracterización del pH y Conductividad Eléctrica del suelo medidos en las parcelas de flora.

De acuerdo con la legislación vigente, la determinación de estos parámetros se debe realizar a través de una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) con certificación según lo dispuesto por la resolución Exenta N°573/2022. A raíz de esto, las ETFA SGS fue la encargada de extraer y analizar las muestras de terreno, con excepción del transecto 7, cuyas muestras fueron analizadas por la ETFA Algoritmos y Mediciones Ambientales SPA. (En Anexo 8 se adjunta las Resoluciones de las ETFA)

Cabe destacar que el transecto de flora N° 2 no pudo completarse con el muestreo de suelo *in situ*, debido a la cancelación del monitoreo por parte de la comunidad de Talabre³¹ (ver Anexo 24. Medios de verificación puntos no realizados) imposibilitando el muestreo en los puntos; TF2-01, TF2-02, TF2-03, TF2-04, TF2-05, TF2-06, TF2-07, TF2-08, TF2-09, TF2-10 y TF2-11. Así mismo, los transectos N° 4 (TF4-01, TF4-06, TF4-07, TF4-08, TF4-09) insertos en la Comunidad de Camar³², y los transectos N° 6 (TF6-01, TF6-02, TF6-03) insertos en la comunidad de Peine³³, no lograron ser monitoreados debido a restricciones de ingreso. (Ver Anexo 24)

Por otra parte, es relevante mencionar que en relación con las muestras de suelo analizadas por la ETFA SGS, fue imposible reportar la determinación del pH en laboratorio, debido a un error de sistema al momento de cargar el esquema de análisis en su plataforma “*Slimcore*”, lo que implicó que le parámetro no fuera determinado para los transectos 1 al 6. Lo anterior fue comunicado mediante carta emitida por el Laboratorio de SGS Chile Ltda., la cual es adjuntada al presente informe (Anexo 8. Certificados muestras de suelo).

De manera complementaria, se analiza un set de muestras por el laboratorio Agroanálisis UC (tomadas por la ETFA SGS en la misma campaña de terreno y desde los mismos puntos). Este análisis se realiza con la finalidad de dar continuidad al análisis histórico de la variable y mantener la trazabilidad del monitoreo, en vista que este laboratorio ha realizado estos análisis desde el año 2012. Cabe destacar que el método de evaluación del pH utilizado por la ETFA es diferente al utilizado por laboratorio Agroanálisis UC, por lo que ambos datos no son comparables entre sí.

5.1.3.3.1 pH del sustrato según laboratorio ETFA

Tal como se mencionó anteriormente, este parámetro no fue medido por el laboratorio ETFA SGS (medio verificador se presenta en el Anexo 8). Sin embargo, al reprogramarse la campaña en el sector de Peine, las muestras colectadas en el transecto N° 7 (6 parcelas de flora) pudieron ser analizadas por el laboratorio ETFA de Algoritmos y mediciones ambientales SPA.

³¹ El Transecto N° 2 de flora, se encuentra establecido dentro de los territorios demandados por la comunidad indígena de Talabre, por tanto, el ingreso a estos puntos se realiza previa autorización de la comunidad, los cuales fueron autorizados preliminarmente, pero se tuvieron que reprogramar debido a contingencias en terreno que no permitieron completar todos los puntos de acuerdo con la programación autorizada.

³² El transecto N° 4, se encuentra establecido dentro del territorio demandado por la comunidad indígena de Camar, por tanto, su ingreso se realiza previa autorización de la comunidad. Cabe destacar que, como parte de los monitoreos realizados en el contexto del PdC, se realizan muestreos de suelo en puntos representativos de la vegetación de la Quebrada de Camar los cuales son analizados para la determinación del pH, CHS y Conductividad, los cuales coinciden con algunos puntos del transecto N° 4 (TF4-02, TF4-03, TF4-04, TF4-05), por tanto, para efectos de este análisis se utilizan dichos datos analizados por la ETFA Algoritmos SpA.

³³ El transecto N° 6, se encuentra establecido dentro de la comunidad indígena de Peine, quienes autorizan su ingreso para la ejecución de los distintos estudios. Cabe destacar que la comunidad solicitó realizar una reprogramación de los puntos para el muestreo de suelo, debido a la multiplicidad de estudios que se ejecutan en el mes de abril en su territorio, por lo cual solo se autorizó de manera posterior, la ejecución del transecto N° 7 (también establecido en el territorio de Peine), quedando pendiente el transecto N° 6.

Los resultados se presentan en la tabla a continuación donde se aprecia que las muestras de suelo de las 10 parcelas de flora prospectadas en la campaña actual (pertenecientes al transecto de flora N° 4 y 7) variaron entre un pH moderadamente alcalino a fuertemente alcalino.

Tabla 5-29. Rangos de pH del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio Algoritmos y mediciones ambientales SpA

Categorías de pH	pH	Color	N° de puntos 2023	% Año 2023
Extremadamente ácido	3,5 - 4,4		-	-
Muy fuertemente ácido	4,5 - 5,0		-	-
Fuertemente ácido	5,1 - 5,5		-	-
Moderadamente ácido	5,6 - 6,0		-	-
Ligeramente ácido	6,1 - 6,5		-	-
Neutro	6,6 - 7,3		-	-
Ligeramente alcalino	7,4 - 7,8		-	-
Moderadamente alcalino	7,9 - 8,4		2	20,0
Fuertemente alcalino	8,5 - 9,0		8	80,0
Muy fuertemente alcalino	> 9,0		-	-
Total			10	100

Fuente: Schoeneberger et al., 2002.

La Tabla 5-29 presenta el valor de pH obtenido en el laboratorio para los transectos de muestreo de flora, desde el margen al núcleo del Salar (lectura de izquierda a derecha, nomenclatura de colores equivalente a Tabla 5-31).

Tabla 5-30. Distribución de rangos de pH en los transectos de muestreo de flora. Laboratorio Algoritmos y mediciones ambientales SPA.

Transectos	pH en puntos de muestreo																		
	Margen del salar										Núcleo del salar								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
TF-1	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
TF-2	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-
TF-3	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF-4	S/I	8,9	8,9	8,9	8,5	S/I	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF-5	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-
TF-6	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF-7	9,0	8,5	8,8	8,9	8,8	8,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

S/I: Sin información levantada en terreno; (-): No aplica

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a informe de laboratorio (Anexo 8)

5.1.3.3.2 pH del sustrato según Agroanálisis UC (complementario)

Cabe mencionar, que en los puntos del transecto 1 no fue posible extraer la segunda muestra extra para análisis por parte del laboratorio Agroanálisis UC, además de las muestras asociadas al transecto N°2, N°4 y N°6, por lo que el universo de datos disponibles para analizar durante esta campaña corresponde a 26 muestras. Los resultados del Laboratorio se adjuntan en Anexo 10.

Los resultados se presentan en la tabla a continuación donde se aprecia que las muestras de suelo de las 26 parcelas de flora prospectadas en la campaña actual variaron entre un pH Ligeramente alcalino a fuertemente alcalino. Concentrándose en la categoría Ligeramente alcalino (pH entre 7,4 y 7,8), donde se ubica el 50% de las muestras. En menor medida, hay 8 puntos de monitoreo moderadamente alcalino y 5 fuertemente alcalinos (30,8% y 19,2% del total).

Tabla 5-31. Rangos de pH del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio Agroanálisis UC

Categorías de pH	pH	Color	N° de puntos 2023	% Año 2023
Extremadamente ácido	3,5 - 4,4		-	-
Muy fuertemente ácido	4,5 - 5,0		-	-
Fuertemente ácido	5,1 - 5,5		-	-
Moderadamente ácido	5,6 - 6,0		-	-
Ligeramente ácido	6,1 - 6,5		-	-
Neutro	6,6 - 7,3		-	-
Ligeramente alcalino	7,4 - 7,8		13	50,0
Moderadamente alcalino	7,9 - 8,4		8	30,8
Fuertemente alcalino	8,5 - 9,0		5	19,2
Muy fuertemente alcalino	> 9,0		-	-
Total			26	100

Fuente: Schoeneberger et al., 2002., Geobiota 2023

La Tabla 5-35 presenta los valores de pH obtenidos por el laboratorio Agroanálisis UC para las muestras de suelo colectadas en las parcelas de flora. Estos se presentan desde el margen al núcleo del Salar (lectura de izquierda a derecha, nomenclatura de colores equivalente a Tabla 5-35).

Tabla 5-32. Distribución de rangos de pH en los transectos de muestreo de flora. Laboratorio Agroanálisis UC

Transectos	pH en puntos de muestreo																		
	Margen del salar										Núcleo del salar								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
TF1	S/I	8,65	8,59	8,55	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
TF2	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	7,88	8,09	7,99	-	-	-	-	-
TF3	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF4	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF5	8,57	8,1	8,37	8,32	8,03	7,84	7,9	7,71	7,57	7,65	7,69	7,72	7,68	7,74	-	-	-	-	-
TF6	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF7	8,51	8,24	7,88	7,79	7,59	7,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

S/I: Sin información levantada en terreno; (-): No aplica

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a informe de laboratorio (Anexo 10)

5.1.3.3.3 Comparación de las mediciones de pH entre laboratorios

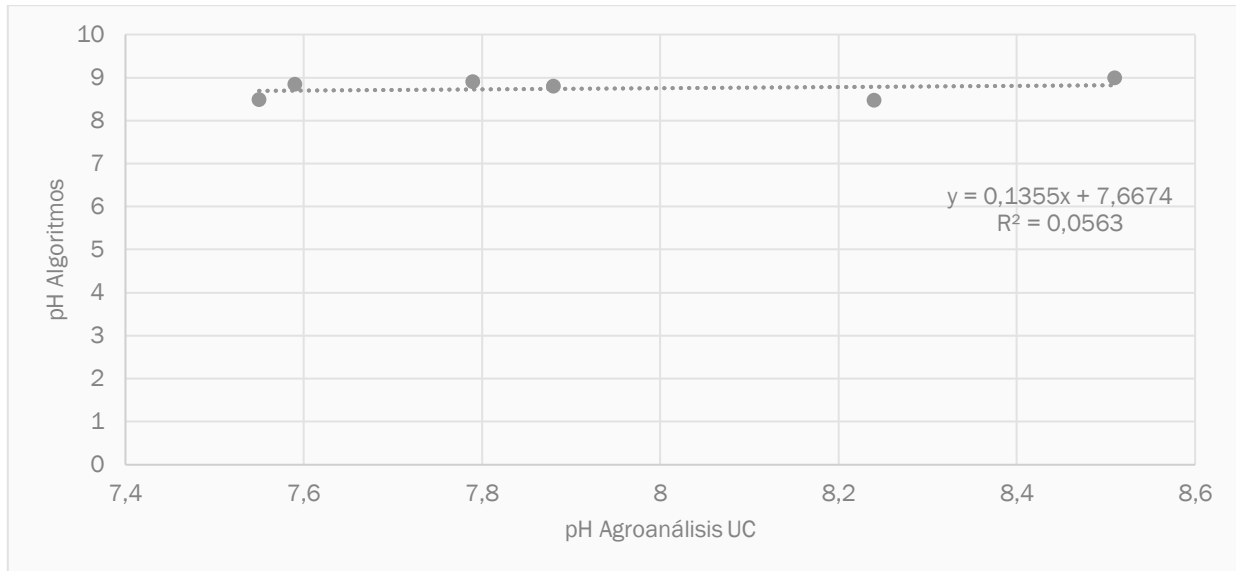
Se comparan los análisis del pH según ambos laboratorios, para el transecto N° 7³⁴ con la finalidad de conocer el nivel de relación entre los datos. Se utiliza el modelo matemático de regresión lineal, con el supuesto que ambos laboratorios debieran tener bajas diferencias entre sí, y estarían dadas por la metodología utilizada para determinar el pH.

Se calculó un coeficiente de determinación R² de 0,05 que representa una baja correlación entre los resultados de ambos laboratorios, la pendiente de la recta que define la ecuación de los datos es positiva y no significativa (valor p menor al nivel de significancia del 95%), lo que podría guardar relación con la cantidad de datos analizados.

Los valores del pH otorgados por Agroanálisis UC son menores a lo reportado por la ETFA Algoritmos y mediciones ambientales SPA (Figura 5-10), lo que podría estar relacionado a los métodos empleados para su análisis. Para efectos de representar las relaciones de los valores obtenidos entre las mediciones de ambos laboratorios, se presenta la regresión lineal en la Figura 5-9.

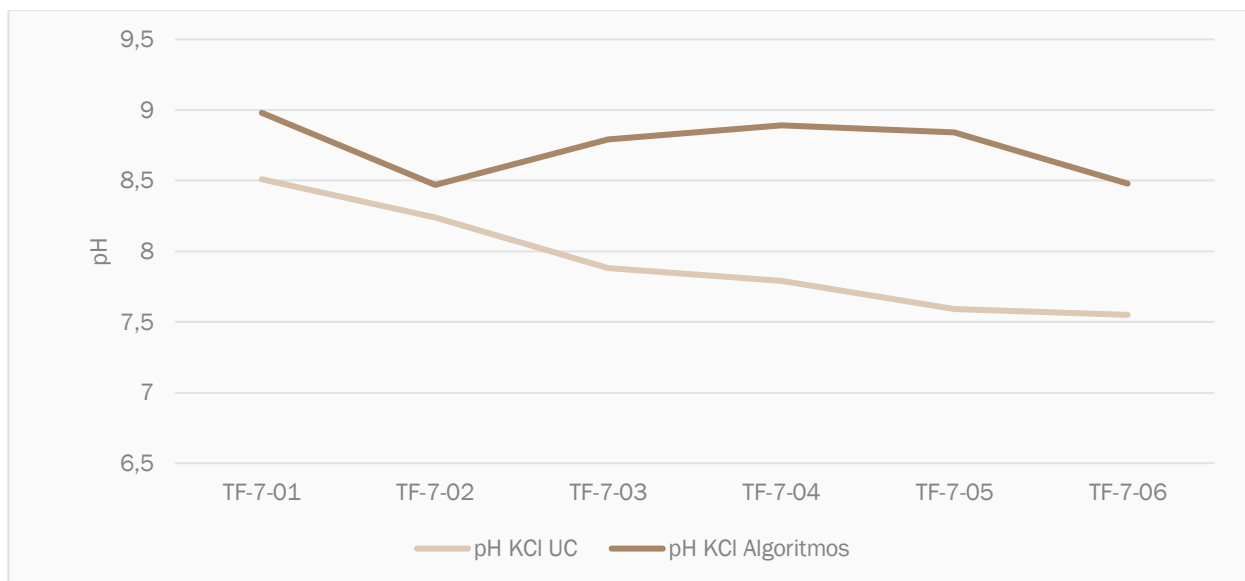
34 Los datos del transecto N° 7 el es único posible de relacionar entre ambos laboratorios en el periodo 2023, dado los problemas expuestos al comienzo de esta sección 5.1.3.

Figura 5-9. Regresión lineal entre los datos de pH obtenida entre laboratorios.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 5-10. Comparación del pH obtenido entre laboratorios por punto de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.1.3.3.4 Conductividad eléctrica del sustrato según la ETFA Algoritmos y mediciones ambientales SPA

En la Tabla 5-33 se sintetizan los resultados obtenidos por el laboratorio de Algoritmos y mediciones ambientales SPA para el transecto N° 7 y ALS para los transectos N° 1, 2, 3, 4 y 5, para las muestras obtenidas en la campaña de monitoreo N° 17. Los resultados indican que, los puntos de muestreo varían de sustratos

ligeramente salinos a fuertemente salinos. En 39 puntos de muestreo (75,0% del total) se reporta una salinidad superior a 6,07 dS/m, catalogando estas muestras como fuertemente salinas. En 7 puntos de muestreo (13,5% del total) la CE indicó suelos moderadamente salinos y en 6 puntos de muestreo (11,5% del total) se registró suelo ligeramente salino.

Tabla 5-33. Rangos de conductividad eléctrica del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio de ALS y Algoritmos y mediciones ambientales SPA

Categorías de salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	Color	N.º de puntos 2023	% Año 2023
No salino	0 - 0,98		0	0
Muy ligeramente salino	0,98 - 1,71		0	0
Ligeramente salino	1,71 - 3,16		6	11,5
Moderadamente salino	3,16 - 6,07		7	13,5
Fuertemente salino	> 6,07		39	75,0
TOTAL			52	100

Fuente: USDA NRCS, 2001. Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

La Tabla 5-34 presenta los valores obtenidos por las ETFAS, para la medición de conductividad eléctrica en cada uno de los transectos de muestreo de flora. Los resultados se ordenan desde aquellos medidos en la zona marginal (Este) hacia el núcleo del Salar (Oeste).

Tabla 5-34. Conductividad eléctrica obtenida en cada punto de muestreo de flora. Campaña abril de 2023

TR	Conductividad eléctrica (dS/m)																		
	Margen del salar											Núcleo del salar							
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
TF-1	5,1	2,7	21,3	5,6	27,5	22,7	11,7	10,8	6,9	4,0	2,7	5,6	7,3	2,9	2,6	1,9	13,0	10,6	45,2
TF-2	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	8,9	20,1	7,7	-	-	-	-	-
TF-3	82,4	36,7	21,5	22,2	16,1	8,0	14,0	7,6	9,4	22,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF-4	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF-5	33,7	39,4	26,3	24,3	17,7	19,9	3,4	7,8	17,6	14,3	10,4	8,4	11,4	7,5	-	-	-	-	-
TF-6	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF-7	2,0	6,6	6,2	5,2	7,1	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

S/I: Sin información levantada en terreno; (-): No aplica

TR: Transecto

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a informe de laboratorio (Anexo 8)

5.1.3.3.5 Conductividad eléctrica del sustrato según Agroanálisis UC (Complementario)

En la Tabla 5-35 se sintetizan los resultados obtenidos por el laboratorio Agroanálisis UC en los análisis de Conductividad eléctrica para las muestras levantadas en la campaña de monitoreo N° 17 (en Anexo 10 se

presentan los análisis de laboratorio). Los resultados indican que, en 20 puntos de muestreo, equivalentes al 76,9% del total, se desarrolla un sustrato Fuertemente salino, registrándose valores de salinidad superior a los 6,07 dS/m. Mientras que, en 6 puntos de muestreo (23,1% del total) el suelo se registró moderadamente salino.

Tabla 5-35. Rangos de conductividad eléctrica del suelo en transectos de muestreo de flora

Categorías de salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	Color	Nº de puntos 2023	% Año 2023
No salino	0 - 0,98		0	0
Muy ligeramente salino	0,98 - 1,71		0	0
Ligeramente salino	1,71 - 3,16		0	0
Moderadamente salino	3,16 - 6,07		6	23,1
Fuertemente salino	> 6,07		20	76,9
TOTAL			26*	100

A diferencia de los análisis realizados por el laboratorio ETFA, en la campaña 2023 no se totalizó la toma de muestras del transecto N°1 para los análisis realizados por el laboratorio Agroanálisis UC, por lo que el universo de puntos de muestreo baja de 52 a 26 puntos.

Fuente: USDA NRCS, 2001.

La Tabla 5-36 presenta los valores obtenidos en el Laboratorio Agroanálisis para la medición de C.E. en cada uno de los transectos de muestreo de flora monitoreados en 2023. Los resultados se ordenan desde aquellos medidos en la zona marginal (Este) hacia el núcleo del Salar (Oeste).

Tabla 5-36. Conductividad eléctrica obtenida en cada punto de muestreo de flora. Campaña abril de 2023

Transecto	Conductividad eléctrica (dS/m)																		
	Margen del salar											Núcleo del salar							
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
TF-1	S/I	10,2	8,8	17,3	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
TF-2	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	4,2	5,5	14,3	-	-	-	-	-
TF-3	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF-4	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF-5	13,6	18,7	8,0	8,7	10,6	11,9	13,1	4,7	6,6	5,3	4,1	6,6	5,8	13,7	-	-	-	-	-
TF-6	S/I	S/I	S/I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF-7	10,1	25,3	20,5	44,8	34,7	37,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

S/I: Sin información levantada en terreno (-): No aplica

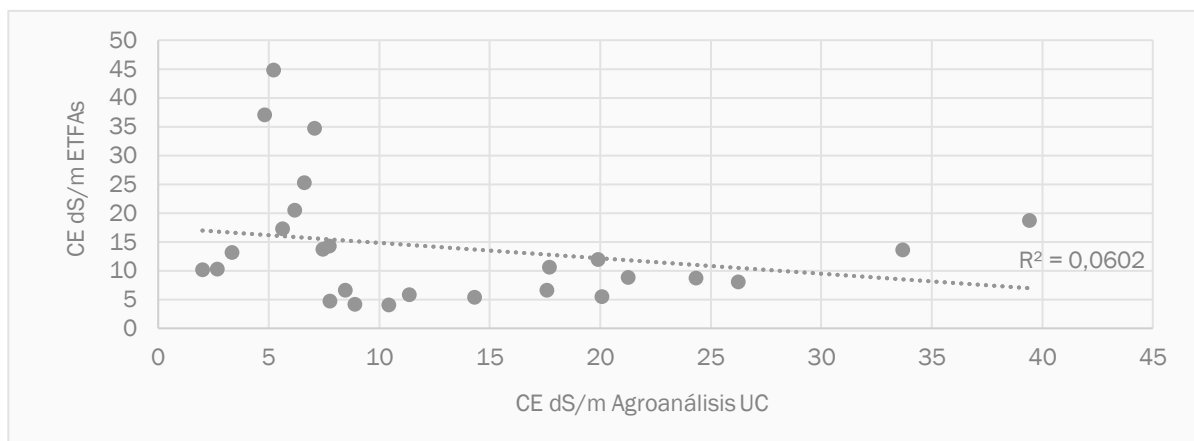
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023 en base a informe de laboratorio (Anexo 10)

5.1.3.3.6 Comparación de las mediciones de la conductividad eléctrica entre laboratorios

Se comparan los análisis de la conductividad eléctrica según ambos laboratorios, con la finalidad de conocer el nivel de relación de ambos datos. Se utiliza el modelo matemático de regresión lineal, con el supuesto que ambos laboratorios debieran tener bajas diferencias entre sí, y estas debieran estar dadas solo por la metodología utilizada para determinar la CE. Los resultados indican que la CE entre laboratorios alcanza un valor R^2 de 0,06, lo que representa una baja correlación, con pendiente negativa y no significativa de los datos (pendiente= 0,22; valor p = -0,26), (Figura 5-11).

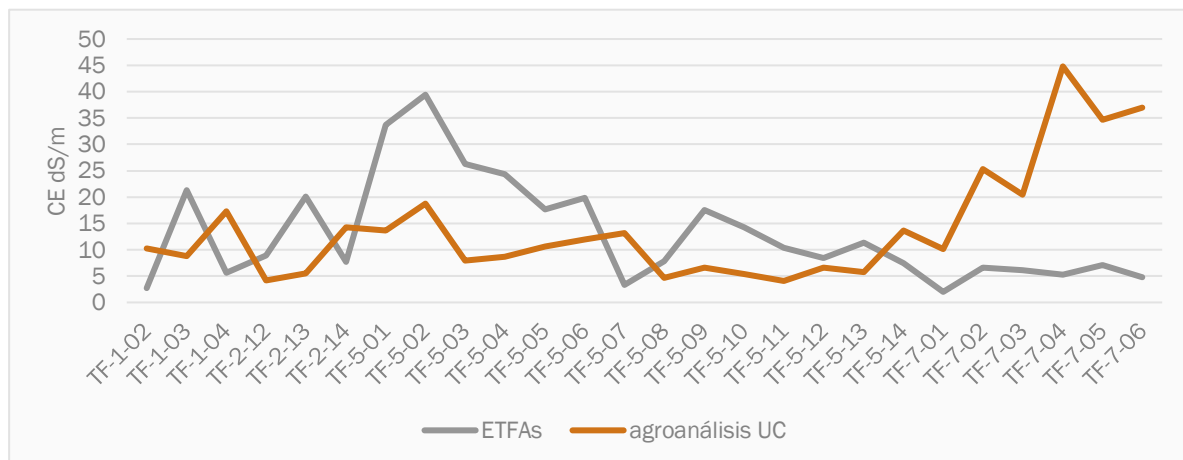
En la mayoría de los casos, los valores de conductividad eléctrica analizados por el laboratorio Agroanálisis UC fueron más altos que los registrados por la ETFAs Algoritmos y mediciones Ambientales SPA (Figura 5-12).

Figura 5-11. Comparación de la conductividad eléctrica (dS/m) obtenida entre laboratorios



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 5-12. Comparación de la CE obtenida entre laboratorios por punto de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.1.4 Monitoreo de algarrobos

En esta sección se exponen los resultados de las mediciones de vitalidad, porcentaje de copa viva (follaje verde), fenología y daño por agentes externos, efectuadas durante abril de 2023 en la población de Algarrobos (*Neltuma alba*³⁵) ubicada en las inmediaciones del ex pozo Camar-2 (actualmente fuera de operación para la extracción de agua).

Del universo ejemplares objeto de seguimiento (71 individuos definidos e identificados la RCA 226/2006), 14 han sido registrados como desaparecidos, de los cuales 12 ejemplares fueron notificados como desprendidos durante las temporadas previas al 2023, de los cuales, al menos ocho [8] fueron reportados como desprendidos producto del aluvión que tuvo lugar en febrero de 2019, mientras que para los individuos desaparecidos previo al 2019 se desconoce la causa de su desprendimiento, pudiendo aludirse a efectos de animales, humanos o escorrentías. Por tanto, del universo de ejemplares objeto de seguimiento, 57 ejemplares se encuentran en pie y en condiciones de ser analizados.

Cabe destacar que, los valores porcentuales presentados en esta sección contemplan sólo a los individuos existentes en terreno hasta la fecha (57 individuos), descontando de los análisis a aquellos ejemplares desaparecidos o desprendidos por acción de aluviones u otra afectación en distintos periodos. No obstante, en las tablas y anexos presentados (Anexo 11. Base de datos Monitoreo de Algarrobos), se detallan los resultados del seguimiento, incluyendo la categoría “desaparecidos”. Por otra parte, en el Anexo 12 se entrega el registro fotográfico de los individuos monitoreados.

En la temporada transcurrida entre el monitoreo del 2022 y el presente 2023, se notificó el desprendimiento que dos nuevos individuos, correspondientes a los árboles A-63 y A-67. La desaparición de estos individuos fue reportada en el informe semestral del segundo semestre de 2022 asociado al Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar³⁶. Se desconoce la causa exacta de su desaparición, aludiendo posiblemente a desprendimientos por acción de animales (ramoneo) y/o antrópica. Cabe mencionar, que el individuo A-63 se encontraba seco desde el reporte del 2008 y, el individuo A-67, se reportó como seco desde el monitoreo de línea base del Proyecto (2006).

En la Tabla 5-37 a continuación, se resumen los individuos que han sido reportados como desaparecidos en todo el periodo del seguimiento, con la fecha e identificación de los árboles desaparecidos. En el Anexo 12 se adjunta el registro fotográfico con los individuos objeto de seguimiento.

³⁵ El Análisis taxonómico de muestras de ejemplares de *Prosopis sp.*, sector quebrada Camar, provincia de El Loa, Región de Antofagasta” (2018), estableció que los ejemplares de algarrobos ubicados en el lecho aluvional del piedemonte de la quebrada Camar corresponden en su totalidad a *Prosopis alba* (sinónimo de *Neltuma alba*). Esta especie está actualmente clasificada como Preocupación Menor (LC), según el D.S. N° 13/2013 del MMA. En el EIA Cambios y mejoras esta especie se había identificado como *Prosopis flexuosa*, especie clasificada como Vulnerable (VU), según el D.S. N° 13/2013 MMA.

³⁶ Estudio realizado como parte de la acción 24 del Plan de Cumplimiento aprobado mediante Res.Ex. N° 38/ROL F-041-2016 de agosto 2022 por la SMA.

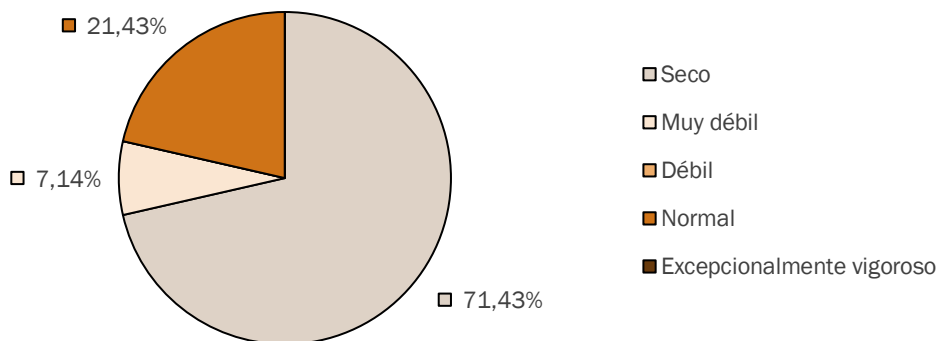
Tabla 5-37. Individuos desaparecidos o desprendidos en el periodo de monitoreo (2006-2023)

ID árbol	Año de desprendimiento	Estado previo al desprendimiento	Observaciones
A-69	2012	Seco	Normal en 2010, seco desde 2011
A-20	2014	Seco	Normal en 2008, seco desde 2009
A-24	2014	Seco	Débil en 2007, seco desde 2008
A-57	2017	Seco	Seco desde el monitoreo de línea base (2006)
A-01	2019	Muy débil	Muy débil en 2018
A-02	2019	Normal	Normal en 2018
A-03	2019	Normal	Normal en 2018
A-15	2019	Seco	Débil en 2013, seco desde 2014
A-16	2019	Seco	Normal en 2008, seco desde 2009
A-32	2019	Normal	Normal en 2018
A-61	2019	Seco	Seco desde el monitoreo de línea base (2006)
A-62	2019	Seco	Normal en 2007, seco desde el 2008
A-63	2022	Seco	Débil en 2007, seco desde el 2008
A-67	2022	Seco	Seco desde el monitoreo de línea base (2006)

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

En la Figura 5-13, se ilustra el estado vital de los individuos desaparecidos previo a su desprendimiento. Al respecto, se observa que el 71,43% (correspondiente a 10 ejemplares) se encontraban secos en los monitoreos previos a su desprendimiento, mientras que el 21,43% (tres [3] individuos) tenía una vitalidad normal y un 7,14% (un [1] ejemplar) se encontraba en la categoría de vitalidad muy débil.

Figura 5-13. Vitalidad previa al desprendimiento de los individuos desaparecidos

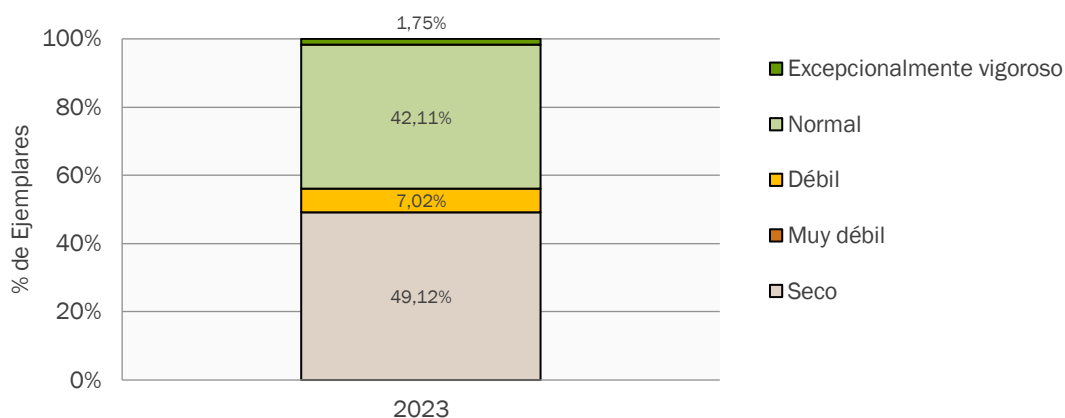


Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.1.4.1 Estado de vitalidad

De los 57 individuos en pie que son reportados en este periodo, el 49,12% (28 ejemplares) se encuentran secos y el 50,88% (29 ejemplares) presenta alguna categoría de vitalidad (Figura 5-14). De estos últimos, la mayoría presenta una vitalidad normal, con el 42,11% (24 ejemplares) dentro de esta categoría, mientras que el 7,02% (cuatro [4] individuos) presenta una vitalidad débil y tan sólo un 1,75% (representado por un [1] individuo) presenta una vitalidad excepcionalmente vigorosa. Durante esta campaña de monitoreo 2023 no se registraron individuos dentro de la categoría de vitalidad muy débil (Tabla 5-38).

Figura 5-14. Vitalidad de los ejemplares de *Neltuma alba* (Algarrobos)



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Tabla 5-38. Vitalidad de los ejemplares de *Neltuma alba* (Algarrobos)

Estado Vital	Nº de árboles	% de Individuos
Seco	28	49,12
Muy débil	0	0,00
Débil	4	7,02
Crecimiento normal	24	42,11
Excepcionalmente vigoroso	1	1,75
Sub-total existentes a abril 2023	57	100,00
Sub-total desaparecidos	14	-
Total histórico	71	-

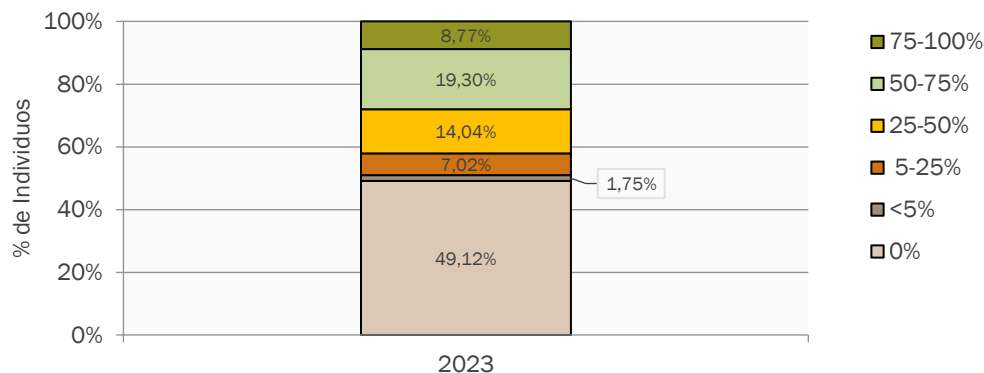
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.1.4.2 Copa viva

Los resultados de las mediciones de copa viva realizadas en los Algarrobos durante el periodo 2023, registraron que el 50,88% (29 individuos) de los algarrobos presentó algún grado de copa verde, de los cuales la

mayoría se posiciona dentro las categorías medias de copa verde, donde el 19,30% de los individuos (11 ejemplares) pertenece a la categoría de 50 – 75% y el 14,04% (8 ejemplares) a la categoría de 25 – 50% de copa verde. Del resto, el 8,77% de los individuos (5 ejemplares) presentó entre 75 – 100% de copa verde, el 7,02% (4 individuos) presentó entre 5 – 25% y una proporción menor presentó <5% de copa verde (1,75% representado por un [1] individuo). El 49,12% de los ejemplares (28 individuos) no presentó follaje verde (categoría 0%). En la siguiente Figura 5-15 y Tabla 5-39, se visualiza el detalle de los resultados.

Figura 5-15. Proporción (%) de copa viva de ejemplares de *Neltuma alba* (Algarrobos)



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Tabla 5-39. Proporción (%) de copa viva de ejemplares de *Neltuma alba* (Algarrobos)

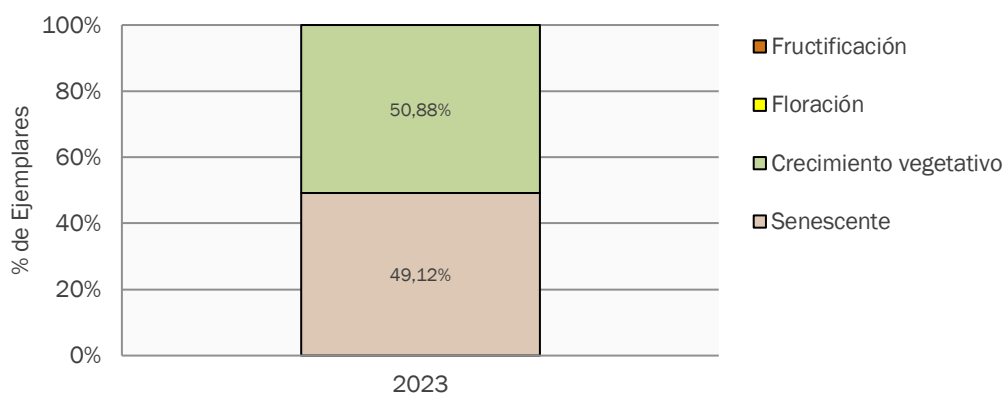
% de copa viva	Nº de árboles	% de Individuos
0%	28	49,12
<5%	1	1,75
5 – 25%	4	7,02
25 – 50%	8	14,04
50 – 75%	11	19,30
75 – 100%	5	8,77
Sub-total existentes a abril 2023	57	100,00
Sub-total desaparecidos	14	-
Total histórico	71	-

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.1.4.3 Estado fenológico

Con respecto a la fenología de los individuos, en 2023 se reporta que el 50,88% de los individuos en pie (29 ejemplares) se registró en la etapa fenológica de crecimiento vegetativo y el 49,12% de ellos se registró en una etapa de senescencia (28 individuos). No se identificaron individuos en las etapas fenológicas de floración ni fructificación. Los resultados de las mediciones de fenología realizadas en abril de 2023 se muestran en la Figura 5-16 y Tabla 5-40.

Figura 5-16. Fenología en los ejemplares de *Netuma alba* (Algarrobos)



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Tabla 5-40. Fenología en ejemplares de *Netuma alba* (Algarrobos)

Fenología	N° de árboles	% de individuos
Senescente	28	49,12
Crecimiento vegetativo	29	50,88
Floración	0	0,00
Fructificación	0	0,00
Sub-total existentes a abril 2023	57	100,00
Sub-total desaparecidos	14	-
Total histórico	71	-

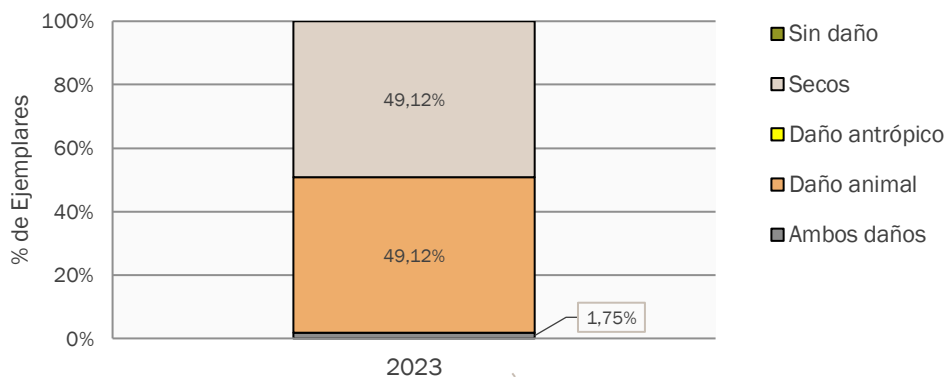
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.1.4.4 Daño por agentes externos

Al igual que en los análisis anteriores, los cálculos se establecieron en referencia a los 57 individuos que se encuentran en pie en terreno, excluyendo a aquellos individuos desaparecidos en temporadas anteriores producto de aluviones o a la acción antrópica y/o animal. Los resultados para el periodo de reporte (2023) asociados a la presencia de daño antrópico y animal se presentan en la Figura 5-17 y Tabla 5-41.

Al respecto, se observa que 28 ejemplares (49,12%) se encontraban secos al momento del monitoreo, por lo que no se les realizó evaluación del tipo de daño. Del resto de los ejemplares, 28 (49,12% del total) presentaron signos de daños animal, asociados principalmente al ramoneo de burros, y un [1] individuo presentó signos de ambos tipos de daño (animal y antrópico), correspondiente al 1,75% del total. Estos resultados indican que la totalidad de individuos que presentó algún grado de vitalidad presenta daño por animales.

Figura 5-17. Presencia de daño en los ejemplares de *Neltuma alba* (Algarrobos)



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Tabla 5-41. Proporción (%) del tipo de daño en ejemplares de *Neltuma alba* (Algarrobos)

Daño	N° de árboles	% de individuos
Daño animal	28	49,12
Daño antrópico	0	0,00
Ambos daños (Animal y antrópico)	1	1,75
Sin daño	0	0,00
Secos	28	49,12
Sub-total existentes a abril 2023	57	100,00
Sub-total desaparecidos	14	-
Total histórico	71	-

Fuente: Elaboración propia. Geobiota 2023

5.1.4.5 Estado Fisiológico

5.1.4.5.1 Primer semestre

En la Tabla 5-42, se presentan los valores de potencial hídrico de ramilla medidos en pre-alba (Ψ_{pa}) y medio-día (Ψ_{md}), en enero y abril de 2023. En enero, la población objetivo de algarrobos medida alcanzó valores de potencial hídrico pre alba entre $<-1,2$ y $-4,0$ MPa, obteniendo un valor promedio de $-2,14$ MPa, con un error estándar de $0,19$. En abril, los valores de la población objetivo (serie A) fluctuaron entre $-0,9$ y $-3,9$ MPa en Ψ_{pa} , entre $-1,8$ y $-3,1$ MPa en Ψ_{md} , y entre $152,43$ y $390,03$ mmol m⁻² s⁻¹ en gs. Con el objetivo de

evaluar la población objetivo (individuos de la Serie A) a los cuales se les ha implementado un sistema de riego con otros ejemplares emplazados aguas arriba de la tubería superficial sin sistema de riego, se midieron los mismos parámetros cuyos resultados son presentados en conjunto en la Tabla 5-42. En Anexo 13 se entregan los informes de Fisiología correspondientes al periodo de enero y abril 2023.

Tabla 5-42. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2023 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Enero 2023			Abril 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{pa} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{pa} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
A04	-2,40	-3,30	293,38	-1,80	-2,10	265,25
A07	-2,45	-3,20	246,68	-1,40	-2,45	152,43
A12	-2,80	<-4,00	349,38	-2,10	-3,00	252,25
A17	-1	-1	528,83	*	*	223,45
A21	-1,70	-2,90	377,38	-1,10	-1,80	279,28
A22	-1,60	-2,80	287,43	*	*	186,95
A30	<-4,00	-3,10	227,75	*	-2,80	218,95
A31	-2,30	-2,95	264,30	-1,70	*	301,58
A33	-2,10	-3,20	222,23	-1,85	-3,00	232,13
A36	-2,00	-2,85	276,78	-1,60	-2,95	259,08
A37	-2,05	-3,05	233,80	-1,70	-2,80	286,68
A38	-1,60	-2,20	360,38	*	-1,80	329,58
A40	-1,75	-3,15	274,23	-1,85	-2,80	263,08
A41	-1,20	-1,90	233,00	-3,90	*	295,20
A43	-1,75	-2,20	285,20	-0,90	-2,70	390,03
A44	-2,35	-2,80	237,80	-2,30	-3,10	251,80
A47	-1,95	-3,20	359,50	-1,60	-2,65	318,95
A58	-2,30	-2,70	290,10	-1,80	-2,20	314,48
B02	-3,90	<-4,00	167,80	-1,40	-3,90	219,78
B03	-2,60	<-4,00	147,90	-1,95	-2,85	160,23
B04	-3,50	<-4,00	172,43	-2,20	-3,90	166,40
B09	-2,45	-2,95	266,18	-2,00	-2,90	321,40
B10	-3,20	<-4,00	157,85	-3,40	-4,15	122,05
B11	-2,95	-3,80	167,80	-2,65	-4,00	156,93

Tabla 5-42. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2023 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Enero 2023			Abril 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{pa} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{pa} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
B17	-3,25	-3,50	250,33	-2,50	-2,75	265,78
B20	-2,50	-3,40	285,25	-2,15	-3,10	336,30
B21	-2,45	-3,35	238,28	-2,55	-3,40	233,95
C58	*	*	226,78	*	*	276,55
D28	-1,00	-2,35	159,75	-2,60	-1,80	374,13
AX01	-1,65	-2,3	282,55	-2,20	-2,80	293,33
AX02	*	*	182,18	-1,80	-2,90	286,43

*: árboles no medidos por falta de ramillas

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2023), Anexo 13

- Comparación de algarrobos de la Serie A y Series B-C

La Tabla 5-43 presenta los resultados registrados en la Tabla 5-42 pero agrupando los promedios de la serie A v/s los de las series B y C. En enero 2023 se encontraron diferencias significativas entre estas series ($p=0,0020$), donde los árboles de las series B y C alcanzan un Ψ_{pa} más bajo (-2,98 MPa). Al comparar la conductancia estomática, se encontraron diferencias significativas entre estas series ($p=0,0034$), donde los árboles de las series B y C alcanzan una gs más baja (208,06 mmol m⁻² s⁻¹).

En abril 2023 se logra visualizar diferencias significativas al comparar los potenciales hídricos de la Serie A en pre-alba ($p=0,0180$) y mediodía ($p=0,0027$), con los ejemplares de las series B y C, los cuales alcanzan el valor más bajo de Ψ_{pa} (-2,31 MPa) y Ψ_{md} (-3,44 MPa). Al comparar la conductancia estomática, no se encontraron diferencias entre las series ($p=0,1001$), alcanzando un valor promedio de 252,87 mmol m⁻² s⁻¹, con un error estándar de 12,19.

Tabla 5-43. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs)

Serie	Enero 2023			Abril 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
A	-2,14 ± 0,19	-2,91 ± 0,2	297,12 ± 18,38	-1,83 ± 0,19 a	-2,58 ± 0,12 a	267,84 ± 13,04 a
B-C	-2,98 ± 0,35	-3,67 ± 0,4	208,06 ± 16,86	-2,31 ± 0,19 b	-3,44 ± 0,19 b	225,94 ± 23,32 a
Promedio*	-2,43 ± 0,18	3,17 ± 0,2	265,31 ± 15,64	-2,02 ± 0,14	-2,92 ± 0,13	252,87 ± 12,19

*Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según la prueba de Kruskal Wallis (Ψ_{pa} y Ψ_{md}) y DGC (gs) de separación de medias.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2023), Anexo 13.

- Comparación de Algarrobos según su ubicación respecto de la tubería de agua superficial

Al analizar los datos de la Tabla 5-44, comparando los individuos ubicados agua arriba de la tubería y aguas abajo. En enero 2023 no se encontraron diferencias significativas ($p=0,7699$), observando un Ψ_{pa} promedio de $-2,35$ MPa, con un error estándar de $0,19$. En abril 2023 se encontraron diferencias significativas solo en potencial hídrico de mediodía ($p=0,0220$), donde los árboles ubicados aguas arriba de la tubería alcanzan el valor más bajo ($-3,04$ MPa). Al comparar el potencial hídrico en pre-alba, no se encontraron diferencias entre ambos grupos de árboles ($p=0,2343$), alcanzando un valor promedio de $-2,04$ MPa, con un error estándar de $0,13$. Por otra parte, la conductancia estomática tampoco mostró diferencias respecto de la ubicación de los árboles ($p=0,7700$), alcanzando un valor promedio de $259,17$ $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, con un error estándar de $11,75$.

Tabla 5-44. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) para individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería de agua superficial

Ubicación respecto de la tubería	Enero 2023			Abril 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Aguas arriba	$-2,38 \pm 0,19$	$-3,13 \pm 0,21$	$2,44 \pm 13,31$	$-2,13 \pm 0,16$ a	$-3,04 \pm 0,14$ b	$261,60 \pm 14,85$ a
Aguas abajo	$-2,28 \pm 0,44$	$-3,08 \pm 0,48$	$291,70 \pm 37,86$	$-1,79 \pm 0,18$ a	$-2,41 \pm 0,19$ a	$254,07 \pm 19,86$ a
Promedio*	$-2,35 \pm 0,19$	$-3,11 \pm 0,21$	$259,78 \pm 15,00$	$-2,04 \pm 0,13$	$-2,87 \pm 0,13$	$259,17 \pm 11,75$

*Valores promedio corresponden a las medias ± 1 Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según la prueba DGC de separación de medias.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2023), Anexo 13

5.1.4.5.2 Segundo semestre

En la Tabla 5-45, se presentan los valores de potencial hídrico de ramilla medidos en pre-alba (Ψ_{pa}) y mediodía (Ψ_{md}), en julio y octubre de 2023. En julio, los valores de la población objetivo (serie A) fluctuaron entre $-1,7$ y $<-4,5$ MPa en Ψ_{pa} , entre $-2,25$ y $<-4,5$ MPa en Ψ_{md} , y entre $58,6$ y $308,73$ $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en gs. En octubre, de la población objetivo (serie A) fluctuaron entre $-0,7$ y $-2,15$ MPa en Ψ_{pa} , entre $-1,05$ y $-3,0$ MPa en Ψ_{md} , y entre $98,8$ y $491,3$ $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en gs. Con el objetivo de evaluar la población objetivo (individuos de la Serie A) a los cuales se les ha implementado un sistema de riego con otros ejemplares emplazados aguas arriba de la tubería superficial sin sistema de riego, se midieron los mismos parámetros cuyos resultados son presentados en conjunto en la Tabla 5-45. En Anexo 13 se entregan los informes de fisiología correspondientes al periodo de julio y octubre 2023.

Tabla 5-45. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2023 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Julio 2023			Octubre 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{pa} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{pa} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
A04	-2,60	-2,70	226,18	-1,00	-1,80	226,10
A07	-2,40	-3,15	160,53	-0,90	-2,05	171,48
A12	-2,70	-3,40	190,25	-0,90	-1,70	394,40
A17	-	-	58,60	-	-	402,70
A21	-2,60	-	141,65	-1,00	-2,00	349,50
A22	-3,10	-	117,35	-	-	491,30
A30	-	-	161,68	-1,00	-1,50	387,80
A31	-2,90	-	146,40	-1,00	-	350,38
A33	-2,30	-2,45	99,80	-1,60	-1,90	199,95
A36	-1,80	-2,25	254,45	-1,35	-1,80	151,65
A37	-2,20	-2,70	172,78	-1,15	-1,75	192,53
A38	<-4,50	<-4,50	203,08	-0,80	-1,70	334,80
A40	-2,30	<-4,50	241,40	-1,25	-2,10	249,93
A41	-2,50	-	182,73	-1,00	-1,50	302,63
A43	<-4,50	-4,00	280,98	-0,90	-1,30	199,15
A44	-2,60	-3,25	263,80	-0,90	-2,40	205,93
A47	-1,70	<-4,50	219,58	-0,95	-1,75	273,23
A58	-3,20	-3,00	225,18	-0,90	-1,50	286,18
B02	<-4,50	-3,80	101,55	-0,70	-2,50	150,80
B03	-2,70	-2,80	171,50	-1,40	-2,65	186,30
B04	-2,40	-3,10	140,95	-1,55	-2,45	163,53
B09	-2,70	-3,05	151,83	-1,40	-1,05	170,50
B10	-3,00	-3,65	91,13	-2,15	-3,00	187,15
B11	-2,75	-3,55	136,10	-1,45	-2,10	121,78
B17	-2,55	-3,35	243,90	-1,05	-1,50	273,10
B20	-2,70	-2,50	132,53	-1,05	-1,30	229,28
B21	-1,90	-3,20	205,20	-1,20	-1,95	160,75
C58	-	-	130,30	-	-	98,80

Tabla 5-45. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2023 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Julio 2023			Octubre 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
D28	-2,20	-3,30	200,05	-1,10	-2,00	336,08
AX01	-2,00	-4,20	308,73	-1,20	-2,00	269,68
AX02	-3,80	-	-	-	-	464,83

*: árboles no medidos por falta de ramillas

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2023), Anexo 13

- Comparación de algarrobos de la Serie A y Series B-C

La Tabla 5-46 presenta los resultados registrados en la Tabla 5-45 pero agrupando los promedios de la serie A v/s los de las series B y C. No se encontraron diferencias significativas al comparar los potenciales hídricos en pre-alba ($p=0,6876$), mediodía ($p=0,6052$) y conductancia estomática ($p=0,1173$). Se alcanzaron valores promedio de -2,76 MPa en potencial hídrico en pre-alba, -3,30 MPa en potencial hídrico de mediodía y 173,26 mmol m⁻² s⁻¹. Por otro lado, en octubre 2023 se encontraron diferencias significativas al comparar el potencial hídrico en pre-alba ($p=0,0254$) y la conductancia estomática ($p=0,0003$), con los valores más bajos en los árboles de la serie B-C (-1,33 MPa y 174,2 mmol m⁻² s⁻¹ respectivamente). Por el contrario, el potencial hídrico de mediodía no se diferenció significativamente ($p=0,2535$), alcanzando un valor promedio de -1,89 MPa.

Tabla 5-46. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs)

Serie	Julio 2023			Octubre 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
A	-2,74±0,20 a	-3,37±0,24 a	185,91±14,09 a	-1,04±0,05 a	-1,78±0,07 a	287,20±22,51 a
B-C	-2,80±0,24 a	-3,22±0,14 a	150,50±14,57 a	-1,33±0,14 b	-2,06±0,22 a	174,20±15,78 b
Promedio*	-2,76±0,15	-3,30±0,15	173,26±10,78	-1,14±0,06	-1,89±0,10	246,84±18,53

*Valores promedio corresponden a las medias \pm 1 Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según la prueba de Kruskal Wallis (Ψ_{pa} y Ψ_{md}) y DGC (gs) de separación de medias.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2023), Anexo 13.

- Comparación de algarrobos según su ubicación respecto de la tubería de agua superficial

Al analizar los datos de la Tabla 5-47, comparando los individuos ubicados agua arriba de la tubería y aguas abajo. En julio 2023 no se encontraron diferencias significativas en potencial hídrico en pre-alba ($p=0,4911$), alcanzando un valor promedio de -2,75 MPa, con un error estándar de 0,14. Al comparar el potencial hídrico de mediodía no se encontraron diferencias entre ambos grupos de árboles ($p=0,5073$), alcanzando un valor promedio de -3,34 MPa, con un error estándar de 0,14. Por otra parte, la conductancia estomática tampoco

mostró diferencias respecto de la ubicación de los árboles ($p=0,1806$), alcanzando un valor promedio de 178,67 mmol m⁻² s⁻¹, con un error estándar de 11,04. En octubre 2023 se encontraron diferencias significativas en potencial hídrico en pre-alba ($p=0,0140$) y en la conductancia estomática ($p<0,0001$), alcanzando los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba (-1,2 MPa y 209,89 mmol m⁻² s⁻¹, respectivamente). Por el contrario, el potencial hídrico de mediodía no mostró diferencias entre ambos grupos de árboles ($p=0,7511$), alcanzando un valor promedio de -1,89 MPa.

Tabla 5-47. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) para individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería de agua superficial

Ubicación respecto de la tubería	Julio 2023			Octubre 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
Aguas arriba	-2,74±0,19 a	-3,39±0,16 a	188,45±13,81 a	-1,20±0,08 b	-1,91±0,11 a	209,89±13,65 b
Aguas abajo	-2,79±0,17 a	-3,14±0,15 a	155,85±16,40 a	-0,99±0,03 a	-1,84±0,09 a	357,46±30,95 a
Promedio*	-2,75±0,14	-3,34±0,14	178,67±11,04	-1,14±0,06	-1,89±0,09	257,49±18,32

*Valores promedio corresponden a las medias \pm 1 Error Estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% según la prueba DGC de separación de medias.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2023), Anexo 13

5.1.4.6 Estimación de la biomasa

5.1.4.6.1 Primer semestre

La estimación de la biomasa en la campaña de enero de 2023 da cuenta de 251 registros correspondientes a árboles del género *Neltuma* (Series A, B, C, D) de los cuales fue posible ubicar y medir 192 árboles (76,40%). Los 59 árboles restantes se encontraron desaparecidos, incompletos o desprendidos de su raíz en el lugar (desenterrados) y no fue posible su medición en terreno. Un 69,20% de los árboles medidos (133 individuos) se encuentran vivos, presentando algún nivel de vitalidad en sus vástagos y el 30,30% restante (59 individuos) no presenta ramillas con hojas, estas están secas o la madera de la totalidad de sus vástagos se aprecia completamente seca.

Según lo presentado en la Tabla 5-48, la mayor parte de los individuos (80,20%, 154 árboles) se concentran en las clases diamétricas de menor tamaño (0 a 2,5 cm y 2,6 a 5 cm) con alturas medias que no superan los 40 cm. Los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) sólo representan el 6,30% (12 árboles) y pueden alcanzar en promedio hasta los 6,6 m de altura.

La mayoría de los individuos (87,50%) presentan más de un vástago (plurifustales), cuyo número promedio fluctúa entre 2 y 32 vástagos por individuo.

El área basal es baja, alcanzando los 2,399 m² para el total de la población, en donde el 73,30 % de esta lo acumulan seis individuos de gran tamaño (Dbe>30 cm).

El promedio de las áreas de la copa fluctúa entre 0,05 y 123,3 m², mostrando una clara tendencia en su desarrollo en los individuos de mayor tamaño que son capaces de superar los 30 m² de área de copa.

En Anexo 14 se entregan los informes de biomasa correspondientes al periodo de enero y abril 2023.

Tabla 5-48. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género *Neeltuma* para ejemplares de algarrobo – enero 2023

Rango Dbe (cm)	N° Vástagos promedio por individuo			Altura media (m)			Área basal acumulada (m ²)			Área de copa (m ²)		
	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos*	Media
0 - 2,5	2,8	2	2,4	0,4	0,3	0,35	0,001	0,002	0,003	0,1	0,2	0,2
2,6 - 5	4,8	5,2	5	0,8	0,5	0,65	0,013	0,007	0,02	1,7	1,3	1,5
5,1 - 7,5	12,7	13	12,85	0,9	0,7	0,8	0,011	0,002	0,013	2,9	3,7	3,1
7,6 - 10	11	2	6,5	0,7	2	1,35	0,012	0,006	0,018	1,7	5,7	3
10,1 - 12,5	10	-	10	1,5	-	1,5	0,02	-	0,02	9,6	-	9,6
12,6 - 15	49,3	13	31,15	1,2	0,5	0,85	0,044	0,017	0,061	7,7	1,7	6,2
15,1 - 17,5	7,3	7,5	7,4	2	1,2	1,6	0,066	0,041	0,107	9,5	3,9	7,3
17,6 - 20	3,3	-	3,3	1,8	-	1,8	0,104	-	0,104	10,6	-	10,6
20,1 - 22,5	11,5	-	11,5	2,3	-	2,3	0,072	-	0,072	26,4	-	26,4
22,6 - 25	6	-	6	3,1	-	3,1	0,088	-	0,088	20,3	-	20,3
25,1 - 27,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27,6 - 30	-	4	4	-	2,6	2,6	-	0,068	0,068	-	13,3	13,3
30,1 - 32,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total/Media ^a	10,2	4,6	8,1	1,2	0,7	1	0,431	0,143	0,574	6,7	2,00	5,0

(*) En el caso del área de copa promedio de los individuos secos, se midió la proyección de la copa formada sólo por las ramas secas que se mantienen en pie.

(-) No se registra información para la clase diamétrica o de vitalidad correspondiente.

Fuente: Cuadro 2, Anexo 14 Informe "Estimación biomasa de una población del género *Prosopis* emplazada en la Quebrada de Camar" (enero 2023)

La estimación de la biomasa en abril de 2023 registra 255 registros correspondientes a árboles del género *Prosopis* (Series A, B, C, D) de los cuales fue posible ubicar y medir 189 árboles (74,1%). Los 66 árboles (25,9%) restantes se encuentran desaparecidos, incompletos o desprendidos de su raíz en el lugar (desenterrados) y no fue posible su medición en terreno. Un 73,0% de los árboles (138 árboles) medidos se encuentran vivos, presentando algún nivel de vitalidad en sus vástagos y el 27,0% restante (51 árboles) actualmente no presenta ramillas con hojas o estas están secas y la madera de la totalidad de sus vástagos se aprecia completamente seca. Según los resultados, la mayor parte de los individuos (82,0%, 155 árboles) se concentran en las clases diamétricas de menor tamaño (0 a 2,5 cm, 2,6 a 5 cm y 5,0-7,5 cm) con alturas medias

que no superan los 50 cm. Los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) sólo representan el 7,4% (14 árboles) y pueden alcanzar en promedio hasta los 7,0 m de altura. La mayoría de los individuos (93,6%, 177 árboles) presentan más de un vástago (plurifustales), cuyo número promedio fluctúa entre 2 y 32 vástagos por individuo. El área basal es baja, alcanzando los 2,8544 m² para el total de la población, en donde el 72,4% de esta lo acumulan seis individuos de gran tamaño (Dbe>30 cm). El promedio de las áreas de la copa fluctúa entre 0,05 y 55,8 m², mostrando una clara tendencia en su desarrollo en los individuos de mayor tamaño que son capaces de superar los 30 m² de área de copa.

Tabla 5-49. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género *Neltuma* para ejemplares de Algarrobo – abril 2023

Rango Dbe (cm)	N° Vástagos promedio por individuo			Altura media (m)			Área basal acumulada (m ²)			Área de copa (m ²)		
	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos*	Media
0 - 2,5	3,3	2,3	2,7	0,1	0,1	0,1	0,0076	0,0069	0,0145	0,1	0	0,1
2,6 - 5	8,7	7,3	8,4	0,2	0,3	0,2	0,0915	0,0174	0,1089	0,2	0,9	0,3
5,1 - 7,5	18,1	12	16,6	0,4	0,6	0,5	0,0263	0,0077	0,034	0,7	1,9	1
7,6 - 10	23,5	11	21	0,8	2,1	1,1	0,0226	0,0063	0,0289	2,8	7,8	3,8
10,1 - 12,5	46,5	3	32	1,5	0,7	1,2	0,018	0,0084	0,0264	7,2	1,2	5,2
12,6 - 15	35,8	17	30,4	1,3	0,6	1,1	0,0724	0,0317	0,1041	8	1,2	6
15,1 - 17,5	5	14	9,5	1,7	1,6	1,6	0,0237	0,0236	0,0473	11	5,9	8,5
17,6 - 20	9	-	9	2,1	-	2,1	0,0814	-	0,0814	12	-	12
20,1 - 22,5	23	-	23	1,7	-	1,7	0,0359	-	0,0359	23,6	-	23,6
22,6 - 25	1	-	1	2	-	2	0,0868	-	0,0868	11,3	-	11,3
25,1 - 27,5	2	2	2	3,3	0,9	2,5	0,1082	0,0514	0,1596	17,3	3,3	12,6
27,6 - 30	4	-	4	3,3	-	3,3	0,0619	-	0,0619	5,5	-	5,5
30,1 - 32,5	13,5	-	13,5	2,4	-	2,4	0,1566	-	0,1566	22,6	-	22,6
60,1 - 62,5	5	-	5	4,5	-	4,5	0,2988	-	0,2988	55,8	-	55,8
62,6 - 65	15	-	15	4,5	-	4,5	0,3292	-	0,3292	1,1	-	1,1
65,1 - 67,5	7	-	7	3,5	-	3,5	0,352	-	0,352	43,7	-	43,7
70,1 - 72,5	1	-	1	7	-	7	0,3948	-	0,3948	0,9	-	0,9
80,1 - 82,5	1	-	1	0,6	-	6	0,5333	-	0,5333	0,8	-	0,8
Total/Media ²	10,3	5,6	9	0,6	0,3	0,5	2,701	0,1534	2,8544	3,5	0,8	2,2

(*) En el caso del área de copa promedio de los individuos secos, se midió la proyección de la copa formada sólo por las ramas secas que se mantienen en pie.

(-) No se registra información para la clase diamétrica o de vitalidad correspondiente.

Fuente: Cuadro 2, Anexo 14 Informe "Estimación biomasa de una población del género *Prosopis* emplazada en la Quebrada de Camar" (abril 2023)

5.1.4.6.2 Segundo semestre

La base de datos correspondiente al monitoreo de julio presenta 256 registros correspondientes a árboles del género *Neltuma* (ex *Prosopis*) (Series A, B, C, D) de los cuales fue posible ubicar y medir 186 árboles (72,7%). Los 70 árboles (27,3%) restantes se encuentran desaparecidos, incompletos o desprendidos de su raíz en el lugar (desenterrados) y no fue posible su medición en terreno. Un 69,3% de los árboles (129 árboles) medidos se encuentran vivos, presentando algún nivel de vitalidad en sus vástagos y el 30,7% restante (57 árboles) actualmente no presenta ramillas con hojas o estas están secas y la madera de la totalidad de sus vástagos se aprecia completamente seca.

Según lo presentado en la Tabla 5-48, la mayor parte de los individuos (80,6%, 150 árboles) se concentran en las clases diamétricas de menor tamaño (0 a 2,5 cm, 2,6 a 5 cm y 5,0-7,5 cm) con alturas medias que no superan los 50 cm. Los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) sólo representan el 9,1% (17 árboles) y pueden alcanzar en promedio hasta los 7,0 m de altura.

La mayoría de los individuos (93,0%, 173 árboles) presentan más de un vástago (plurifustales), cuyo número promedio fluctúa entre 2 y 27 vástagos por individuo.

El área basal es baja, alcanzando los 3,0326 m² para el total de la población, en donde el 74,2% de esta lo acumulan ocho individuos de gran tamaño (Dbe>30 cm).

El promedio de las áreas de la copa fluctúa entre 0,065 y 92,3 m², mostrando una clara tendencia en su desarrollo en los individuos de mayor tamaño que son capaces de superar los 30 m² de área de copa.

Tabla 5-50. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género *Neltuma* para ejemplares de algarrobo – julio 2023

Rango Dbe (cm)	N° Vástagos promedio por individuo			Altura media (m)			Área basal acumulada (m ²)			Área de copa (m ²)		
	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos*	Media
0 - 2,5	2,80	2,50	2,60	0,20	0,10	0,10	0,01	0,01	0,01	0,12	0,03	0,06
2,6 - 5	8,60	7,40	8,30	0,10	0,20	0,20	0,08	0,02	0,10	0,12	0,49	0,21
5,1 - 7,5	19,80	14,30	18,40	0,30	0,70	0,40	0,03	0,01	0,04	0,54	2,40	1,01
7,6 - 10	26,00	12,00	23,70	0,80	2,10	1,00	0,03	0,01	0,04	3,08	6,54	3,66
10,1 - 12,5	54,30	1,00	41,00	1,50	0,70	1,30	0,03	0,01	0,04	9,57	1,18	7,47
12,6 - 15	23,00	27,00	23,80	1,30	0,50	1,10	0,06	0,02	0,08	6,70	1,80	5,72
15,1 - 17,5	15,00	10,00	11,70	1,60	1,10	1,30	0,02	0,05	0,07	6,43	3,78	4,66
17,6 - 20	5,00	-	5,00	2,40	-	2,40	0,03	-	0,03	16,83	-	16,83
20,1 - 22,5	5,00	-	5,00	1,80	-	1,80	0,07	-	0,07	17,54	-	17,54

Tabla 5-50. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género *Neeltuma* para ejemplares de algarrobo – julio 2023

Rango Dbe (cm)	N° Vástagos promedio por individuo			Altura media (m)			Área basal acumulada (m2)			Área de copa (m2)		
	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos*	Media
22,6 - 25	5,50	-	5,50	1,90	-	1,90	0,09	-	0,09	10,81	-	10,81
25,1 - 27,5	7,50	2,00	5,70	3,10	0,90	2,30	0,10	0,05	0,15	19,71	1,49	13,63
27,6 - 30	2,00	-	2,00	3,30	-	3,30	0,06	-	0,06	21,23	-	21,23
30,1 - 32,5	2,00	4,00	3,00	3,80	2,60	3,20	0,07	0,07	0,15	24,96	14,91	19,94
32,6 - 35	14,00	-	14,00	2,30	-	2,30	0,10	-	0,10	19,24	-	19,24
45,1 - 47,5	8,00	-	8,00	1,90	-	1,90	0,17	-	0,17	14,34	-	14,34
47,6 - 50	1,00	-	1,00	3,20	-	3,20	0,18	-	0,18	32,26	-	32,26
65,1 - 67,5	14,50	-	14,50	5,00	-	5,00	0,69	-	0,69	79,36	-	79,36
70,1 - 72,5	1,00	-	1,00	7,20	-	7,20	0,40	-	0,40	86,31	-	86,31
82,6 - 85	1,00	-	1,00	6,30	-	6,30	0,57	-	0,57	92,30	-	92,30
Total/Media [□]	10,90	6,00	9,40	0,70	0,30	0,60	2,80	0,23	3,03	5,09	0,95	3,82

(*) En el caso del área de copa promedio de los individuos secos, se midió la proyección de la copa formada sólo por las ramas secas que se mantienen en pie.

(-) No se registra información para la clase diamétrica o de vitalidad correspondiente.

Fuente: Cuadro 2, Anexo 14 Informe "Estimación biomasa de una población del género *Prosopis* emplazada en la Quebrada de Camar" (enero 2023)

La biomasa aérea alcanza los 5.205,4 kg para el total de la población medida (129 árboles "Vivos" y 57 árboles "Secos"), con un valor promedio por individuos de 27,9 kg. El 92,6% de la biomasa proviene de individuos vivos y sólo el 7,4% restante a individuos secos.

El 67,1% de la biomasa aérea se concentra en cinco individuos monofustales de gran tamaño, con diámetros que van entre los 47,6 y los 82,4 cm y con alturas que van entre los 3,2 m hasta 7,2 m. Es importante señalar, que los valores de biomasa total no coinciden con la biomasa total obtenida mediante la suma de cada componente, debido al efecto de no aditividad de las funciones para cada componente (Parresol, 2001; ver capítulo 1.3).

Sólo un 1,6% (3 árboles) de los individuos de la población presenta frutos, con una media de 2,3 frutos/árbol y con una biomasa estimada de 12,9 g /árbol (peso húmedo). La biomasa total de frutos (peso húmedo) no supera los 0,05 kg, concentrándose el total de la biomasa del componente en individuos de la Serie B, que ya habían sido registrados con frutos en la medición anterior (abril 2023).

La biomasa aérea total de los individuos se distribuye porcentualmente de la siguiente forma: un 32,2% corresponde al fuste, 60,2% a ramas, 7,6% a hojas, es importante señalar que, para determinar

específicamente estas proporciones por componente de biomasa, sólo se consideraron los individuos vivos, esto debido a que, en el caso de aquellos secos, no se sabe exactamente cuál es la proporción real de cada componente, ya que estos no presentan hojas. Por otro lado, se excluyó del análisis la biomasa de frutos ya que corresponde al peso húmedo y no es comparable al resto de las componentes.

La estimación de la biomasa en octubre de 2023 presenta 256 registros correspondientes a árboles del género *Neltuma* (ex *Prosopis*) (Series A, B, C, D) de los cuales fue posible ubicar y medir 183 árboles (71,5%). Los 73 árboles (28,5%) restantes se encuentran desaparecidos, incompletos o desprendidos de su raíz en el lugar (desenterrados) y no fue posible su medición en terreno. Un 69,4% de los árboles (127 árboles) medidos se encuentran vivos, presentando algún nivel de vitalidad en sus vástagos y el 30,6% restante (56 árboles) actualmente no presenta ramillas con hojas o estas están secas y la madera de la totalidad de sus vástagos se aprecia completamente seca.

Según lo presentado en la Tabla 5-51, la mayor parte de los individuos (80,3%, 147 árboles) se concentran en las clases diamétricas de menor tamaño (0 a 2,5 cm, 2,6 a 5 cm y 5,0-7,5 cm) con alturas medias que no superan los 50 cm. Los individuos de mayor tamaño (>20 cm) sólo representan el 9,3% (17 árboles) de la población y pueden alcanzar en promedio hasta los 6,75 m de altura.

La mayoría de los individuos (91,8%, 168 árboles) presentan más de un vástago (plurifustales), cuyo número promedio fluctúa entre 2,6 y 60,3 vástagos por individuo.

El área basal es baja, alcanzando los 2,9024 m² para el total de la población, en donde el 72,1% de esta lo acumulan ocho individuos de gran tamaño (Dbe>30 cm).

El promedio de las áreas de la copa fluctúa entre 0,06 y 100,16 m², mostrando una clara tendencia en su desarrollo en los individuos de mayor tamaño que son capaces de superar los 30 m² de área de copa.

Se registraron intervenciones en dos individuos de la población, el primero correspondiente a la serie A, que presenta señales de haber sufrido una corta de algunas de sus ramas y el otro de la Serie B, que presenta indicios de haber sido ramoneado posiblemente por burros.

Tabla 5-51. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género *Neltuma* para ejemplares de algarrobo – octubre 2023

Rango Dbe (cm)	N° Vástagos promedio por individuo			Altura media (m)			Área basal acumulada (m ²)			Área de copa (m ²)		
	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos*	Media
0 - 2,5	3,10	2,20	2,60	0,16	0,08	0,12	0,01	0,01	0,02	0,08	0,05	0,06
2,6 - 5	8,60	7,30	8,30	0,15	0,22	0,16	0,06	0,02	0,08	0,17	0,56	0,26
5,1 - 7,5	16,30	11,00	15,30	0,52	0,53	0,52	0,03	0,01	0,04	1,19	0,96	1,15
7,6 - 10	17,50	11,00	16,60	0,76	2,08	0,95	0,04	0,01	0,04	3,14	6,54	3,63
10,1 - 12,5	60,30	-	60,30	1,11	-	1,11	0,03	-	0,03	7,36	-	7,36

Tabla 5-51. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género *Neltuma* para ejemplares de algarrobo – octubre 2023

Rango Dbe (cm)	N° Vástagos promedio por individuo			Altura media (m)			Área basal acumulada (m ²)			Área de copa (m ²)		
	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Media	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos*	Media
12,6 - 15	16,20	25,00	17,70	1,43	0,55	1,28	0,08	0,01	0,10	6,57	1,43	5,71
15,1 - 17,5	-	9,00	9,00	-	1,08	1,08	-	0,05	0,05	-	3,28	3,28
17,6 - 20	5,00	-	5,00	2,49	-	2,49	0,03	-	0,03	16,83	-	16,83
20,1 - 22,5	5,00	-	5,00	1,82	-	1,82	0,07	-	0,07	21,36	-	21,36
22,6 - 25	4,30	-	4,30	1,92	-	1,92	0,14	-	0,14	11,59	-	11,59
25,1 - 27,5	8,50	2,00	6,30	3,10	0,90	2,37	0,10	0,05	0,15	23,33	3,12	16,59
27,6 - 30	-	2,00	2,00	-	3,75	3,75	-	0,06	0,06	-	17,31	17,31
30,1 - 32,5	1,00	4,00	2,50	3,75	2,56	3,16	0,07	0,07	0,15	20,45	14,91	17,68
35,1 - 37,5	11,00	-	11,00	2,30	-	2,30	0,10	-	0,10	36,31	-	36,31
47,6 - 50	1,00	-	1,00	3,20	-	3,20	0,20	-	0,20	43,54	-	43,54
65,1 - 67,5	10,50	-	10,50	5,13	-	5,13	0,69	-	0,69	91,04	-	91,04
70,1 - 72,5	1,00	-	1,00	6,75	-	6,75	0,40	-	0,40	84,69	-	84,69
82,6 - 85	1,00	-	1,00	6,30	-	6,30	0,57	-	0,57	100,16	-	100,16
Total/Media [¶]	9,70	5,10	8,30	0,67	0,35	0,57	2,62	0,28	2,90	5,58	1,15	4,22

(*) En el caso del área de copa promedio de los individuos secos, se midió la proyección de la copa formada sólo por las ramas secas que se mantienen en pie.

(-) No se registra información para la clase diamétrica o de vitalidad correspondiente.

Fuente: Cuadro 2, Anexo 14 Informe "Estimación biomasa de una población del género *Prosopis* emplazada en la Quebrada de Camar" (abril 2023)

La biomasa aérea alcanza los 5.588,0 kg para el total de la población medida (127 árboles "Vivos" y 56 árboles "Secos"), con un valor promedio por individuos de 30,5 kg. El 91,6% de la biomasa proviene de individuos vivos y sólo el 8,4% restante a individuos secos.

El 66,9% de la biomasa aérea se concentra en cinco individuos monofustales de gran tamaño, con diámetros que van entre los 47,6 y los 82,4 cm y con alturas que van entre los 3,2 m hasta 6,8 m. Es importante señalar, que los valores de biomasa total no coinciden con la biomasa total obtenida mediante la suma de cada componente, debido al efecto de no aditividad de las funciones para cada componente (Parresol, 2001; ver capítulo 1.3). Además, no se registraron frutos durante la medición.

La biomasa aérea total de los individuos se distribuye porcentualmente de la siguiente forma: un 30,3% corresponde al fuste, 61,8% a ramas, 7,9% a hojas, es importante señalar que, para determinar específicamente estas proporciones por componente de biomasa, sólo se consideraron los individuos vivos, esto debido

a que, en el caso de aquellos secos, no se sabe exactamente cuál es la proporción real de cada componente, ya que estos no presentan hojas. Por otro lado, se excluyó del análisis la biomasa de frutos ya que no se registró presencia de estos.

5.2 Fauna

5.2.1 Riqueza y caracterización de especies

En la campaña realizada (abril 2023) se registraron veintiséis [26] especies de fauna correspondientes a: 3 reptiles, 17 aves y 6 mamíferos (Anexo 17. Base de datos de Fauna).

Todas las especies registradas son nativas, de las cuales, una de ellas es endémica y pertenece a la clase Reptilia (*Liolaemus fabiani*). Respecto a la categoría de conservación, 12 especies se encuentran clasificadas en alguna categoría de conservación, según el Reglamento de Clasificación de Especies (RCE; DSN° 10/2023). De estas especies, seis [6] se encuentran clasificadas en categorías de conservación de amenaza o casi amenazadas, la lagartija de la puna (*Liolaemus puna*) y el flamenco chileno (*Phoenicopterus chilensis*) se encuentran clasificadas como Casi Amenazada (DS 16/2016 MMA y DS 23/2019 MMA, respectivamente), la parina grande (*Phoenicoparrus andinus*), la parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*) y el caití (*Recurvirostra andina*) se encuentran en categoría Vulnerable (DS 38/2015 MMA; DS 23/2019 MMA y DS 44/2021, respectivamente) y finalmente, la lagartija de Fabián (*L. fabiani*), clasificada En Peligro (DS 52/2014 MMA).

En el área de estudio no existen registros de especies introducidas. No obstante, fue posible detectar ejemplares de burros (*Equus asinus*) en forma directa y mediante evidencia indirecta. Estos animales son considerados como domésticos en el presente informe, no siendo incluidos en el catastro de fauna.

Fue posible detectar la presencia de 16 especies singulares de fauna; tres [3] reptiles, diez [10] aves y tres [3] mamíferos. Los criterios de singularidad de cada especie se muestran en la Tabla 5-52.

En el Anexo 16 se presenta un compilado de registros fotográficos de la presente campaña.

Tabla 5-52. Estado de conservación y singularidades de fauna observadas en la campaña 2023

Clase	Especie	Categoría RCE	BSE	Límite de distribución (*)	Distribución restringida (**)
Reptiles	<i>Liolaemus constanzae</i>	LC	SE	Si	Si
	<i>Liolaemus fabiani</i>	EN (endémica)	SE	Si	Si
	<i>Liolaemus puna</i>	NT	SE	Si	No
Aves	<i>Charadrius alticola</i>	-	BS	No	No
	<i>Agriornis micropterus</i>	-	BSE	No	No
	<i>Spatula puna</i>	-	S	No	No
	<i>Tringa melanoleuca</i>	-	BS	No	No
	<i>Phalaropus tricolor</i>	-	BS	No	No

Tabla 5-52. Estado de conservación y singularidades de fauna observadas en la campaña 2023

Clase	Especie	Categoría RCE	BSE	Límite de distribución (*)	Distribución restringida (**)
	<i>Tringa flavipes</i>	LC	BS	No	No
	<i>Phoenicopterus chilensis</i>	NT	SE	No	No
	<i>Recurvirostra andina</i>	VU	BS	No	No
	<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	VU	SE	No	No
	<i>Phoenicoparrus andinus</i>	VU	SE	No	No
Mamíferos	<i>Phyllotis xanthopygus</i>	LC	SE	No	No
	<i>Eligmodontia puerulus</i>	-	S	Si	No
	<i>Ctenomys fulvus</i>	LC	S	No	No

Categoría RCE= EN: En peligro; NT: Casi amenazada; VU: Vulnerable; LC: Preocupación menor. Criterio BSE= B: especie catalogada como beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria. S: Especie catalogada con densidades poblacionales reducidas. E: Especie catalogada como benéfica para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales; (*) Se añade límite de distribución de manera explícita como nueva singularidad a partir de abril 2023; (**) Se añade distribución restringida de manera explícita como nueva singularidad a partir de abril 2023; Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.2.2 Estimación de la riqueza y abundancia

5.2.2.1 Transectos para la evaluación de reptiles

Mediante la metodología de transectos, fue posible estimar una riqueza de tres [3] especies de reptiles, de las cuales, la lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), registró la mayor abundancia con un promedio de 2,33 individuos/transecto, seguido del lagarto de Constanza (*Liolaemus constanzae*) y lagartija de la puna (*Liolaemus puna*) con don [2] y un [1] individuo/transecto, respectivamente.

L. constanzae, fue registrada en el sector Vega de Carvajal, Aguas de Quelana y Cruce SQM, en los hábitats de Rica rica – Pingo pingo, Brea – Cachiyuyo y pajonal, siendo detectada en cinco [5] de los diecisiete [17] transectos prospectados durante la campaña 2023. La abundancia promedio para esta especie en los distintos transectos varió entre 0,33 y 0,67 individuos/transectos.

Por su parte, *L. fabiani*, fue registrada en tres [3] de los diecisiete [17] transectos realizados, detectándose en los sectores Cruce Camar y Aguas de Quelana. Esta especie fue observada en los ambientes pajonal y marginal salar. Al igual que en temporadas anteriores, su presencia en estos hábitats indica que su actividad se encuentra asociada principalmente al salar. La abundancia promedio de esta especie tuvo una variación entre 0,33 y 1,67 individuos/transecto.

En el caso de *L. puna*, fue posible registrar su presencia en dos [2] de los diecisiete [17] transectos realizados, detectándose en los sectores de Vegas de Carvajal y Cruce Camar, en los hábitats de Brea – Cachiyuyo y pajonal. La abundancia promedio de la especie, al igual que *L. constanzae*, tuvo una variación entre 0,33 y 0,67 individuos/transectos (Tabla 5-53).

Tabla 5-53. Abundancia de reptiles en el Borde Este del Salar de Atacama

Sector	Transecto	Hábitat	Especies observadas	Individuos registrados	Abundancia promedio (*)
Vega de Carvajal	1	Rica rica-Pingo pingo	Sin registro	-	-
	2	Brea-Cachiyuyo	<i>Liolaemus constanzae</i>	1	0,33
	3	Pajonal	<i>Liolaemus constanzae</i>	1	0,33
			<i>Liolaemus puna</i>	2	0,67
4	Marginal Salar	Sin registro	-	-	
Cruce Camar	5	Rica rica-Pingo pingo	Sin registro	-	-
	6	Brea-Cachiyuyo	<i>Liolaemus puna</i>	1	0,33
	7	Pajonal	<i>Liolaemus fabiani</i>	5	1,67
	8	Marginal de Salar	<i>Liolaemus fabiani</i>	1	0,33
Aguas de Quelana	9	Rica rica-Pingo pingo	<i>Liolaemus constanzae</i>	2	0,67
	10	Brea-Cachiyuyo	Sin registro	-	-
	11	Pajonal	Sin registro	-	-
	12	Marginal de Salar	<i>Liolaemus fabiani</i>	1	0,33
Cruce SQM	13	Rica rica-Pingo pingo	<i>Liolaemus constanzae</i>	1	0,33
	14	Brea-Cachiyuyo	<i>Liolaemus constanzae</i>	1	0,33

Tabla 5-53. Abundancia de reptiles en el Borde Este del Salar de Atacama

Sector	Transecto	Hábitat	Especies observadas	Individuos registrados	Abundancia promedio (*)
	15	Pajonal	Sin registro	-	-
	16	Marginal de Salar	Sin registro	-	-
Peine	17	Salar	Sin registro	-	-

(*) Número promedio de ejemplares registrados en transectos de 300 m durante 3 días.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.2.2.2 Censos para el muestreo de aves en ambientes acuáticos

Con relación al seguimiento de aves en ambientes acuáticos, durante la campaña realizada en abril 2023 en los sectores de Soncor (Canal Burro Muerto, lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros), Aguas de Quelana y Peine (lagunas Interna, Saladita y Salada), en hábitat de lagunas, fue posible identificar un total de 13 especies pertenecientes a los órdenes Anseriformes, Charadriiformes, Passeriformes y Phoenicopteriformes.

El sistema Soncor presentó la mayor abundancia de los sistemas con un total de 1.495 individuos. Dentro del sistema Soncor, la mayor abundancia de aves de ambientes acuáticos fue registrada en el canal Burro Muerto con un total de 612 individuos, seguido por la laguna Puilar registrando un total de 538 individuos y la laguna Barros Negros con 305 individuos. La laguna con menor abundancia en el sector de Soncor corresponde a la laguna Chaxa con solo 40 individuos registrados. Respecto a la riqueza, en el Canal Burro Muerto se registró un total de 7 especies, de las cuales, la mayor abundancia fue registrada por el pollito de mar tricolor (*P. tricolor*), con 162 individuos, seguido del flamenco chileno (*P. chilensis*) con 135 individuos y el chorlo de la puna (*C. alticola*) con 100 individuos. La riqueza en la laguna Puilar registró un total de 4 especies, aquella con mayor abundancia corresponde a la parina grande (*P. andinus*) con 251 individuos, seguido muy por debajo del flamenco chileno (*P. chilensis*) con 75 individuos y de la parina chica (*P. jamesi*) con 27 individuos. La riqueza en la laguna Barros Negros registró un total de cuatro [4] especies, de las cuales, la mayor abundancia fue registrada por el flamenco chileno (*P. chilensis*), con 180 individuos. Finalmente, la riqueza de la laguna Chaxa también registró cuatro [4] especies, donde el flamenco chileno (*P. chilensis*) registró la mayor abundancia con 25 individuos (Tabla 5-54).

En el sector Aguas de Quelana, se registró una abundancia de 150 individuos. La riqueza identificada en este sistema lacustre registró un total de 9 especies, donde la más abundante corresponde a la parina grande (*P. andinus*), seguida del caití (*R. andina*) con 21 individuos y de la parina chica (*P. jamesi*) con 17 individuos. Las especies con menor abundancia dentro del sistema lacustre Aguas de Quelana corresponden al colegial del norte (*L. oreas*), bailarín chico (*A. correndera*) y playero de Baird (*C. bardii*) con tres [3], tres [3] y dos [2] individuos respectivamente (Tabla 5-54).

En el Sistema Peine, se registró una abundancia de 1.026 individuos. Dentro del sistema Peine, la mayor abundancia de aves en ambientes acuáticos fue registrada en la laguna Salada, con un total de 793 individuos, seguida de la laguna Saladita con 167 individuos y finalmente la laguna Interna con 66 individuos. Respecto a la riqueza, la laguna con mayor número de especies corresponde a la laguna Salada con siete [7] especies, de las cuales, la mayor abundancia fue registrada por la parina grande (*P. andinus*) con un total de 347 individuos, seguida del flamenco chileno (*P. chilensis*) con 232 individuos. La riqueza en la laguna

Saladita registró cuatro [4] especies, donde la más abundante, al igual que en la laguna Salada, corresponde a la parina grande (*P. andinus*), seguida del flamenco chileno (*P. chilensis*) con 51 individuos. Finalmente, la riqueza de la laguna Interna registró cinco [5] especies, donde la mayor abundancia la registró individuos no identificados (41 individuos), seguido del flamenco chileno (*P. chilensis*) con 11 individuos (Tabla 5-54).

Tabla 5-54. Abundancia de aves acuáticas en los sistemas lacustres del área de estudio

Sistema	Sector	Especies observadas	N° individuos	
Soncor	Canal Burro Muerto	<i>Calidris bairdii</i>	20	
		<i>Charadrius alticola</i>	100	
		<i>Phalaropus tricolor</i>	162	
		<i>Phoenicoparrus andinus</i>	75	
		<i>Phoenicopterus chilensis</i>	135	
		<i>Recurvirostra andina</i>	72	
		<i>Tringa flavipes</i>	48	
	Total Canal Burro Muerto			612
	Laguna Puillar		<i>Phoenicoparrus andinus</i>	251
			<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	27
			<i>Phoenicopterae sp*</i>	180
			<i>Phoenicopterus chilensis</i>	75
			<i>Recurvirostra andina</i>	5
	Total Laguna Puillar			538
	Laguna Barros negros		<i>Calidris bairdii</i>	11
			<i>Charadrius alticola</i>	6
			<i>Phoenicopterus chilensis</i>	180
			<i>Recurvirostra andina</i>	108
	Total laguna Barros Negros			305
	Laguna Chaxa		<i>Charadrius alticola</i>	1
			<i>Phoenicoparrus andinus</i>	12
			<i>Phoenicopterus chilensis</i>	25
			<i>Recurvirostra andina</i>	2
Total laguna Chaxa			40	
Total Sistema Soncor			1.495	
Aguas de Quelana	Aguas de Quelana	<i>Anthus correndera</i>	3	
		<i>Calidris bairdii</i>	2	

Tabla 5-54. Abundancia de aves acuáticas en los sistemas lacustres del área de estudio

Sistema	Sector	Especies observadas	N° individuos	
		<i>Charadrius alticola</i>	12	
		<i>Lessonia oreas</i>	3	
		<i>Phoenicoparrus andinus</i>	75	
		<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	17	
		<i>Phoenicopterus chilensis</i>	13	
		<i>Recurvirostra andina</i>	21	
		<i>Tringa melanoleuca</i>	4	
Total Sistema Aguas de Quelana			150	
Peine	Laguna Interna	<i>Charadrius alticola</i>	1	
		<i>Phoenicoparrus andinus</i>	8	
		<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	3	
		<i>Phoenicopteridae sp*</i>	41	
		<i>Phoenicopterus chilensis</i>	11	
		<i>Spatula puna</i>	2	
	Total laguna Interna			66
	Laguna Saladita	<i>Charadrius alticola</i>	2	
		<i>Phoenicoparrus andinus</i>	66	
		<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	30	
		<i>Phoenicopteridae sp*</i>	18	
		<i>Phoenicopterus chilensis</i>	51	
	Total laguna Saladita			167
	Laguna Salada	<i>Charadrius alticola</i>	4	
		<i>Lophonetta specularioides</i>	2	
		<i>Phalaropus tricolor</i>	8	
		<i>Phoenicoparrus andinus</i>	347	
		<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	7	
		<i>Phoenicopteridae sp*</i>	91	
		<i>Phoenicopterus chilensis</i>	232	
	<i>Recurvirostra andina</i>	102		
Total laguna Salada			793	
Total sistema Peine			1.026	

Tabla 5-54. Abundancia de aves acuáticas en los sistemas lacustres del área de estudio

Sistema	Sector	Especies observadas	N° individuos
Abundancia total			2.671

(*) *Phoenicopteridae sp.*, no se considera en el recuento de riqueza, ya que se tratan de individuos pertenecientes al orden *Phoenicopteridae* sin identificar, ya fuera por la lejanía de estos con el punto de observación o se trataban de juveniles sin las características propias de los adultos para su identificación.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023.

5.2.2.3 Trampas Sherman para evaluación de micromamíferos

En la campaña realizada en abril de 2023 en los sectores de Vegas de Carvajal y Aguas de Quelana, fue posible la captura de tres [3] especies pertenecientes a la familia Cricetidae.

En el sector Vegas de Carvajal, se obtuvo la mayor cantidad de registros, con 13 individuos capturados. Con respecto a la riqueza, se obtuvo registro de dos [2] especies; lauchita de pie sedoso (*Eligmodontia puerulus*) y ratón andino (*Abrothrix andinus*). El primero registrado en ambiente de Rica rica – Pingo pingo y Brea – Cachiyuyo con una abundancia promedio de uno [1] y 2,67 individuos respectivamente. El segundo fue registrado en ambiente pajonal con una abundancia promedio de 0,67 individuos (Tabla 5-55).

Para el sector de Aguas de Quelana se obtuvieron dos [2] individuos capturados. La riqueza de este sector también consistió en dos [2] especies; ratón orejudo amarillento (*Phyllotis xanthophygus*) y lauchita de pie sedoso (*E. puerulus*). El primero se registró en ambiente pajonal con una abundancia promedio de 0,33 individuos y el segundo en ambiente de Rica rica – Pingo pingo con una abundancia promedio de 0,33 (Tabla 5-55).

Tabla 5-55. Abundancia de micromamíferos en el Borde Este del Salar de Atacama

Sector	Transecto	MM	Hábitat	Especies observadas	Individuos registrados	Abundancia promedio (*)
Vega de Carvajal	1	1	Rica rica-Pingo pingo	<i>Eligmodontia puerulus</i>	3	1
	2	2	Brea-Cachiyuyo	<i>Eligmodontia puerulus</i>	8	2,67
	3	3	Pajonal	<i>Abrothrix andinus</i>	2	0,67
Aguas de Quelana	9	4	Rica rica-Pingo pingo	<i>Eligmodontia puerulus</i>	1	0,33
	10	5	Brea-Cachiyuyo	Sin registro	-	-
	11	6	Pajonal	<i>Phyllotis xanthophygus</i>	1	0,33

(*) Valor promedio de ejemplares registrados durante tres días de muestreo.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Para el cálculo de las abundancias promedio se descartaron las recapturas de ejemplares. Cabe destacar que además de los tres [3] roedores mencionados, también se registró mediante la metodología de transectos la presencia de un micromamífero fosorial: el tuco tuco de Atacama (*Ctenomys fulvus*), la cual no fue incluida en el análisis de abundancia ya que no se registraron mediante trampas Sherman. La presencia y actividad de este roedor durante la presente campaña, se detectó a partir del registro de madrigueras activas

y vocalizaciones en los sectores de Vegas de Carvajal, Cruce Camar, Aguas de Quelana y Cruce SQM. Con relación a la ocupación y preferencia de hábitat por parte de esta especie, los registros fueron obtenidos en los hábitats de Rica rica – Pingo pingo, Brea – Cachiyuyo, pajonal, y marginal salar. Esto permite corroborar su amplia distribución y la utilización de diversos ambientes por parte de sus poblaciones en el Borde Este del Salar de Atacama.

5.2.2.4 Estaciones de atracción olfativa para la evaluación de macromamíferos

El registro de macromamíferos obtenido mediante la identificación de improntas (huellas) en las estaciones de atracción olfativa, se presentan en la Tabla 5-56. Se obtuvo registro en tres [3] de las [4] cuatro estaciones olfativas instaladas, siendo visitada por *Lycalopex sp* (zorro sin identificar). Los rastros de zorro fueron observados en el sector de Vegas de Carvajal, en el hábitat de Rica rica – Pingo pingo (MM1) y en el ambiente de Brea – Cachiyuyo (MM2). Por otro lado, en el sector de Aguas de Quelana, se registró solo en el ambiente de Rica rica - Pingo pingo.

Tabla 5-56. Índice de visitas de *Lycalopex sp.* (zorro) y observaciones de improntas en estaciones de atracción olfativa

Sector	Transecto	MM	Hábitat	% Visitas (<i>Lycalopex sp</i>)
Vega de Carvajal	1	1	Rica rica-Pingo pingo	33,33
	2	2	Brea-Cachiyuyo	33,33
Aguas de Quelana	9	4	Rica rica-Pingo pingo	100
	10	5	Brea-Cachiyuyo	0

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Cabe destacar que, si bien a través de las estaciones olfativas no es posible llegar a una identificación a nivel de especie, a partir de los registros obtenidos mediante cámaras trampa (Tabla 5-57), fue posible detectar la presencia del zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) y el zorro chilla (*Lycalopex griseus*) en los sectores en donde fueron instalados los huelleros. En Vegas de Carvajal se registró la presencia de zorro chilla (*L. griseus*) en el hábitat de Rica rica - Pingo pingo y Brea – Cachiyuyo, y al zorro culpeo (*L. culpaeus*) en el ambiente de pajonal, mientras que en Aguas de Quelana se detectó solo al zorro chilla (*L. griseus*) en el hábitat de Rica rica – Pingo pingo. También se constató la presencia de ejemplares del género *Lycalopex sp* a través de fecas en dos de los sectores estudiados: Aguas de Quelana en el ambiente Brea – Cachiyuyo y Cruce Camar en el ambiente pajonal.

Tabla 5-57. Índice de visitas de *Lycalopex culpaeus* (zorro culpeo) y *Lycalopex griseus* (zorro chilla) captadas por cámara trampa

Sector	MM	Hábitat	% Visitas (<i>Lycalopex culpaeus</i>)*	% Visitas (<i>Lycalopex griseus</i>)*
Vega de Carvajal	1	Rica rica-Pingo pingo	0,00	33,33
	2	Brea-Cachiyuyo	0,00	33,33
	3	Pajonal	33,33	0,00

Tabla 5-57. Índice de visitas de *Lycalopex culpaeus* (zorro culpeo) y *Lycalopex griseus* (zorro chilla) captadas por cámara trampa

Sector	MM	Hábitat	% Visitas (<i>Lycalopex culpaeus</i>)*	% Visitas (<i>Lycalopex griseus</i>)*
Aguas de Quelana	4	Rica rica-Pingo pingo	0,00	100,00
	5	Brea-Cachiyuyo	0,00	0,00
	6	Pajonal	0,00	0,00

(*) Índice de visitas diario calculado en base al número de registros por tres noches de actividad de las cámaras trampa.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023.

5.3 Biota Acuática

Los resultados obtenidos de los levantamientos de terreno efectuados durante los meses de abril-mayo del presente año (2023), corresponden a la campaña de muestreo N° 17 del Proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”. Para ejecutar el monitoreo se contó con el permiso sectorial para efectuar pesca de investigación, autorizado mediante Res. Ex.N° E-2020-237 de fecha 12/04/2023 por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. En Anexo 19 se adjunta Resolución citada.

Cabe señalar que durante el periodo de muestreo (abril – mayo 2023) solo 14 de las 25 estaciones de muestreo detalladas en la Tabla 4-36 presentaron una columna de agua posible de evaluar. En la siguiente Tabla se entrega el detalle de las estaciones evaluadas. En Anexo 20 se adjunta registro fotográfico asociado a cada estación y en Anexo 18 se adjunta informe de laboratorio correspondiente al muestreo.

Tabla 5-58. Ubicación de los puntos de muestreo para la metodología de transectos para la prospección de fauna terrestre en el Borde Este del Salar de Atacama

Sistema	Estación	Laguna	Coordenadas UTM (Datum WGS84 19S)		Observación
			Este	Norte	
Aguas de Quelana	Q-0	Quelana 0	593.353	7.403.585	Seco
	Q-1	Quelana 1	592.556	7.401.179	Seco
	Q-2	Quelana 2	592.176	7.406.940	Seco
	Q-3	Quelana 3	593.079	7.407.517	Seco
	Q-4	Quelana 4	592.948	7.407.289	Seco
	Q-5	Quelana 5	592.919	7.408.165	Presenta columna de agua
	Q-6	Quelana 6	592.882	7.408.228	Presenta columna de agua
	Q-7	Quelana 7	594.149	7.411.865	Seco
	Q-8	Quelana 8	592.810	7.411.863	Seco
	Q-9	Quelana 9	592.482	7.411.802	Seco
Soncor	PU-1	Puilar	588.187	7.422.739	Presenta columna de agua

Tabla 5-58. Ubicación de los puntos de muestreo para la metodología de transectos para la prospección de fauna terrestre en el Borde Este del Salar de Atacama

Sistema	Estación	Laguna	Coordenadas UTM (Datum WGS84 19S)		Observación
			Este	Norte	
Sistema	PU-2	Puilar	587.968	7.422.499	Presenta columna de agua
	PU-3	Puilar	587.476	7.422.307	Presenta columna de agua
	PU-4	Puilar	588.591	7.422.392	Seco
	PU-5	Puilar	588.107	7.422.157	Presenta columna de agua*
	BN-1	Barros Negros	585.921	7.418.603	Presenta columna de agua
	BN-2	Barros Negros	585.885	7.417.292	Presenta columna de agua
	BN-3	Barros Negros (canal)	585.800	7.416.973	Presenta columna de agua
	CH-1	Laguna Chaxa	585.356	7.420.213	Presenta columna de agua
	BM-1	Canal Burro Muerto	584.178	7.424.913	Presenta columna de agua
Peine	PE-1	Laguna Interna	586.442	7.381.893	Presenta columna de agua
	PE-2		586.278	7.382.019	Seco
	PE-3		585.912	7.381.850	Seco
	SA-1	Laguna Salada	586.814	7.381.285	Presenta columna de agua
	SA-2	Laguna Saladita	587.604	7.380.483	Presenta columna de agua

* Estación de muestreo solo con un suelo (lecho) saturado con una película de agua (< 0,5 cm profundidad), por tanto, solo se tomaron muestras relacionadas con el lecho bentónico (Perifiton, Zoobentos y Clorofila bentónica);

Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 18), Geobiota 2023

Cabe indicar que este escenario (sin columna de agua) ha sido reportado en campañas anteriores en distintas lagunas a lo largo del periodo histórico del seguimiento.

5.3.1 Medio Abiótico

La Tabla 5-59 muestra los resultados obtenidos durante el monitoreo del presente año (abril, 2023) y en Anexo 18 se adjuntan los informes de laboratorio. En esta tabla, se entregan los valores de los parámetros de importancia limnológica medidos *in situ* en la columna de agua (temperatura sedimento, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y salinidad) y sedimento (temperatura y conductividad).

Tabla 5-59. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua de importancia limnológica medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio

Sistema	Estación	Temperatura (°C)	Temperatura sedimento (°C)	pH	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Conductividad eléctrica sedimento (µS/cm)	Salinidad (PSU)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
Aguas de Quelana	Q-0	-	-	-	-	-	-	-
	Q-1	-	-	-	-	-	-	-
	Q-2	-	-	-	-	-	-	-
	Q-3	-	-	-	-	-	-	-
	Q-4	-	-	-	-	-	-	-
	Q-5	24,7	22,4	8,4	32.600	4,47	18,49	10,6
	Q-6	26,6	22,01	8,01	28.100	5,67	21,66	14,04
	Q-7	-	-	-	-	-	-	-
	Q-8	-	-	-	-	-	-	-
	Q-9	-	-	-	-	-	-	-
Soncor	PU-1	13,3	20,3	8,17	117.833	4,94	14,39	7,5
	PU-2	10,1	20,1	8,35	119.818	4,4	17,51	7,9
	PU-3	8,4	20,1	8,48	119.348	2,8	17,72	6,6
	PU-4	-	-	-	-	-	-	-
	PU-5	8,01	20,2	8,16	112.243		127,6	0,2
	BM-1	4,9	20,3	7,93	88.956		62,6	4,1
	CH-1	26,15	20,2	7,58	105.500	18,68	135,7	5,3
	BN-1	18,01	20,1	7,76	152.600	16,9	76,15	4,3
	BN-2	24,94	20,1	7,55	154.000	18,65	126,75	5,2
	BN-3	25,95	20,4	7,44	164.900	26,05	149,45	5,01
Peine	PE-1	19,6	20,4	7,4	72.200	6,92	48,47	3,19
	PE-2	-	-	-	-	-	-	-
	PE-3	-	-	-	-	-	-	-
	SA-1	20,71	20,2	8,1	36.500	4,23	29,63	7,5
	SA-2	14,6	20,1	7,91	43.200	5,1	25,33	7,88

(-): Seco, sin escurrimiento superficial de agua o columna de agua al momento del muestreo

Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 18), Geobiota 2023

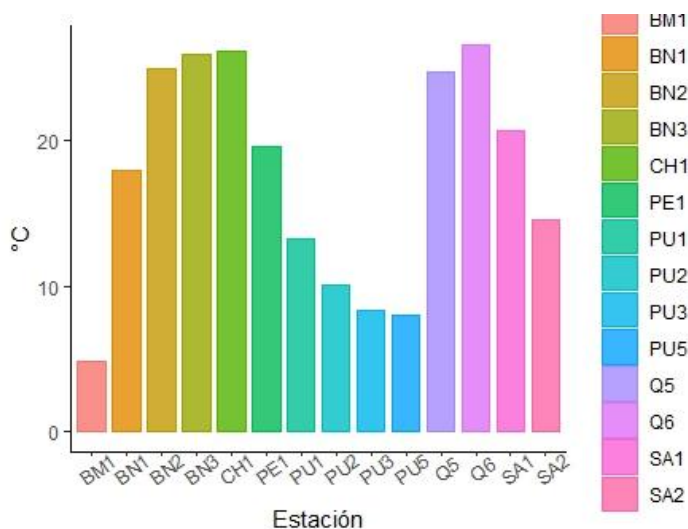
5.3.1.1 Temperatura

La temperatura, tanto en la columna de agua como en el sedimento ha sido medido históricamente con la finalidad de ser un indicativo referencial al momento del muestreo. Debido a la oscilación que presenta durante el transcurso del día, esta variable no representa la temperatura promedio, sino una medida puntual del momento del muestreo. Sin embargo, siguiendo la metodología desarrollada a lo largo de todo el monitoreo, se evaluó la variabilidad de este parámetro entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio.

Durante la actual campaña de monitoreo (abril 2023), la temperatura en la columna de agua en el sector de Soncor registró los mayores valores (CH-1 = 26,15 °C. BN-3 = 25,95 C. BN-2 = 24,94 °C) por sobre la media (17,57 ± 7,66 °C), mientras que la estación BM-1, localizada en el mismo sistema hidrológico, mostró el menor registro (4,90°C). Esta oscilación de temperatura entre las distintas estaciones de muestreo está influida por diferencias en la hora en que fueron muestreados los cuerpos de agua (Tabla 5-59) (Figura 5-18).

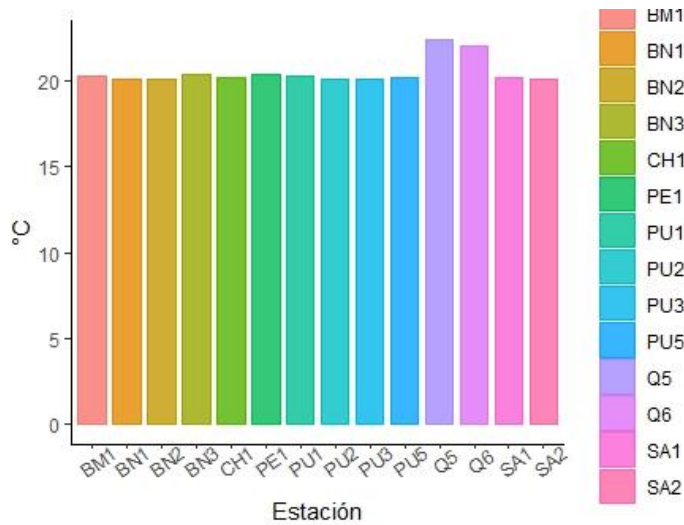
En la matriz de sedimento, la variación de temperatura entre las distintas estaciones de muestreo fue menor a la registrada en la columna de agua, La temperatura media estimada fue mayor a lo registrado en la columna de agua (20,49 ± 0,73 °C), registrándose los mayores valores puntuales en las estaciones presentes en el sistema de Aguas de Quelana (Q5 = 22,40 °C. Q6 = 22,01 °C), y los menores en el sistema Soncor (Barros negros ~ 20,1°C. Puilar ~ 20,1°C) (Figura 5-18) (Figura 5-19).

Figura 5-18. Valores puntuales de temperatura medidos in situ en la columna de agua durante la campaña de abril 2023



Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 18), Geobiota 2023

Figura 5-19. Valores puntuales de temperatura medidos in situ en el sedimento durante la campaña de abril 2023

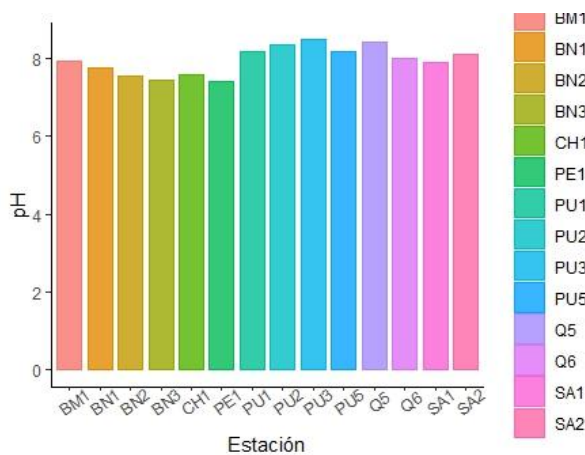


Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 18), Geobiota 2023

5.3.1.2 pH

Durante la campaña de monitoreo (abril 2023) los valores puntuales de pH, en las distintas estaciones de muestreo mostraron una escasa variación entre puntos, registrándose una tendencia hacia valores levemente alcalinos. El valor promedio global fue de $7,94 \pm 0,36$. Los mayores valores de pH fueron observados en las estaciones localizadas en el sistema Puilar (PU-3 = 8,48. PU-2 = 8,35) y Aguas de Quelana (Q5 = 8,40), mientras que los menores valores fueron identificados en los sistemas Peine (PE-1 = 7,40) y Barros Negros (BN-3 = 7,44). El resto de las estaciones de muestreo los valores de pH fluctuaron entre 7,90 – 8,20 unidades (Figura 5-20) (Tabla 5-59).

Figura 5-20. Valores puntuales de pH medidos in situ en la columna de agua, durante la campaña de abril 2023



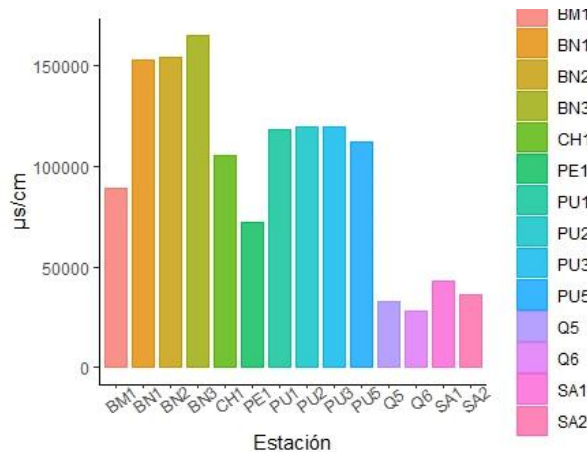
Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 18), Geobiota 2023

5.3.1.3 Conductividad eléctrica en agua y sedimento

En la presente campaña (abril 2023), los valores de conductividad eléctrica en el agua presentaron una media de $96.271 \pm 47.093 \mu\text{s}/\text{cm}$, con un intervalo de concentración entre $28.100 \mu\text{s}/\text{cm}$ y $164.900 \mu\text{s}/\text{cm}$, registrados en las estaciones Q6 (Aguas de Quelana) y BN-3 (Barros Negros), respectivamente. En general, los menores valores de conductividad fueron registrados en los cuerpos de agua localizados en el sistema de Peine, en particular en las lagunas Salada y Saladita, y en el sistema Aguas de Quelana (Tabla 5-59) (Figura 5-21).

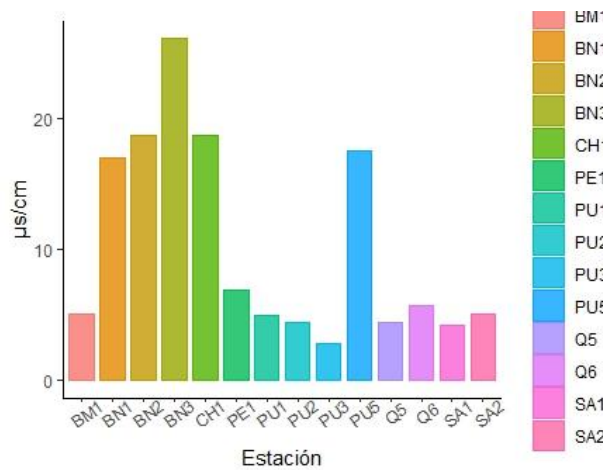
En el sedimento, el valor promedio de conductividad eléctrica fue de $10,09 \pm 7,64 \mu\text{s}/\text{cm}$, siendo menor a lo reportado en la columna de agua. Los mayores valores se registraron en los sistemas de Barros Negros y Chaxa (Tabla 5-59) (Figura 5-22).

Figura 5-21. Valores puntuales de conductividad medidos in situ en la columna de agua, durante la campaña de abril 2023



Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 18), Geobiota 2023

Figura 5-22. Valores puntuales de conductividad medidos in situ en el sedimento, durante la campaña de abril 2023



Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 18), Geobiota 2023

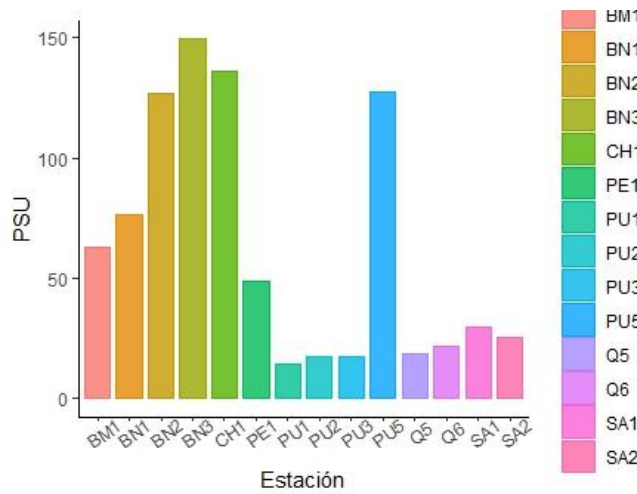
5.3.1.4 Salinidad

En abril (2023), los valores de salinidad en la columna de agua exhibieron una media de $62,25 \pm 51,20$ PSU, con un intervalo de concentración entre 14,39 PSU y 149,45 PSU, registrados específicamente en las estaciones de muestreo PU-1(Puilar) y BN-3 (Barros Negros). Los mayores valores fueron registrados en los sistemas Barros Negros, Chaxa y en uno de los sitios de estudio en la laguna Puilar. El patrón observado es coincidente con lo observado para la conductividad evaluada en el sedimento (Tabla 5-59) (Figura 5-23).

5.3.1.5 Oxígeno Disuelto

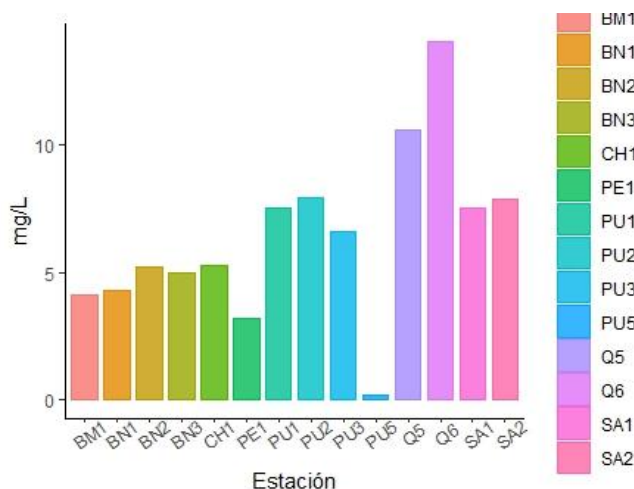
En abril (2023), los valores de oxígeno disuelto en la columna de agua mostraron una media de $6,38 \pm 3,35$ mg/L, con un rango de concentración entre 0,2 mg/L y 14,04 mg/L, registrados específicamente en las estaciones de muestreo PU-5 (Puilar) y Q6 (Aguas de Quelana), respectivamente. Las mayores valores de concentración se registraron en el sistema Aguas de Quelana (Q5 = 10,60 mg/L; Q6 = 14,40 mg/L), mientras que el resto de las estaciones de muestreo se registraron en torno a los 5,0 mg/L, con la excepción de la estación PU5 ubicada en la laguna Puilar (Tabla 5-59) (Figura 5-24).

Figura 5-23. Valores puntuales de salinidad in situ en la columna de agua, durante la campaña de abril 2023



Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 18), Geobiota 2023

Figura 5-24. Valores puntuales de oxígeno disuelto in situ en la columna de agua, durante la campaña de abril 2023



Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 18), Geobiota 2023

5.3.2 Medio Biótico

5.3.2.1 Clorofila-a

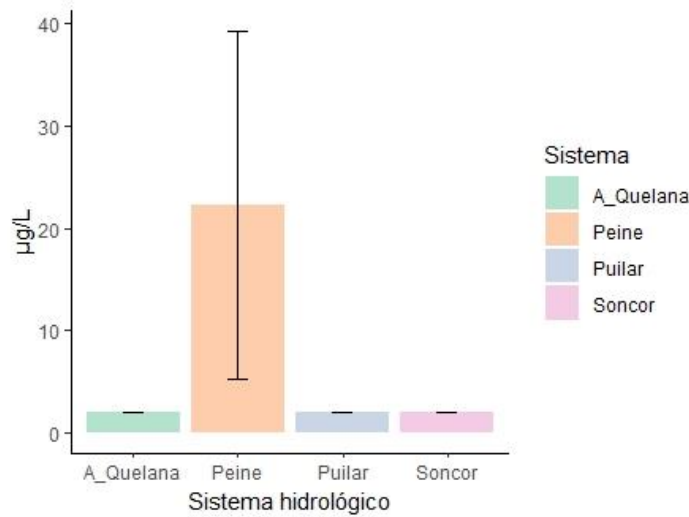
Por tratarse de un componente esencial en la bioquímica de las microalgas planctónicas y bentónicas, además de ser el pigmento fotosintético principal relacionado a la productividad primaria y a la condición trófica en los sistemas acuáticos, los resultados del análisis de la Clorofila-a se desarrolla a continuación. En Anexo 22 se adjunta informe de laboratorio.

5.3.2.1.1 Clorofila-a fracción planctónica

Para la presente campaña de muestreo (2023), la comparación de las concentraciones de clorofila-a planctónica a nivel de sistema hidrológico (Soncor, Puilar, Peine y Aguas de Quelana) no exhibieron diferencias significativas en sus medias (Student $t = 1,39$; $p = 0,15$), pero describieron notorias variaciones en las concentraciones promedios, identificándose los valores mínimos en los sistemas: Soncor, Puilar y Aguas de Quelana ($2,0 \pm 0,0 \mu\text{g/L}$) y máximos en Peine ($22,33 \pm 17,02 \mu\text{g/L}$) (Tabla 5-59) (Figura 5-25).

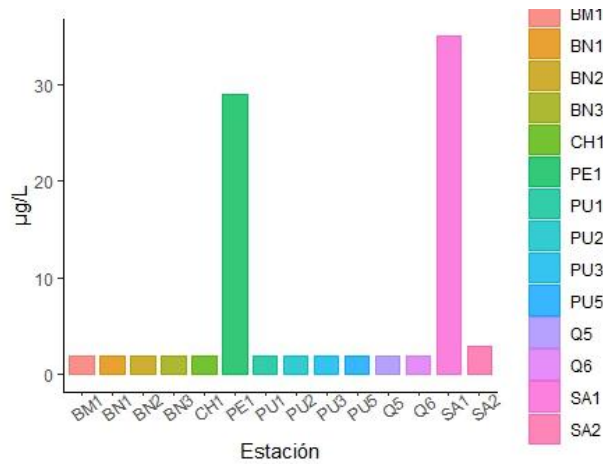
A nivel de estaciones de muestreo, las concentraciones de Clorofila-a también reportaron diferencias significativas (Student $t = 2,17$; $p < 0,04$), con un promedio de $6,36 \pm 10,93 \text{ mg/m}^3$ y un intervalo de valores de concentración que oscilaron entre 2,0 a 35 mg/m^3 . La gran mayoría de las estaciones registraron valores bajos los límites de detección del laboratorio ALS Global ($< 2 \text{ mg/m}^3$), con excepción de las estaciones SA-2 (3 mg/m^3), SA-1 (35 mg/m^3) y PE-1 (29 mg/m^3), todas ellas descritas espacialmente en el sistema hidrológico de Peine (Tabla 5-59) (Figura 5-26).

Figura 5-25. Comparación promedio de la concentración de clorofila planctónica por sistema hidrológico, abril 2023



Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio, Geobiota 2023

Figura 5-26. Comparación de concentraciones puntuales de clorofila planctónica por sistema hidrológico, abril 2023.



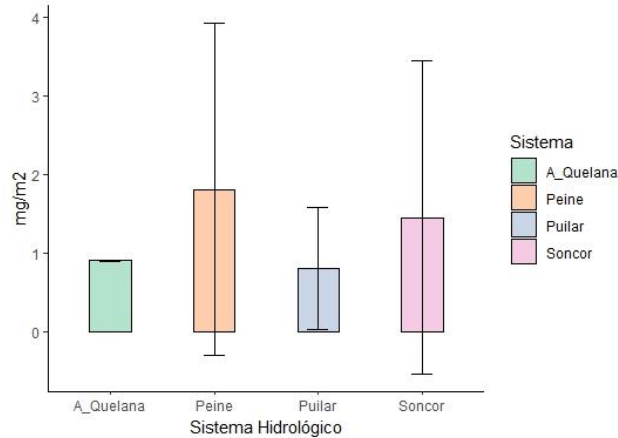
Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio, Geobiota 2023

5.3.2.1.2 Clorofila-a fracción bentónica

Para la presente campaña de muestreo (2023), la comparación de las concentraciones de clorofila-a bentónica a nivel de sistema hidrológico (Soncor, Puillar, Peine y Aguas de Quelana) exhibieron diferencias significativas en sus medias (Student t = 5,21; p < 0,05), con los valores mínimos y máximos en Puillar (0,80 ± 0,78 mg/m²) y Peine (1,81 ± 2,11 mg/ m²), respectivamente (Figura 5-27). A nivel de las estaciones de muestreo, la concentración promedio de clorofila fue de 1,26 ± 1,49 mg/m², con diferencias significativas (Wilcoxon W = 105; p < 0,05), exhibiendo las mayores concentraciones en BN-1 (Barros negros = 4,87 mg/m²) y PE-1

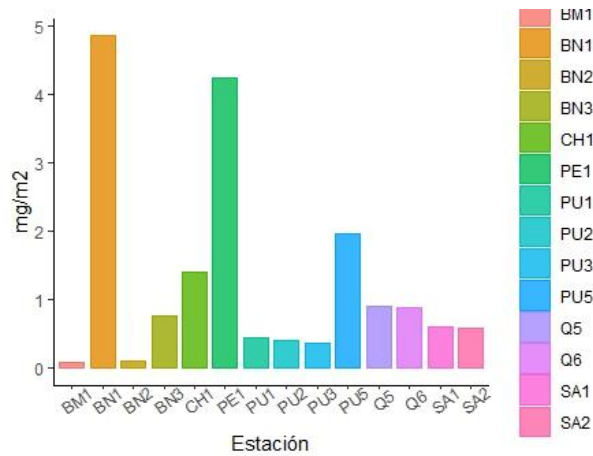
(Interna = 4,25 mg/m²), mientras que los menores valores fueron descritos en BM-1 (Burro muerto = 0,08 mg/m²) (Figura 5-28).

Figura 5-27. Comparación promedio de la concentración de clorofila bentónica por sistema hidrológico



Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 22), Geobiota 2023

Figura 5-28. Comparación promedio de la concentración de clorofila bentónica por sistema hidrológico



Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Laboratorio (Anexo 22), Geobiota 2023

5.3.2.2 Fitobentos

5.3.2.2.1 Parámetros ecológicos por sistema hidrológico

A nivel de los sistemas hidrológicos, se determinaron diferencias significativas para cada uno de los parámetros ecológicos evaluados, exceptuando la abundancia, durante la presente campaña de muestreo (abril 2023). En Anexo 21 se adjuntan los informes de laboratorio.

Abundancia total y Riqueza

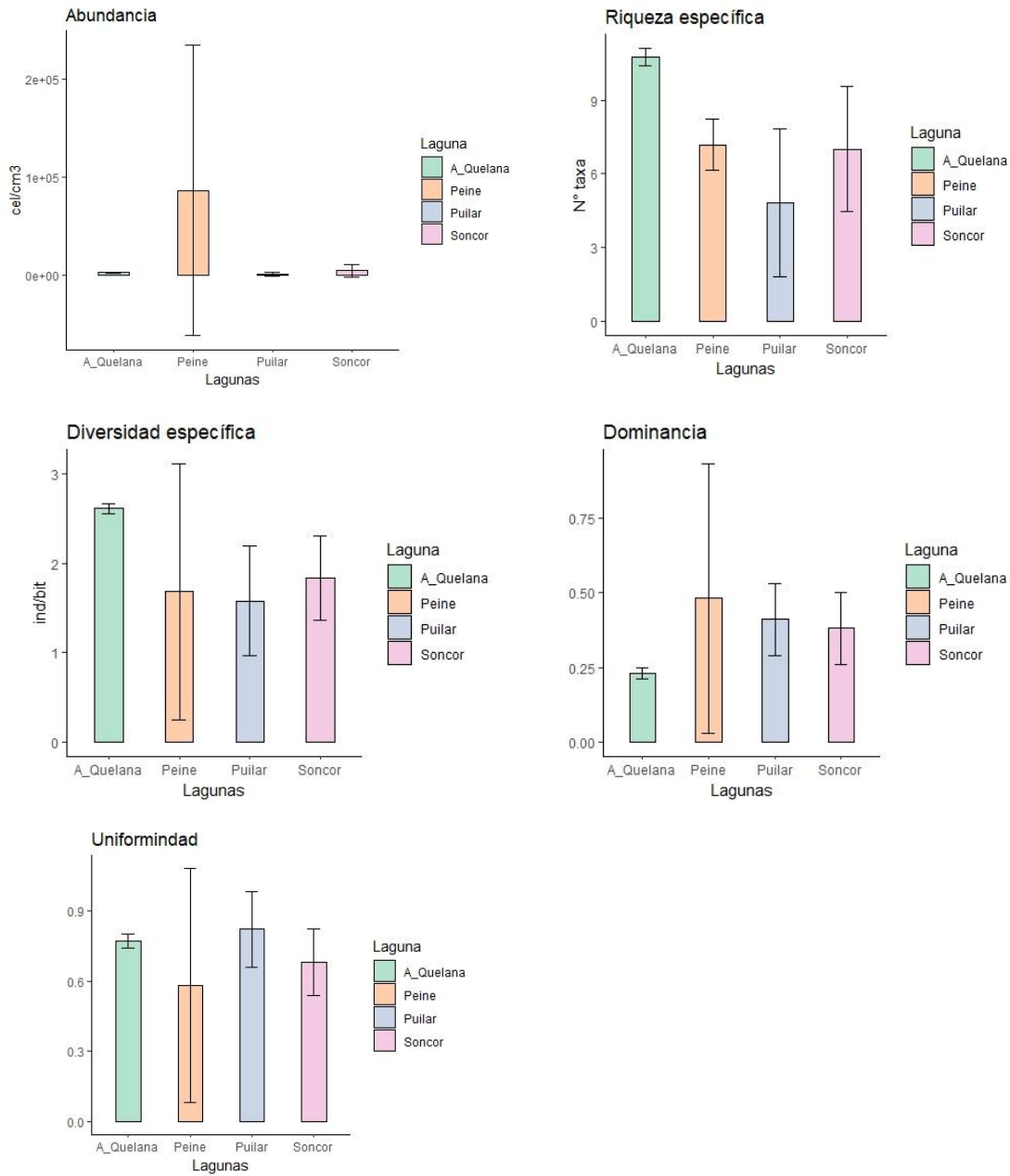
Los valores promedio de la abundancia no mostraron diferencias significativas entre sistemas (Wilcoxon $W = 10$; $p = 0,06$), no obstante, se describieron oscilaciones en los registros. La mayor abundancia se registró en Peine (86.830 ± 147.613 cel/cm³), y la menor en Puilar (1.484 ± 1.846 cel/cm³) (Figura 5-29).

La riqueza específica de taxa mostró diferencias significativas entre sistemas (Student $t = 6,02$; $p < 0,05$), con los mayores valores promedio en Aguas de Quelana ($10,75 \pm 0,35$ taxa) en contraste a lo registrado en Puilar que exhibió los menores valores promedio de riqueza ($4,83 \pm 3,01$ taxa) (Figura 5-29).

Índices de diversidad

La diversidad Shannon o específica al igual que la riqueza, mostró diferencias significativas entre los sistemas (Student $t = 8,22$; $p < 0,05$), con los mayores valores promedio en Aguas de Quelana ($2,61 \pm 0,06$ ind/bit) y los menores en el sistema Puilar ($1,58 \pm 0,61$ ind/bit) (Figura 5-29). Al igual que para el índice de Shannon, para el índice de dominancia de Simpson también, se observaron diferencias significativas entre los sistemas (Student $t = 7,11$; $p < 0,05$). Los valores máximos y mínimos promedio fueron registrados en los sistemas de Peine ($0,48 \pm 0,45$) y Aguas de Quelana ($0,23 \pm 0,02$), respectivamente (Figura 5-29). Para el índice de uniformidad o Equidad de Pielou, los resultados también sugieren diferencias significativas entre los sistemas hídricos (Student $t = 13,49$; $p < 0,05$), Los mayores valores fueron estimados en el sistema Puilar ($0,82 \pm 0,16$) y los menores valores en Peine ($0,58 \pm 0,50$) (Figura 5-29).

Figura 5-29. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de fitobentos a nivel de sistemas hidrológicos (Soncor, Aguas de Quelana, Puillar y Peine)



Fuente: Elaboración propia en Paquete GGPlot2, RStudio, 2020

5.3.2.2.2 Análisis multiparamétricos

A partir del análisis de permutaciones PERMANOVA se estimó una diferencia significativa entre los ensambles registrados en los sistemas hídricos. El modelo de permutación explicó el 43% de la variación de las

comunidades (Tabla 5-60). Por otra parte, no se observó una diferencia significativa relacionada con la heterogeneidad de los ensambles descritos para cada sistema (BETADISPER; $F = 0,35$; $p = 0,79$).

Tabla 5-60. Análisis de PERMANOVA, usando como factor los distintos sistemas hidrológicos

Parámetros	Df	SumOfSqs	R ²	F	Pr(>F)
Factor (Sistemas Hidrológicos)	3	1,245	0,429	2,26	0,0003
Residual	9	1,653	0,570		
Total	12	2,898	1,000		

Fuente: Elaboración propia en Paquete GGPLLOT2, RStudio, 2020

5.3.2.2.3 Parámetros ecológicos por estación de muestreo (lagunas)

A nivel lagunar, diferencias significativas fueron observadas para cada uno de los parámetros ecológicos estimados durante la presente campaña de muestreo (abril 2023).

Abundancia y Riqueza

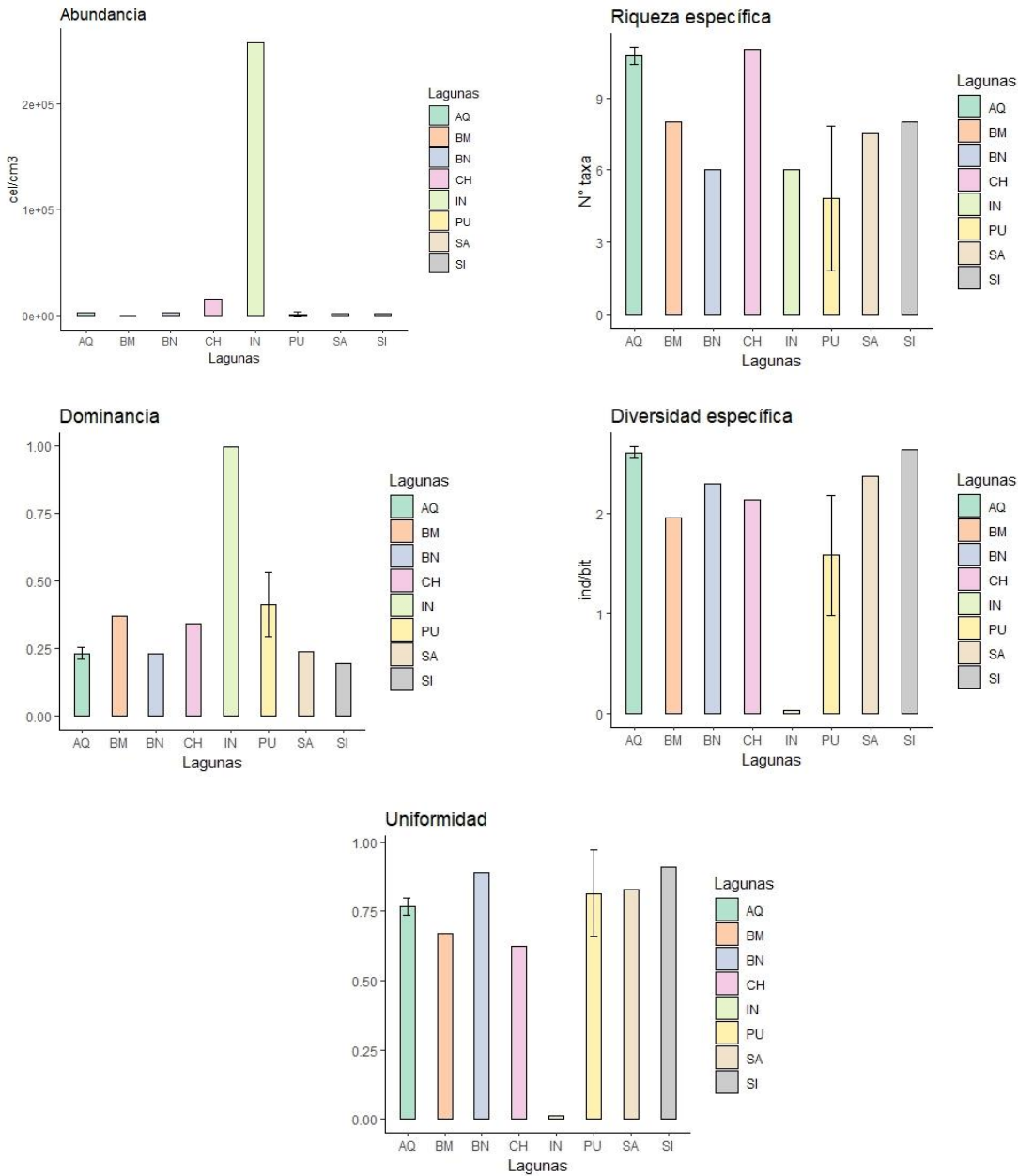
Los valores de abundancia total de las lagunas mostraron diferencias significativas (Wilcoxon $W = 36$; $p < 0,05$), con una marcada mayor abundancia en la laguna Interna (257.279,5 cel/cm³), en comparación al resto de las lagunas. El valor estimado en la laguna interna supera en 7,2 veces la media global (35.455 ± 89.760 cel/cm³), y 394 veces a la laguna Burro muerto (635,5 ± 0,00 cel/cm³), laguna en la que se registró la menor abundancia media (Figura 5-30).

La riqueza específica exhibió diferencias significativas entre las lagunas (Student $t = 9,90$; $p < 0,05$). La mayor riqueza promedio se registró en Aguas de Quelana (10,75 ± 0,35 taxa) y la menor en la laguna Puilar (4,83 ± 3,01 taxa) (Figura 5-30).

Índices de Diversidad

El valor estimado para la diversidad específica o de Shannon mostró diferencias significativas entre las lagunas (Wilcoxon $W = 36$; $p < 0,05$). Los mayores valores promedio fueron estimados en Aguas de Quelana (2,61 ± 0,06 ind/bit) y Saladita (2,63 ± 0,00 ind/bit), por otra parte, la menor diversidad se registró en la laguna Interna (0,03 ± 0,00 ind/bit) (Figura 5-30). Para el caso del índice de dominancia, se estimó diferencias significativas entre las lagunas de muestreo (Wilcoxon $W = 36$; $p < 0,05$), el mayor valor promedio fue estimado en la laguna Interna (0,99 ± 0,00), superando 2,4 veces a lo observado en la laguna que le sigue (Aguas de Quelana $D = 0,41 ± 0,12$) y 5,2 veces a la laguna Saladita ($D = 0,19 ± 0,00$) (Figura 5-30). Para el índice de uniformidad, también se observaron diferencias significativas entre las lagunas ($W = 36$; $p < 0,05$). El valor más alto fue registrando en las lagunas Barros negros (0,89 ± 0,00) y Saladita (0,91 ± 0,00), mientras que la laguna Interna presentó los menores valores promedio (0,01 ± 0,00) (Figura 5-30).

Figura 5-30. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de fitobentos a nivel de sistemas hidrológicos (Soncor, Aguas de Quelana, Puilar y Peine)



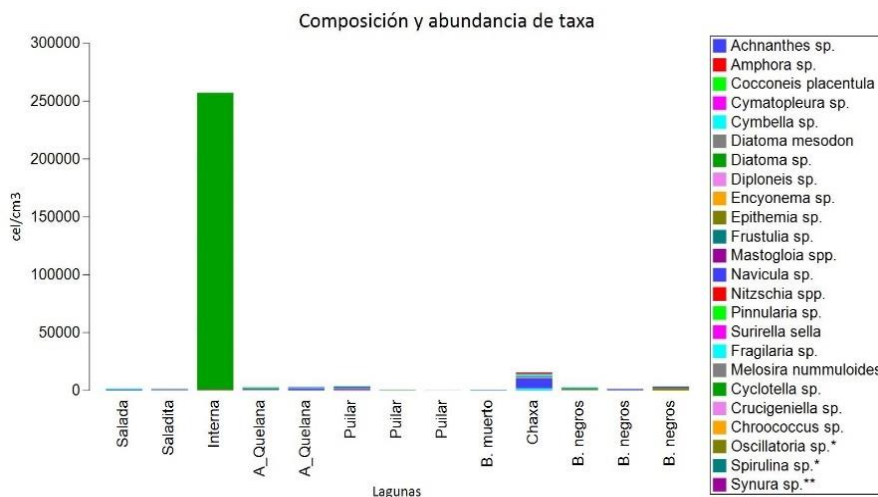
AQ = Aguas de Quelana. BM = Burro Muerto. BN = Barros Negros. CH = Chaxa. IN = Interna. PU = Puilar. SA = Salada. SI = Saladita

Fuente: Elaboración propia en Paquete GGPlot2, RStudio, 2020

5.3.2.2.4 Taxa representativa

La taxa más abundante registrada durante la presente campaña de muestreo (abril 2023) correspondió a *Diatoma sp.* Este taxa fue el dominante de la comunidad de fitobentos de la laguna Interna (Figura 5-31).

Figura 5-31. Composición y abundancia de taxa de fitobentos por laguna (campaña abril 2023).



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.3.2.3 Fitoplancton

5.3.2.3.1 Parámetros ecológicos por sistema hidrológico

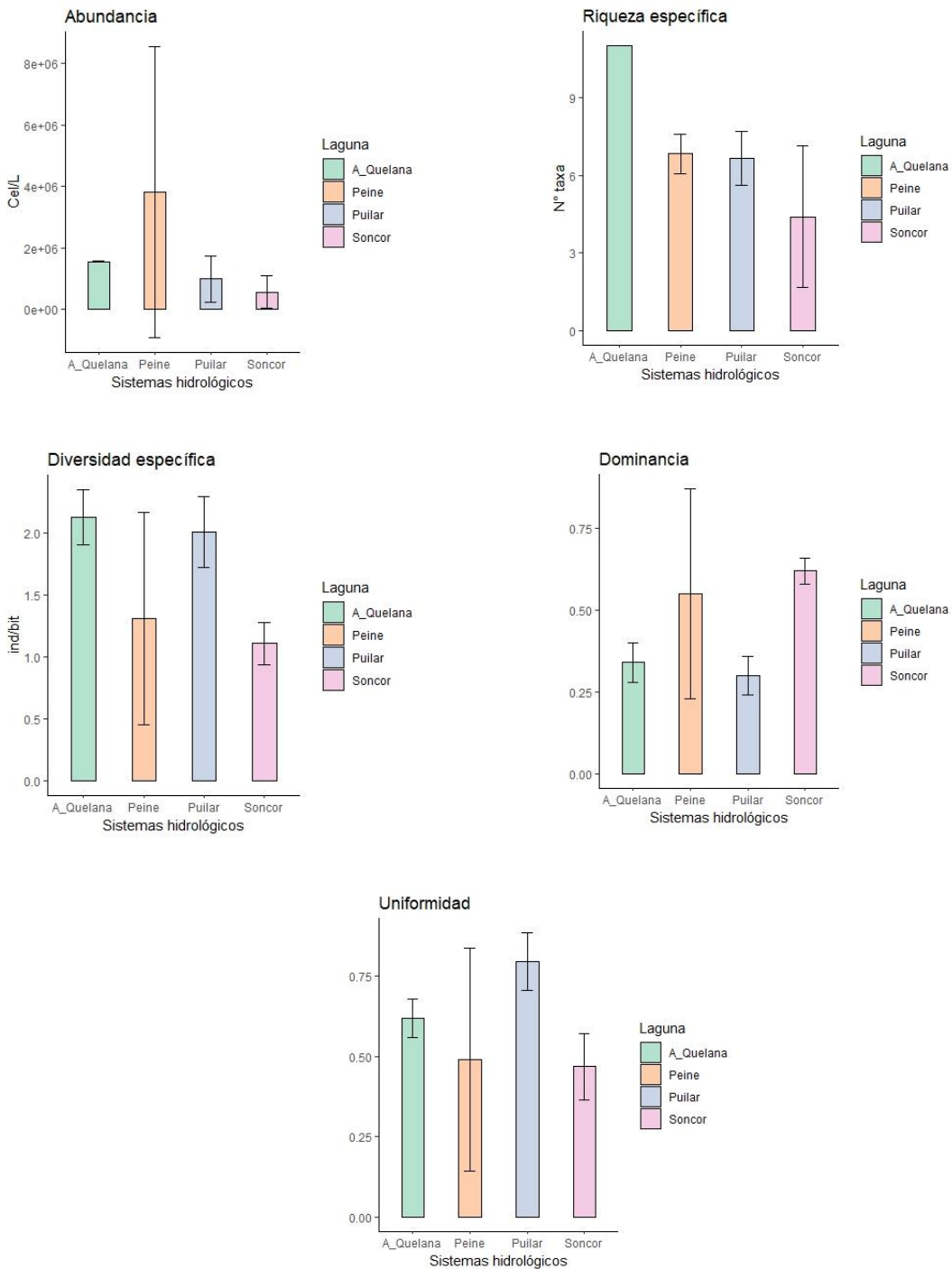
A nivel de sistemas hidrológicos, en esta campaña se observaron diferencias significativas entre los parámetros ecológicos evaluados, exceptuando la abundancia. En Anexo 21 se adjuntan los informes de laboratorio.

Abundancia total y Riqueza

El valor promedio de la abundancia total estimada para el fitoplancton en las lagunas en la presente campaña (abril 2023) no mostró diferencias significativas entre los sistemas (Student $t = 2,39$; $p = 0,09$). Los valores de abundancia mayores se estimaron en el sistema Peine ($3.811.833 \pm 4.725.975$ cel/L), mientras que en el sistema Soncor se observaron los menores valores (564.983 ± 53.551 cel/L) (Figura 5 25).

La riqueza específica de taxa, a diferencia de la abundancia, mostró diferencias estadísticas significativas entre sistemas (Student $t = 5,25$; $p < 0,05$). Los mayores valores promedio se estimaron en Aguas de Quelana ($11 \pm 0,0$ taxa), y los menores valores en Soncor ($4,40 \pm 2,74$ taxa) (Figura 5 25).

Figura 5-32. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de fitoplancton a nivel de sistemas hidrológicos (Soncor, Aguas de Quelana, Puillar y Peine)



AQ = Aguas de Quelana. BM = Burro Muerto. BN = Barros Negros. CH = Chaxa. IN = Interna. PU = Puillar. SA = Salada. SI = Saladita;

Fuente: Elaboración propia en Paquete GGPlot2, RStudio, 2020

Índices de Diversidad

La diversidad específica, mostró diferencias significativas entre los distintos sistemas hidrológicos (Student $t = 6,48$; $p < 0,05$). Los mayores valores promedio fueron registrados en Aguas de Quelana ($2,13 \pm 0,22$ ind/bit) y Puilar ($2,01 \pm 0,29$ ind/bit), la menor diversidad promedio fue estimada en el sistema de Soncor ($1,11 \pm 0,17$ ind/bit) (Figura 5 25). En el caso del índice de dominancia mostró diferencias significativas entre los sistemas (Student $t = 5,78$; $p < 0,05$), los valores promedio máximos fueron estimados en Soncor ($0,62 \pm 0,04$), y los mínimos en el sistema Puilar ($0,30 \pm 0,06$) (Figura 5 25). En el caso del índice de uniformidad se observaron diferencias significativas entre las lagunas (Student $t = 7,91$; $p < 0,05$), el mayor valor fue estimado en la laguna Puilar ($0,80 \pm 0,09$) y los menores valores en Peine ($0,47 \pm 0,10$) (Figura 5 25).

5.3.2.3.2 Análisis multivariados

El análisis de varianza de permutaciones PERMANOVA mostró diferencias significativas en las comunidades de fitoplancton entre los distintos sistemas hidrológicos. El modelo explica el 35% de la variación de las comunidades (Tabla 5-61). No obstante, los ensambles que constituyen a la comunidad de fitoplancton en las diferentes lagunas son similares en su variabilidad (BETADISPER; $F = 1,58$; $p = 0,26$).

Tabla 5-61. Análisis de PERMANOVA, usando como factor los distintos sistemas hidrológicos

Parámetros	Df	SumOfSqs	R ²	F	Pr(>F)
Factor (Sistemas Hidrológicos)	3	0,97	0,35	1,64	0,04
Residual	9	1,77	0,64		
Total	12	2,75	1,00		

Fuente: Elaboración propia en Paquete GGPLLOT2, RStudio, 2020

5.3.2.3.3 Parámetros ecológicos por estación de muestreo (lagunas)

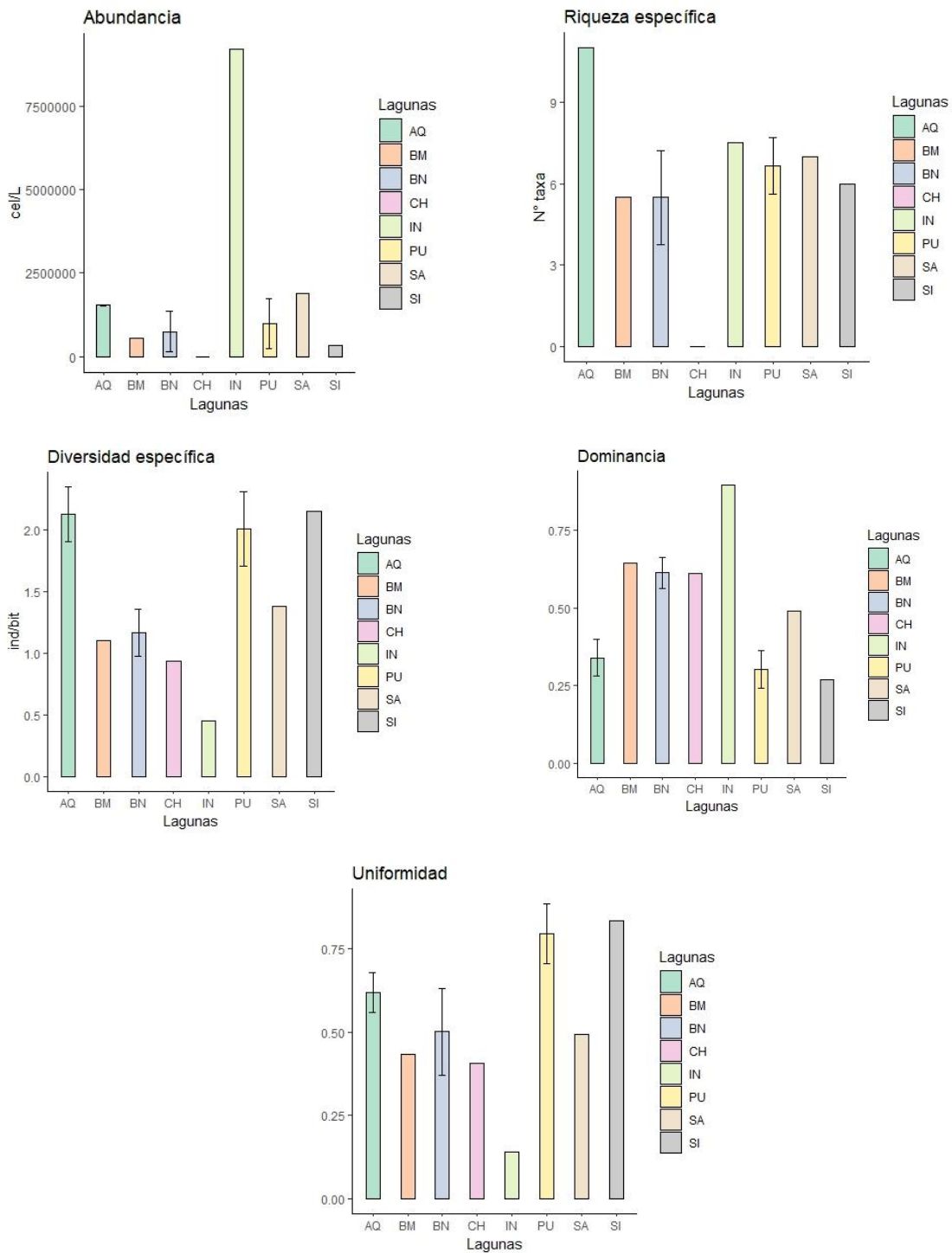
En términos generales, los parámetros ecológicos estimados por laguna evidenciaron diferencias entre ellas en la presente campaña de muestreo (abril 2023).

Abundancia total y Riqueza

Al contrastar la abundancia total entre las lagunas, estas mostraron diferencias significativas (Wilcoxon $W = 36$; $p < 0,05$), definida por la alta abundancia registrada en la laguna Interna ($9.193.500 \pm 0,0$ cel/L). La abundancia registrada en la laguna interna fue 4,8 veces la media global ($1.910.469 \pm 3.007.203$ cel/L), y 3.152 veces a la laguna Chaxa ($2.916 \pm 0,00$ cel/L) (Figura 5-33).

La riqueza específica, también mostró diferencias significativas (Student $t = 5,70$; $p < 0,05$), los mayores valores promedio fueron observados en Aguas de Quelana ($11,0 \pm 0,0$ taxa) y Chaxa ($10 \pm 0,0$ taxa) y los menores promedios en la laguna Saladita ($6,0 \pm 0,0$ taxa) (Figura 5-33).

Figura 5-33. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de fitoplancton a nivel de las lagunas de muestreo



AQ = Aguas de Quelana. BM = Burro Muerto. BN = Barros Negros. CH = Chaxa. IN = Interna. PU = Puillar. SA = Salada. SI = Saladita

Fuente: Elaboración propia en Paquete GGLOT2, RStudio, 2020

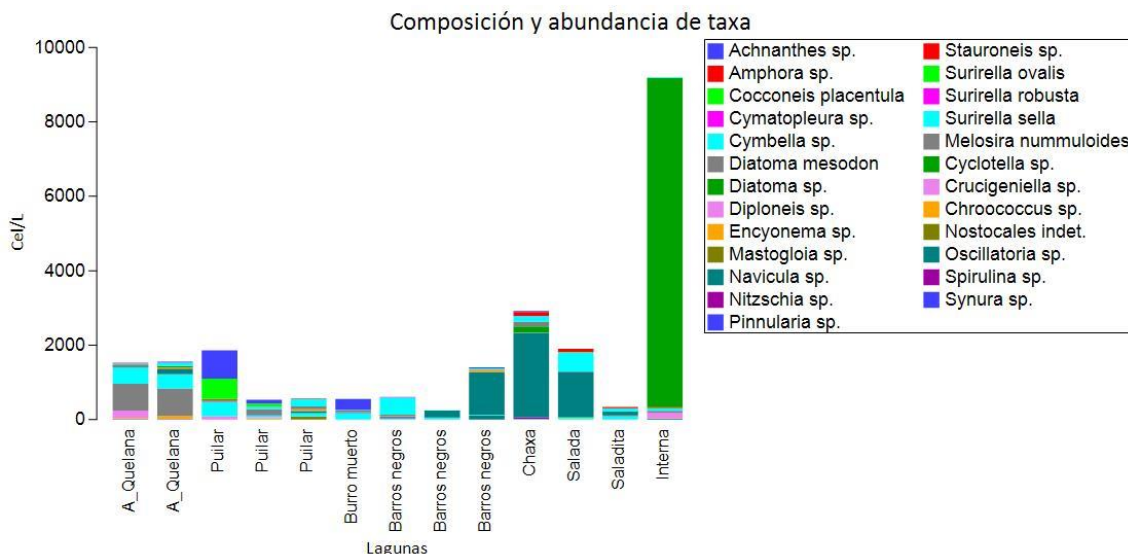
Índices de Diversidad

Los valores de diversidad específica estimada en las lagunas mostraron diferencias significativas entre ellas (Student t = 6,33; p < 0,05). Los mayores valores promedio fueron estimados en las estaciones localizadas en la laguna Saladita (2,15 ± 0,0 ind/bit) y Aguas de Quelana (2,13 ± 0,22 ind/bit). Mientras que en la laguna Interna se registró los menores valores promedio (0,42 ± 0,0 ind/bit) (Figura 5-33). En relación con el índice al índice dominancia, se observaron diferencias significativas entre las lagunas (Student t = 6,93; p < 0,05) El mayor valor promedio fue estimado en la laguna Interna (0,89 ± 0,00), superando 1,4 veces el sistema lagunar que le sigue (Aguas de Quelana 0,64 ± 0,0) y 3,3 veces a la laguna Saladita (0,27 ± 0,0) (Figura 5-33). Para el índice de uniformidad se observó diferencias significativas entre las lagunas (Student t = 6,69; p < 0,05). El valor más alto se registró en la laguna Saladita (0,83 ± 0,0), mientras que en la laguna interna se registró la menor uniformidad (0,14 ± 0,0) (Figura 5-33).

5.3.2.3.4 Taxa representativa

La taxa más abundante registrada durante la presente campaña de muestreo (abril 2023) correspondió a *Diatoma sp.*, taxa dominante en el ensamble de la laguna Interna. La siguiente especie de mayor presencia corresponde a *Navicula sp.* especie que dominó en la comunidad de las lagunas Barros negros, Chaxa y Salada (Figura 5-34).

Figura 5-34. Composición y abundancia de taxa de fitoplancton por laguna (campaña abril 2023).



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.3.2.4 Zooplancton

5.3.2.4.1 Parámetros ecológicos por sistema hidrológico

Al contrastar los sistemas hídricos, solo fue posible establecer diferencias significativas para la riqueza específica, el resto de los parámetros ecológicos (diversidad alfa) no mostraron diferencias estadísticas. En Anexo 21 se adjuntan los informes de laboratorio.

5.3.2.4.1.1 Abundancia total y Riqueza

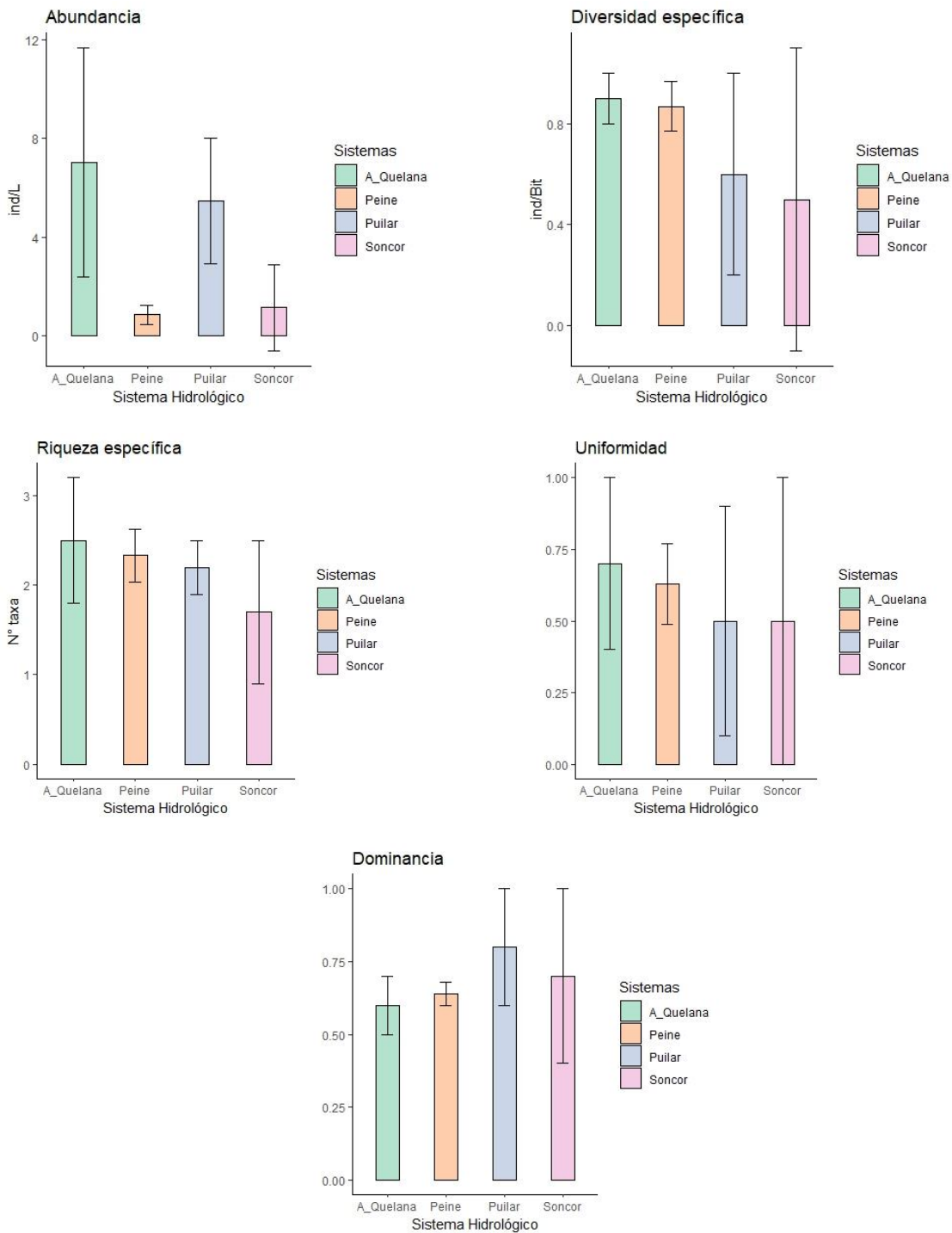
La abundancia total de zooplancton no mostró diferencias significativas entre los sistemas (Wilcoxon $W = 10$; $p = 0,07$). Independiente de este resultado, se observó una amplia diferencia entre los sistemas, los valores máximos fueron observados en Aguas de Quelana ($7,0 \pm 4,6$ ind/L) y los mínimos en Peine ($0,9 \pm 0,4$ ind/L) (Figura 5 30).

La riqueza específica mostró diferencias significativas entre los sistemas hídricos (Student $t = 12,78$; $p < 0,05$). El mayor valor medio se registró en Aguas de Quelana ($2,5 \pm 0,7$ taxa) y los menores promedios en el sistema Puilar ($2,2 \pm 0,3$ taxa) (Figura 5 30).

5.3.2.4.1.2 Índices de Diversidad

Los valores de diversidad específica, al igual que la abundancia, no mostraron diferencias significativas entre los sistemas hidrológicos (Wilcoxon $W = 10$; $p = 0,06$). sin embargo, se observaron importantes variaciones entre los sistemas. El mayor valor fue registrado en Aguas de Quelana ($0,90 \pm 0,10$ ind/bit) y el menor en Soncor ($0,50 \pm 0,60$ ind/bit) (Figura 5 30). En términos del índice de uniformidad, no se observaron diferencias significativas entre los sistemas (Wilcoxon $W = 10$; $p = 0,06$). No obstante, el mayor valor del índice fue estimado en Aguas de Quelana ($0,70 \pm 0,30$) y los menores valores promedio en Soncor ($0,50 \pm 0,50$) (Figura 5 30). Para el índice de dominancia, tampoco se observaron diferencias significativas entre sistemas (Wilcoxon $W = 10$; $p = 0,06$). El mayor valor fue observado en la laguna Puilar ($0,80 \pm 0,09$) y el menor en Aguas de Quelana ($0,60 \pm 0,10$) (Figura 5 30).

Figura 5-35. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de fitoplancton a nivel de las lagunas de muestreo



Fuente: Elaboración propia en Paquete GGLOT2, RStudio, 2020

5.3.2.4.2 Análisis multivariados

Los resultados para el análisis de varianza de permutaciones PERMANOVA no mostró diferencias significativas entre los ensambles de taxa de las comunidades de zooplancton de los distintos sistemas hidrológicos. El modelo explica un 38% de la variación espacial de las comunidades (Tabla 5-62). En concordancia con este resultado, los sistemas mostraron la ausencia de diferencias estadísticas significativas en la varianza de los ensambles (BETADISPER; $F = 2,84$; $p = 0,09$).

Tabla 5-62. Análisis de PERMANOVA, usando como factor los distintos sistemas hidrológicos

Parámetros	Df	SumOfSqs	R ²	F	Pr(>F)
Factor (Sistemas Hidrológicos)	3	1,09	0,38	1,84	0,08
Residual	9	1,78	0,62		
Total	12	2,87	1,00		

Fuente: Elaboración propia en Paquete GGLOT2, RStudio, 2020

5.3.2.4.3 Parámetros ecológicos por estación de muestreo (lagunas)

Al contrastar los valores de los parámetros por laguna, en general, se observan diferencias significativas entre las lagunas en el presente campaña de muestreo (abril 2023).

5.3.2.4.3.1 Abundancia total y Riqueza

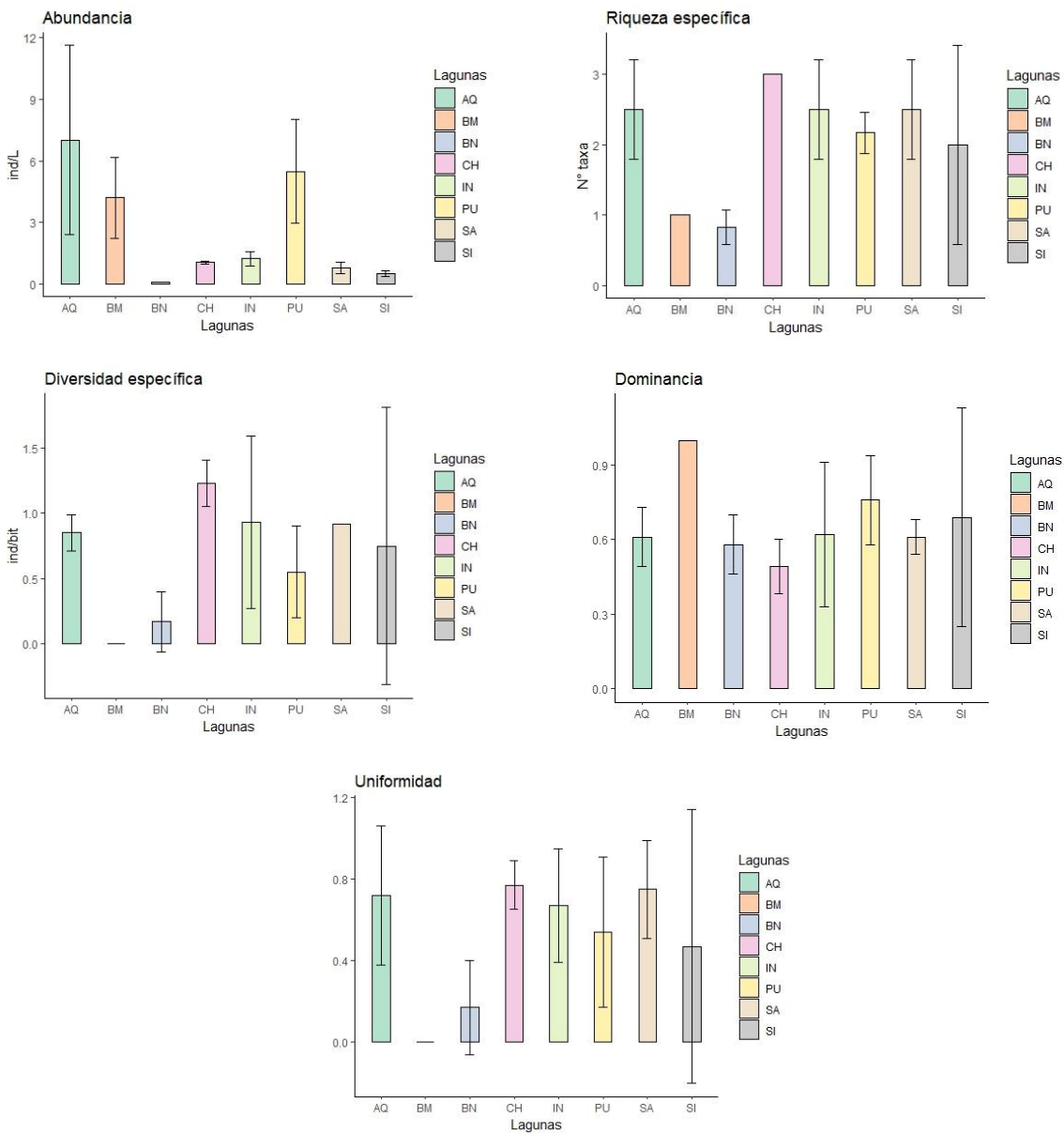
El valor de abundancia de zooplancton estimado en esta campaña mostró diferencias significativas entre lagunas (Student $t = 2,74$; $p < 0,05$). El valor más alto se registró en la laguna Aguas de Quelana ($7,02 \pm 4,62$ ind/L), superando 2,7 veces la media global ($2,55 \pm 2,63$ ind/L) y 70 veces a la laguna Barros negros ($0,11 \pm 0,0$ ind/L) (Figura 5-36).

En el caso de la riqueza específica, también se observaron diferencias significativas entre lagunas (Student $t = 7,61$; $p < 0,05$). El mayor valor se registró en laguna Chaxa ($3 \pm 0,0$ taxa) y los menores valores en la laguna Burro muerto ($1 \pm 0,0$ taxa) (Figura 5-36).

5.3.2.4.3.2 Índices de Diversidad

La diversidad específica, estableció una diferencia estadística entre las lagunas (Student $t = 4,62$; $p < 0,05$), con valores máximos y mínimos en Chaxa ($1,23 \pm 0,18$ ind/bit) y Barros negros ($0,17 \pm 0,23$ ind/bit) (Figura 5-36). En el caso del índice de dominancia, este mostró fluctuaciones significativas entre las lagunas (Student $t = 12,25$; $p < 0,05$). El valor mayor se observó en la laguna Burro muerto ($1 \pm 0,0$), mientras que, Chaxa se observó los valores más bajos de dominancia ($0,49 \pm 0,11$) (Figura 5-36). En el caso del índice de uniformidad, al igual que el resto de los parámetros, se registró diferencias significativas de sus valores promedio (Student $t = 0,51$; $p < 0,05$), identificando valores máximos en las lagunas Salada ($0,75 \pm 0,24$) y Chaxa ($0,77 \pm 0,12$) y nulos en la laguna Burro muerto, debido a la presencia de un solo taxa (Figura 5-36).

Figura 5-36. Parámetros ecológicos evaluados a nivel lagunar para la comunidad de zooplancton



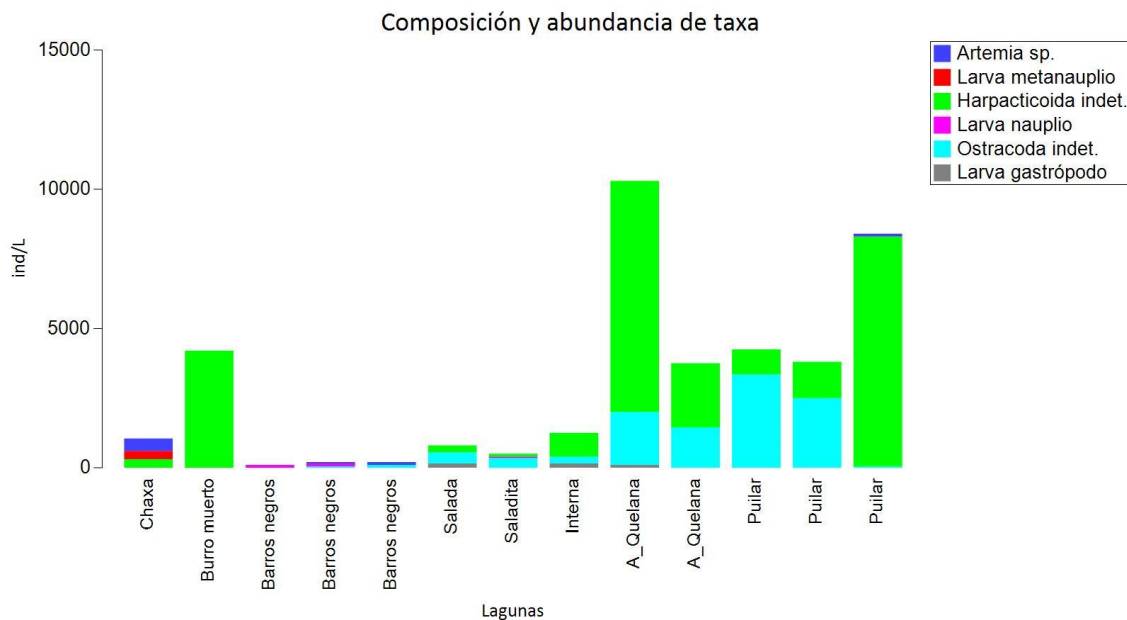
AQ = Aguas de Quelana. BM = Burro Muerto. BN = Barros Negros. CH = Chaxa. IN = Interna. PU = Puilar. SA = Salada. SI = Saladita

Fuente: Elaboración propia en Paquete GGLOT2, RStudio, 2020

5.3.2.4.4 Taxa representativa

La taxa más abundante registrada durante la presente campaña de muestreo (abril 2023) correspondió a clase Copepoda Harpacticoida, dominante en los ensambles de las lagunas Burro muerto, Interna, Salada, Saladita, Puilar y Aguas de Quelana. La Clase Ostracoda, también presentó una abundancia considerable, siendo codominante en la mayoría de los ensambles donde estuvo presente Harpacticoida (Figura 5-37).

Figura 5-37. Composición y abundancia de taxa de zooplancton por laguna (campaña abril 2023).



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.3.2.5 Zoobentos o invertebrados bentónicos

5.3.2.5.1 Parámetros ecológicos por sistema hidrológico

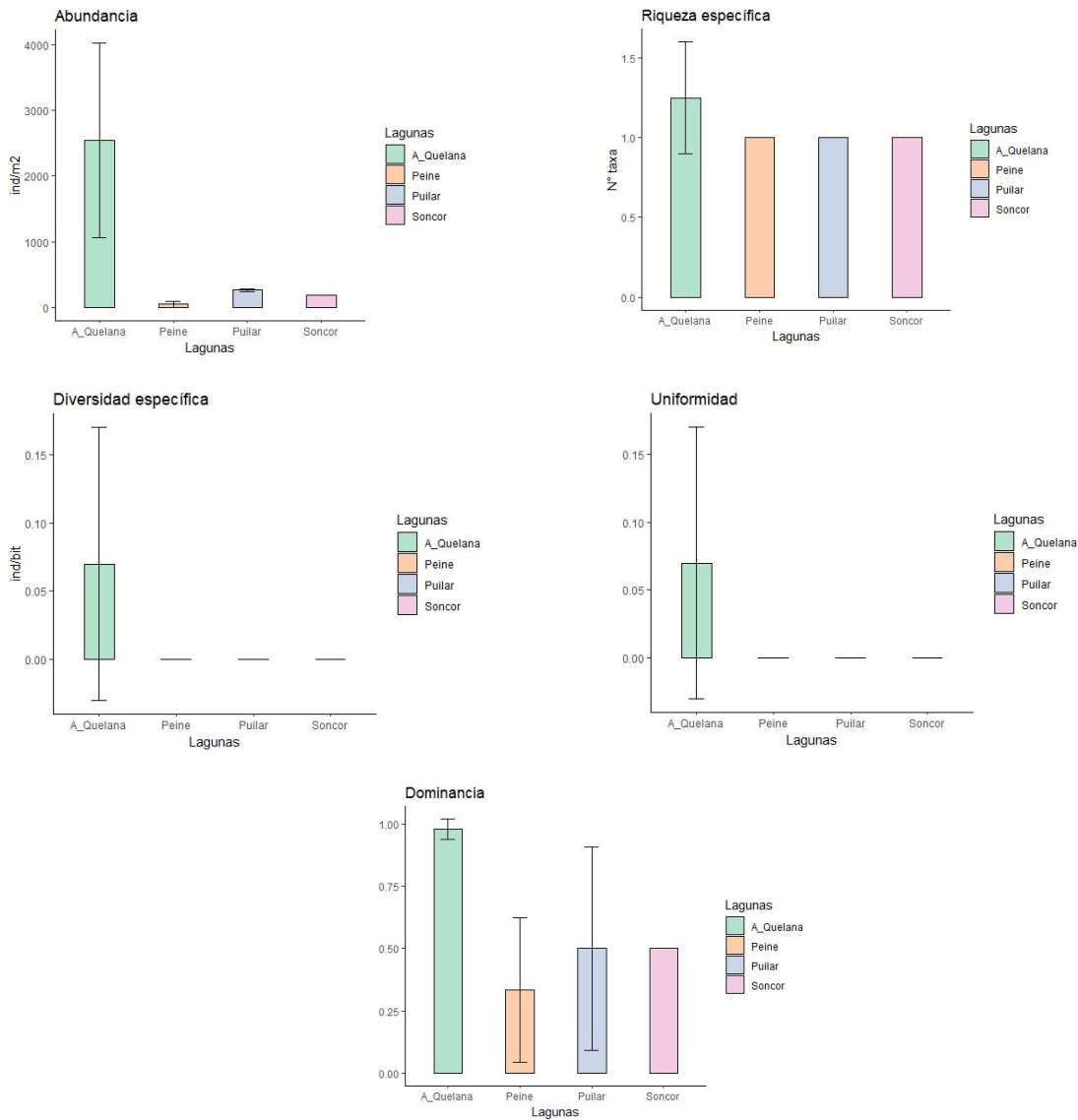
Al contrastar los sistemas hidrológicos, solo fue posible establecer variaciones significativas en la dominancia, el resto de los parámetros ecológicos (diversidad alfa) mostraron diferencias, pero estas no fueron significativas.

5.3.2.5.1.1 Abundancia total y Riqueza

La abundancia total de zoobentos no exhibió diferencias significativas en sus valores promedio entre los sistemas (Wilcoxon $W = 10$; $p = 0,07$), no obstante, se observó una amplia variabilidad entre los sistemas. El mayor valor se observó en Aguas de Quelana (2.545 ± 1.478 ind/m²), y los menores valores en el sistema de Peine ($47,50 \pm 44,75$ ind/m²) (Figura 5-38).

La riqueza específica de taxa no presentó diferencias significativas entre sistemas hídricos (Wilcoxon $W = 10$; $p = 0,37$), pero si se observó una amplia variación en su valor promedio entra los sistemas. El mayor valor se observó en Aguas de Quelana ($1,25 \pm 0,35$ taxa), respecto al resto de los sistemas hidrológicos que solo exhibieron en promedio un taxa en sus ensamblajes (Figura 5-38).

Figura 5-38. Parámetros ecológicos evaluados en el ensamble de zoobentos a nivel de sistemas hidrológicos (Soncor, Aguas de Quelana, Puillar y Peine).



Fuente: Elaboración propia

5.3.2.5.1.2 Índices de Diversidad

La diversidad específica no mostró diferencias significativas entre los sistemas hidrológicos (Wilcoxon $W = 10$; $p = 0,31$), ya que, solo fue posible determinar en Aguas de Quelana ($0,07 \pm 0,10$ ind/bit) una composición superior a un solo taxa (Figura 5-38). La uniformidad, al igual que la diversidad y la riqueza, no exhibió fluctuaciones significativas entre los sistemas (Wilcoxon = 10; $p = 0,31$). Este resultado estuvo basado en que solo fue posible determinar el índice en Aguas de Quelana ($0,07 \pm 0,01$) (Figura 5-38). EN el caso del índice

de dominancia, para este fue el único índice en que se observaron diferencias significativas (Student $t = 4,12$; $p < 0,05$), registrando los mayores valores en Aguas de Quelana ($0,98 \pm 0,04$) y los menores valores en Peine ($0,33 \pm 0,29$) (Figura 5-38).

5.3.2.5.2 Análisis multivariados

Los resultados para el análisis de variancia de permutaciones PERMANOVA determinó diferencias en las comunidades de zoobentos entre los distintos sistemas hidrológicos, el cual explicó un 51% de la variación de las comunidades (Tabla 5-63). Por otra parte, los resultados obtenidos a partir del análisis BETADISPER ($F = 3,38$; $p = 0,09$), establecen que existe una similitud en las varianzas entre los distintos ensamble de especies en los sistemas hidrológicos.

Tabla 5-63. Análisis de PERMANOVA, usando como factor los distintos sistemas hidrológicos

Parámetros	Df	SumOfSqs	R ²	F	Pr(>F)
Factor (Sistemas Hidrológicos)	3	1,46	0,51	2,11	0,03
Residual	9	1,38	0,49		
Total	12	2,84	1,00		

Fuente: Elaboración propia en Paquete GGLOT2, RStudio, 2020

5.3.2.5.3 Parámetros ecológicos por estación de muestreo (lagunas)

Al evaluar las posibles diferencias por lagunas, los resultados sugieren en general diferencias significativas para los diferentes descriptores, exceptuando para la diversidad específica (índice Shannon-Wiever) y la uniformidad, durante la presente campaña de muestreo (abril 2023).

5.3.2.5.3.1 Abundancia total y Riqueza

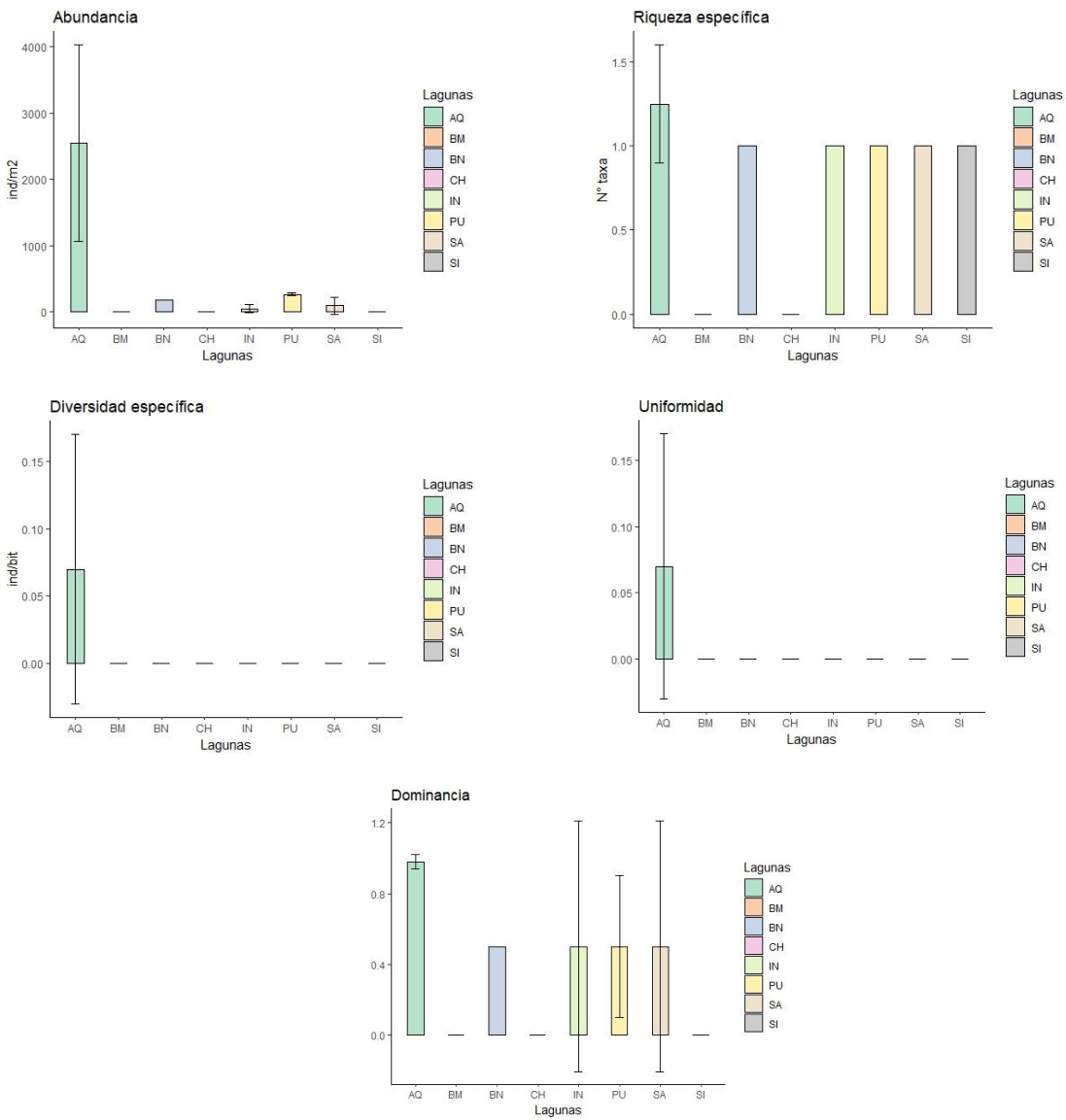
Al contrastar la abundancia total promedio estimada por laguna, los resultados muestran oscilaciones significativas en sus valores (Wilcoxon $W = 21$; $p < 0,05$). Entre los resultados se destaca la mayor abundancia en Aguas de Quelana (2.545 ± 1.478 ind/m²), en comparación al resto de las lagunas, superando 6,5 veces la media global ($391,76 \pm 875,29$ ind/m²) y 1.018 veces a la laguna Saladita ($2,50 \pm 0,71$ ind/m²) (Figura 5-39).

La riqueza específica también reportó diferencias significativas (Wilcoxon $W = 1$; $p < 0,05$), con los valores máximos y mínimos en Aguas de Quelana ($1,25 \pm 0,35$ taxa) y Burro muerto. En esta última laguna no se observaron organismos zooplanctónica (Figura 5-39).

5.3.2.5.3.2 Índices de Diversidad

La diversidad específica y la uniformidad de especies no mostraron oscilaciones significativas en sus valores promedio ($W_{DIV} = 1$; $p = 0,35$. $W_{UNI} = 1$; $p = 0,35$). Para estos índices, solo se mostraron resultados en Aguas de Quelana ($H' = 0,07 \pm 0,10$ ind/bit; $J' = 0,07 \pm 0,10$) (Figura 5-39). En el caso del índice de dominancia, se observó variaciones significativas las lagunas (Student $t = 3,02$; $p < 0,05$), con un máximo en Aguas de Quelana ($0,98 \pm 0,04$) y ausencia de valores para las lagunas Saladita y Chaxa (Figura 5-39).

Figura 5-39. Parámetros ecológicos evaluados a nivel Lagunar para el zoobentos



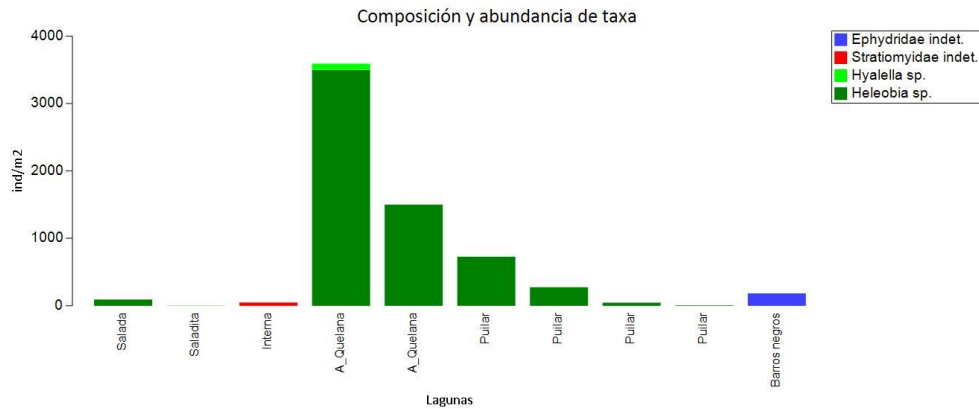
AQ = Aguas de Quelana. BM = Burro Muerto. BN = Barros Negros. CH = Chaxa. IN = Interna. PU = Puilar. SA = Salada. SI = Saladita

Fuente: Elaboración propia en Paquete GGPlot2, RStudio, 2020

5.3.2.5.4 Taxa representativa

El taxón más abundante registrado durante la presente campaña de muestreo (abril 2023) correspondió al gasterópodo *Heleobia sp.*, dominante en las lagunas Salada, Puilar y Aguas de Quelana. Mientras que, en las lagunas Interna y Barros negros dominaron los dípteros Stratiomyidae y Ephyridae, respectivamente (Figura 5-40).

Figura 5-40. Composición y abundancia de taxa de zoobentos por laguna (campaña abril 2023).



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

5.3.2.6 Plantas acuáticas

Según la revisión de antecedentes este componente biológico ha sido encontrado exclusivamente en el sector de Aguas de Quelana, lo cual fue nuevamente detectado durante la actual campaña de monitoreo de abril de 2023. No obstante, en la presente campaña 2023, se observó la presencia de macrófitas en los sectores de Puillar y Peine (Tabla 5-64). El taxa identificado corresponde a la especie *Ruppia filifolia*, el cual fue encontrado en los sistemas hidrológicos Aguas de Quelana (Q-5 y Q-6), Peine (SA-1 y PE-1) y Puillar (PU-1) (Tabla 5-64) (Figura 5-41). La estimación del porcentaje de cobertura absoluta indicó que las estaciones de monitoreo con mayor porcentaje de coberturas corresponden a Q-5 y Q6, en Aguas de Quelana, las cuales presentaron un rango de porcentaje de cobertura entre el 50 y 75 % según escala de Braun-Blanquet (Tabla 5-64).

Figura 5-41. Presencia de *Ruppia filifolia* en algunas de las lagunas presentes en el sistema de Peine.



Estación de muestreo PE-1



Estación de muestreo SA-1

Fuente: Registro fotográfico en terreno, abril 2023

Tabla 5-64. Presencia de Vegetación acuática (Macrófitas) presentes en el área de estudio.

Sistema	Estación	<i>Ruppia filifolia</i>			
		Porcentaje de cobertura absoluta			
		0 – 25 %	25 – 50 %	50 – 75 %	75 – 100 %
Aguas de Quelana	Q-0	*	*	*	*
	Q-1	*	*	*	*
	Q-2	*	*	*	*
	Q-3	*	*	*	*
	Q-4	*	*	*	*
	Q-5	*	*	X	*
	Q-6	*	*	X	*
	Q-7	*	*	*	*
	Q-8	*	*	*	*
	Q-9	*	*	*	*
Soncor	PU-1	X	*	*	*
	PU-2	*	*	*	*
	PU-3	*	*	*	*
	PU-4	*	*	*	*
	PU-5	*	*	*	*
	BN-1	*	*	*	*
	BN-2	*	*	*	*
	BN-3	*	*	*	*
	CH-1	*	*	*	*
	BM-1	*	*	*	*
Peine	PE-1	*	X	*	*
	PE-2	*	*	*	*
	PE-3	*	*	*	*
	SA-1	*	*	*	*
	SA-2	*	X	*	*

* sin presencia de macrófitas

X con presencia de macrófitas

Fuente: Elaboración propia

6 Discusiones

6.1 Flora y vegetación

6.1.1 Monitoreo vegetación mediante imágenes satelitales

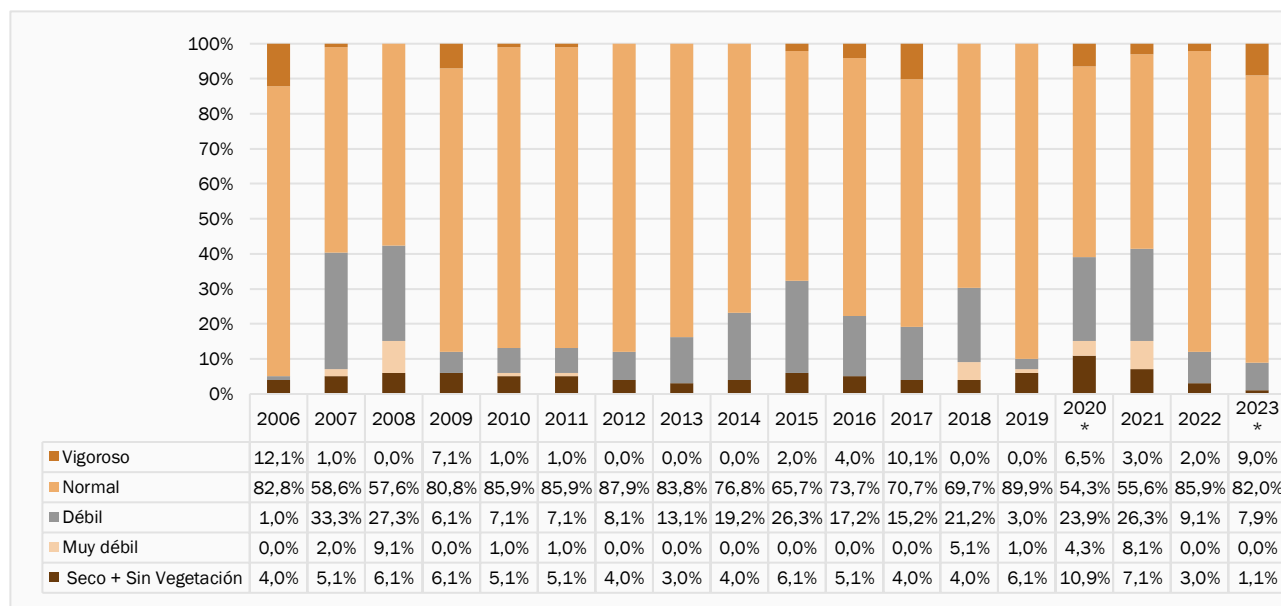
Conforme al propósito del Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) biótico del Salar de Atacama, el cual es la detección de cambios en la distribución, abundancia y vitalidad de la vegetación presente en el borde este del Salar de Atacama, se discute el comportamiento histórico observado en los parámetros evaluados durante el período de monitoreo (2006 – 2023).

6.1.1.1 Análisis de las caracterizaciones en terreno

6.1.1.1.1 Estado vital

Tal como lo indica la RCA del Proyecto (N° 226/2006), el estado vital de las unidades homogéneas de vegetación (UVH) objeto de monitoreo, deben ser evaluadas anualmente en el mes de abril. En este contexto, en la Figura 6-1 se presenta la evolución de la vitalidad registrada en las UVH en 18 años de monitoreo, esta evolución temporal se representa a través de la proporción de UVH por categoría de vitalidad en cada año desde el 2006 a la fecha.

Figura 6-1. Categorías de vitalidad de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Evolución temporal campañas 2006 – 2023.



(*) El año 2020 tiene 46 registros, debido a prohibición de ingreso a sectores de la RN Los Flamencos (ver informe de monitoreo PSAB N° 14), el año 2023 posee 89 registros debido a falta de acceso a puntos del sector de Peine, por parte de la comunidad homónima. El resto de los años fue construido sobre la base de 99 registros. Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Excepcionalmente vigoroso: La categoría crecimiento vigoroso muestra variaciones entre un máximo de 12,1% de registros anuales en 2006 y un mínimo de cero registros en los años 2008, 2012–2014, 2018–2019. También se observan mayores ocupaciones en los años 2009 (7,1% de los registros), 2017 (10,1% de los registros) y 2023 (9% de los registros). La cantidad de unidades catalogadas como excepcionalmente vigorosas alcanzan 8 registros en el presente año, lo cual se ubica sobre el promedio registrado en los 17 años de monitoreo.

Crecimiento normal: La categoría de crecimiento normal es la que alberga la mayor cantidad de registros en todos los años de monitoreo, sin mostrar una tendencia hacia el alza o baja en el tiempo. El máximo se registró en el año 2019 con el 89,9% de los registros en esa categoría, mientras que el mínimo fue del 2021 donde el 55,6% (sin considerar el año 2020 donde solo se evaluaron 46 estaciones de monitoreo). En 2023, los registros alcanzaron el 82%, lo cual representa una diferencia de 7,9% con respecto al máximo histórico. Sin embargo, este valor se encuentra sobre el promedio.

Débil: La categoría débil se ha mostrado variable en el tiempo, su máximo alcanza el 33,3% de los registros del año 2007, mientras que el mínimo fue registrado en el año 2006 con solo un 1% de los registros. Para el año 2023 esta categoría describe al 7,9% de los registros, situándose bajo el promedio, este valor no se considera negativo, dado que en 2023 los registros se concentraron en categorías de vigor mayores.

Muy débil: A lo largo del tiempo, la categoría muy débil ha mostrado fluctuaciones que no permiten describir una tendencia en el tiempo, variando entre un máximo de 9,1% de los registros en 2008 y como mínimo, la ausencia de registros, identificadas en los años 2006, 2009, 2012-2017, 2022 y 2023. Tal como se indicó anteriormente, en el monitoreo actual (2023) no se reportan muestras en la categoría muy débil.

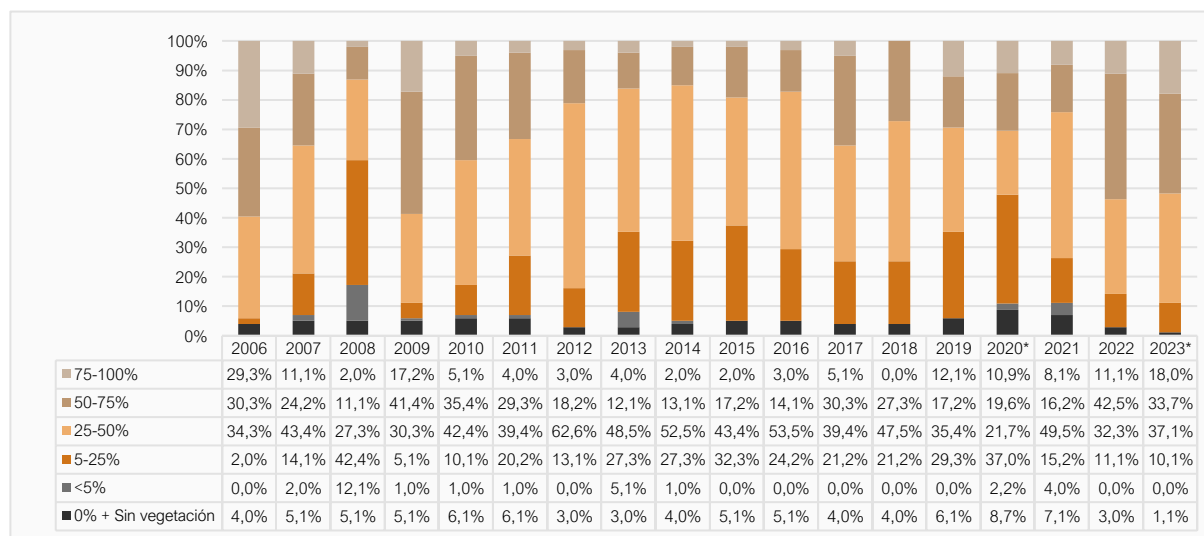
Seco/Sin vegetación: La participación porcentual de la categoría “seco/sin vegetación” no ha mostrado una tendencia el tiempo. El rango de variación de esta categoría es bajo, al verificarse como mínimo y máximo, 1 y 7 muestras (en los años 2021 y 2023 respectivamente). En el periodo 2023, se identificó una muestra en esta categoría.

Cabe mencionar que los resultados el periodo 2023 están influenciados por la falta de monitoreo de 10 puntos ubicados en el sector de Peine.

6.1.1.1.2 Porcentaje de copa viva

El porcentaje de copa viva corresponde a una apreciación visual de la proporción de la copa fotosintéticamente activa de las especies dominantes en las unidades evaluadas. Es un parámetro que se evalúa anualmente en el mes de abril, de acuerdo con lo especificado en la RCA del Proyecto (N° 226/2006). En este contexto, en la Figura 6-2 se presenta la evolución del porcentaje de copa viva (%CV) registrado en las UVH en 18 años de monitoreo, esta evolución temporal se representa a través de la proporción de UVH por categoría de %CV en cada año desde el 2006 a la fecha.

Figura 6-2. Proporción del porcentaje de copa viva de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Campañas abril 2006 – 2023.



(* El año 2020 tiene 46 registros, debido a prohibición de ingreso a sectores de la RN Los Flamencos (ver informe de monitoreo PSAB N° 14), el año 2023 posee 89 registros debido a falta de acceso a puntos del sector de Peine, por parte de la comunidad homónima. El resto de los años fue construido sobre la base de 99 registros. Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Categoría 75-100%: La categoría 75-100% de copa viva fluctúa entre un 29,3% de los registros anuales en el año 2006 y cero registros anuales en el año 2018. Entre los años 2006 y 2010 se observan grandes fluctuaciones, las que podrían deberse a la naturaleza cualitativa de la variable de medición. Luego, del 2012 a 2017 los valores no superan el 5% de registros por año; para luego registrar la mínima histórica en el 2018, repuntando en 2019 con valores cercanos al 12%. De ahí en adelante, los valores son más o menos estables, presentándose en el actual reporte una proporción de 18% de las muestras, correspondiendo a uno de los valores más altos de todo el monitoreo, y situándose sobre el promedio.

Categoría 50-75%: La cantidad de descripciones anuales en la categoría 50-75% fluctúan entre un mínimo de 11,1% y un máximo de 42,5%, registrados en los años 2008 y 2022 respectivamente. Se observan grandes variaciones en la proporción de unidades de vegetación en esta categoría anualmente, por lo que, los datos no indican alguna tendencia al alza o baja en el tiempo. En el año 2023, se registra un 33,7% de las unidades con esta categoría, correspondiendo al cuarto valor más alto del monitoreo y ubicándose sobre el promedio.

Categoría 25-50%: La categoría 25-50% de copa viva ha fluctuado entre un mínimo de 21,7% y un máximo de 62,6% de las descripciones, registradas en los años 2020 y 2012 respectivamente. Pese a la anterior, en esta categoría no se verifica una tendencia al alza o baja. En el 2023, se registró una proporción de 37,1%, lo cual se encuentra levemente por debajo del promedio.

Categoría 5-25%: La categoría 5-25% de copa verde registró la mínima y máxima cantidad de observaciones en 2006 y 2008 donde alcanzaron un 2,0% y 42,2% de las muestras, respectivamente. El año posterior al

máximo (2009) presentó nuevamente una baja considerable en la cantidad de descripciones, registrándose un 5,1% de representatividad. En el periodo actual (2023) disminuye la proporción con respecto al periodo anterior, lo que podría deberse a la mayor expresión de la vegetación, al aumentar los registros en la categoría 25-50% y 75-100%. Lo reportado en el periodo actual se encuentra bajo el promedio historia para esta categoría.

Categoría <5%: La cantidad de registros en la categoría <5% de copa verde tuvo su máximo histórico en 2008 con un 12,1% de las descripciones de vegetación, y el mínimo histórico en los años 2006, 2012 y 2015 a 2019, 2022 y 2023 con cero registros en esta categoría. La evolución temporal de la cantidad de registros en esta categoría muestra que, en los años 2008, 2013 y 2021 se han producido alzas en los registros. Para el año 2023 los registros llegan a 0, situándose bajo del promedio.

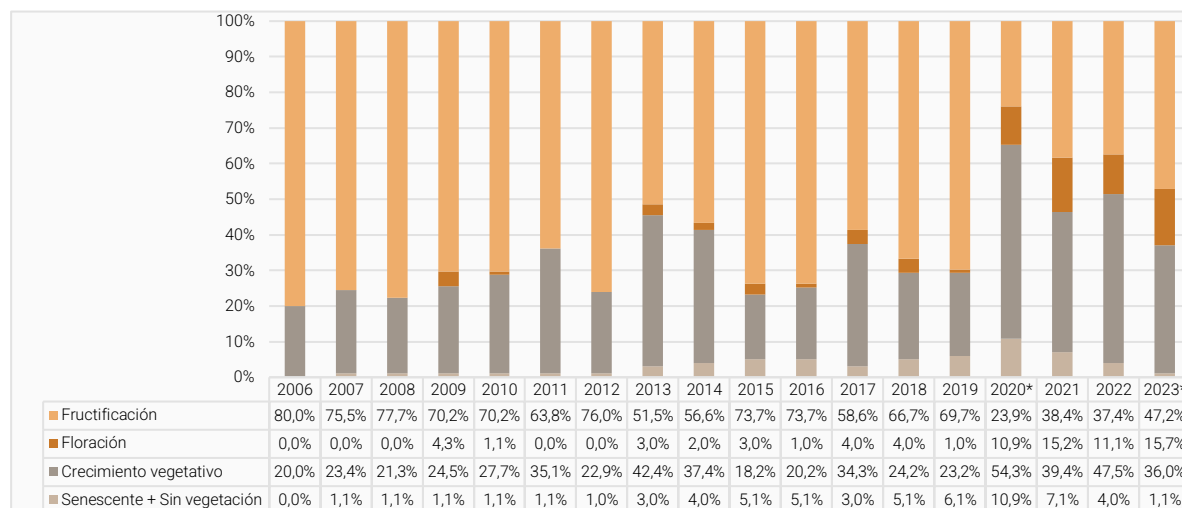
0%/Sin vegetación: A través de los monitoreos, la categoría de copa viva de 0% fluctuó entre un máximo de 8,7% en el año 2020 y un mínimo de 1,1% en el periodo actual. La proporción de unidades en esta categoría en el periodo actual se ubica por debajo del promedio histórico, sin embargo, se considera un buen indicador dado que para el mismo periodo se encontraron alzas por sobre el promedio para categorías de %CV mayores.

Cabe destacar y recordar que los resultados el periodo 2023 están influenciados por la falta de monitoreo de 10 puntos ubicados en el sector de Peine.

6.1.1.1.3 Fenología

La variación temporal de los ciclos reproductivos de las especies dominantes en las unidades de vegetación objeto de seguimiento (RCA N°226/2006), se presenta en la Figura 6-3, lo cual se expresa a través de la proporción de UVH por categoría de fenología en cada año desde el 2006 a la fecha.

Figura 6-3. Fenología de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Resultados Históricos. Campañas 2006 – 2023.



(*) El año 2020 tiene 46 registros, debido a prohibición de ingreso a sectores de la RN Los Flamencos (ver informe de monitoreo PSAB N° 14), el año 2023 posee 89 registros debido a falta de acceso a puntos del sector de Peine, por parte de la comunidad homónima. El resto de los años fue construido sobre la base de 99 registros. Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Fructificación: La fase fenológica de fructificación ha sido la categoría más frecuente en las formaciones vegetacionales del Salar de Atacama, mostrando un promedio de 62,6% de las muestras. El máximo ocurrió el año 2006 donde el 80% de las unidades evaluadas presentaron esta etapa fenológica, mientras que el mínimo fue registrado en el año 2020 donde un 23,9% de los registros fueron en esta categoría. El periodo reportado junto con el periodo 2020, 2021 y 2022 corresponden a los años con menor proporción de muestras con fructificación, lo que mostraría, probablemente, un retraso en el ciclo fenológico, al verificarse un aumento en las muestras en la etapa de floración y crecimiento vegetativo.

Floración: La evolución de las descripciones vegetacionales en el tiempo muestran que la fenofase reproductiva de floración fluctúa entre un mínimo de 0% registros en 2006, 2007, 2011 y 2012; y un máximo de 15,7% de los registros en 2023. Con un promedio de 5,1% considerando todos los años de monitoreo. Tal como se mencionó anteriormente, se observa un aumento de floración a través del tiempo, en comparación con la etapa de fructificación.

Crecimiento vegetativo: La categoría de crecimiento vegetativo da cuenta de una etapa donde las plantas desarrollan ramas y hojas nuevas, y se aprecian brotes vegetativos tiernos. Esta categoría ha fluctuado entre un mínimo de 18,2% de las muestras (2015) y un máximo del 54,3% (2020), con un promedio de 30,4% considerando todo el periodo estudiado. En el periodo actual, se aprecia que un 36% de las muestras presentan esta etapa fenológica, lo cual se sitúa por sobre el promedio.

Senescente/sin vegetación: La cantidad de unidades senescentes o sin vegetación ha variado anualmente entre un mínimo de cero registros en el año 2006 y un máximo del 10,9% de los registros en el año 2020. Este último valor estaría influenciado por el tamaño muestral y la época de monitoreo de la campaña

complementaria, la cual se realizó en el mes de octubre. El reporte actual (2023) alcanzó un 1,1% de las muestras, encontrándose dentro de los rangos observados.

Tal como se mencionó anteriormente, los resultados el periodo 2023 están influenciados por la falta de monitoreo de 10 puntos ubicados en el sector de Peine.

6.1.1.2 Distribución y abundancia de la vegetación mediante imágenes satelitales

En cuanto a la superficie total de vegetación, la superficie registrada en 2023 fue de 14.100,73 ha, valor que se encuentra dentro de los rangos observados históricamente, tal como se aprecia en la Tabla 6-1, Tabla 6-2 y Figura 6-4. Respecto a la rectificación realizada en el año 2013, se aprecia que la superficie actualmente cubierta con vegetación es mayor en 465,73 ha (Tabla 6-1). Este incremento se debe principalmente al registro del Matorral de Káuchal (*Tiquilia atacamensis*), cuyas superficies previas al 2017 se habían presentado como zona de vegetación escasa (cobertura de la vegetación inferior al 5%) en algunas secciones del margen oriental del Borde Este y que actualmente presenta cobertura vegetal muy abierta (cobertura de la vegetación entre 10-25%).

La especie *Tiquilia atacamensis* es procumbente o semierecta, de hábito subarbuscivo o sufrútice (Rodríguez, 2018), es decir, una planta similar a un arbusto, generalmente pequeña y que sólo se lignifica en la base y sus extremos son de consistencia herbácea (Squeo *et al.*, 2008). Según Richardson (1977), las especies del género *Tiquilia* son todas especies xerofíticas perennes, algunas de ellas pueden florecer y fructificar el primer año y funcionar como anuales si son eliminadas por condiciones adversas posteriores. De acuerdo con lo observado en terreno, *Tiquilia atacamensis* se ajustaría a estas características, dado que su aparición y densidad de individuos se asocia con precipitaciones abundantes como las ocurridas entre los meses de enero y febrero de los años 2017, 2018 y 2019 en la zona.

Tal como se indica en Tabla 6-1, para el periodo 2023 no se identificó la formación ocasional dominada por la especie herbácea *Cistanthes sp.*, la que se verificó por única vez en la campaña 2019. La ausencia de esta formación respaldaría que el crecimiento de esta especie estaría sujeta a condiciones climáticas puntuales, considerada como “pastos de lluvias” y su expresión en la temporada 2019 se debió a las abundantes lluvias estivales acontecidas durante enero a febrero 2019, donde se acumularon 212 mm (estación Camar DGA, 2019).

A continuación, en la Tabla 6-1 se presentan las superficies por tipo vegetacionales en cada uno de los monitoreos realizados a la fecha.

Tabla 6-1. Superficie de los tipos vegetales presentes en el borde este del Salar de Atacama. Campañas 2006 a 2023

Año de monitoreo	Tipo vegetacional							TOTAL (ha)
	Matorral de Brea	Matorral de Cachiyuyo – Ojalar	Matorral de Rica rica – Pingo pingo	Matorral de Káuchal	Pradera de Grama salada	Pajonal de Junquillo - Totorá - Suncho	Pradera de Lu-kupa	
2006	9.195,0	1.263,0	20,0	0,0	2.569,0	664,0	0,0	13.712,0

Tabla 6-1. Superficie de los tipos vegetales presentes en el borde este del Salar de Atacama. Campañas 2006 a 2023

Año de monitoreo	Tipo vegetacional							TOTAL (ha)
	Matorral de Brea	Matorral de Cachiyuyo – Ojalar	Matorral de Rica rica – Pingo pingo	Matorral de Káuchal	Pradera de Grama salada	Pajonal de Junquillo - Tatora - Suncho	Pradera de Lu-kupa	
2007	8.327,0	1.235,0	28,0	0,0	3.495,0	628,0	0,0	13.712,0
2008	7.626,0	2.069,0	900,0	0,0	2.696,0	422,0	0,0	13.712,0
2009	9.319,0	1.156,0	36,0	0,0	2.048,0	1.186,0	0,0	13.745,0
2010	9.006,0	603,0	1.003,0	0,0	1.389,0	1.689,0	0,0	13.690,0
2011	9.452,0	493,0	604,0	0,0	1.544,0	1.604,0	0,0	13.696,0
2012	7.616,0	1.325,0	692,0	0,0	2.725,0	1.311,0	0,0	13.670,0
2013	7.301,0	1.683,0	1.042,0	0,0	2.319,0	1.290,0	0,0	13.635,0
2014	7.331,0	1.714,0	776,0	0,0	2.361,0	1.300,0	0,0	13.492,0
2015	7.865,0	1.752,0	821,0	0,0	2.342,0	1.341,0	0,0	14.121,0
2016	7.865,0	1.807,0	767,0	0,0	2.364,0	1.315,0	0,0	14.118,0
2017	7.735,3	1.815,1	769,5	34,3	2.349,1	1.327,4	0,0	14.030,7
2018	7.849,0	2.074,0	587,9	811,8	2.235,4	1.288,1	0,0	14.846,2
2019	8.033,5	2.069,1	547,7	651,7	2.197,6	1.456,5	2.539,6	17.495,7
2020	7.412,4	2.024,3	542,4	824,5	2.209,4	1.381,2	0,0	14.394,3
2021	7.359,18	1.772,03	455,88	883,30	2.233,80	1.381,27	0,0	14.085,45
2022	7.359,95	1.780,87	436,42	858,53	2.236,96	1.403,46	0,0	14.076,19
2023	7.359,40	1.801,89	436,59	858,94	2.251,66	1.392,25	0,00	14.100,73

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Respecto a los demás tipos vegetacionales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama y que tienen el carácter de permanentes la diferencia de superficie cubierta por vegetación en el periodo 2006 – 2023, se relaciona con la dificultad de identificación de unidades vegetacionales de baja cobertura principalmente a nivel de fotointerpretación de la imagen satelital. Esto ocurre especialmente en las zonas de cobertura rala (5-10%). Esta situación se da mayoritariamente en los límites del Borde Este, tanto en la parte alta de la cuenca como hacia el núcleo del salar, principalmente en áreas donde convergen zonas de vegetación escasa y vegetación con coberturas <10%. Por ejemplo, en el margen oriente de la franja cubierta con vegetación se presenta el tipo vegetacional dominado por Rica rica – Pingo pingo (*A. deserticola* – *E. multiflora*), estas especies surgen de manera localizada y colindante a zonas de vegetación escasa (<5% de cobertura) o sin vegetación.

En la imagen satelital y a la escala de trabajo utilizada, se dificulta la delimitación entre estos sectores, toda vez que la distribución de individuos es dispersa y de tamaño reducido, tendiendo a la confusión con otros elementos del paisaje. Situación similar ocurre hacia el poniente (núcleo del Salar), donde la vegetación que limita con esta superficie tiende a presentar límites difusos, dada la presencia de costra salina irregular. Por esto, y con el objetivo de mejorar la cartografía es que se realizan esfuerzos adicionales de revisión de la segmentación, produciéndose tales diferencias en las superficies, las que no están directamente relacionadas a efectos del Proyecto.

Tal como se aprecia en la Figura 6-4 y Tabla 6-1, las superficies del periodo 2023 se encuentran dentro de los rangos de valores observados en los periodos previos. Al comparar los resultados con los datos obtenidos el año 2022 (Tabla 6-2), se aprecia una diferencia de 24,54 ha más que el periodo anterior. Por otra parte, la superficie del periodo reportado es superior en 465,73 ha respecto al periodo 2013, año en que se generaron las correcciones al mapa de vegetación.

En el análisis por tipo vegetacional (Tabla 6-2), se observa que el matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata* (Cachiyuyo – Ojalar), matorral de *Aloysia deserticola* – *Ephedra multiflora* (Rica rica – Pingo pingo), el matorral de *Tiquilia atacamensis* (Káuchal) y la pradera de *Distichlis spicata* (Gramma salada) aumentaron su superficie de ocupación respecto al monitoreo anterior en 21,02 ha, 0,17 ha, 0,41 ha y 14,7 ha respectivamente. Mientras que, el matorral de *Tessaria absinthioides* (Brea) y la Pradera de *Juncus balticus* – *Schoenoplectus americanus* – *Baccharis juncea* (Junquillo – Totora – Suncho) presentaron bajas en superficie con respecto al periodo anterior, disminuyendo 0,55 ha y 11,21 ha, respectivamente.

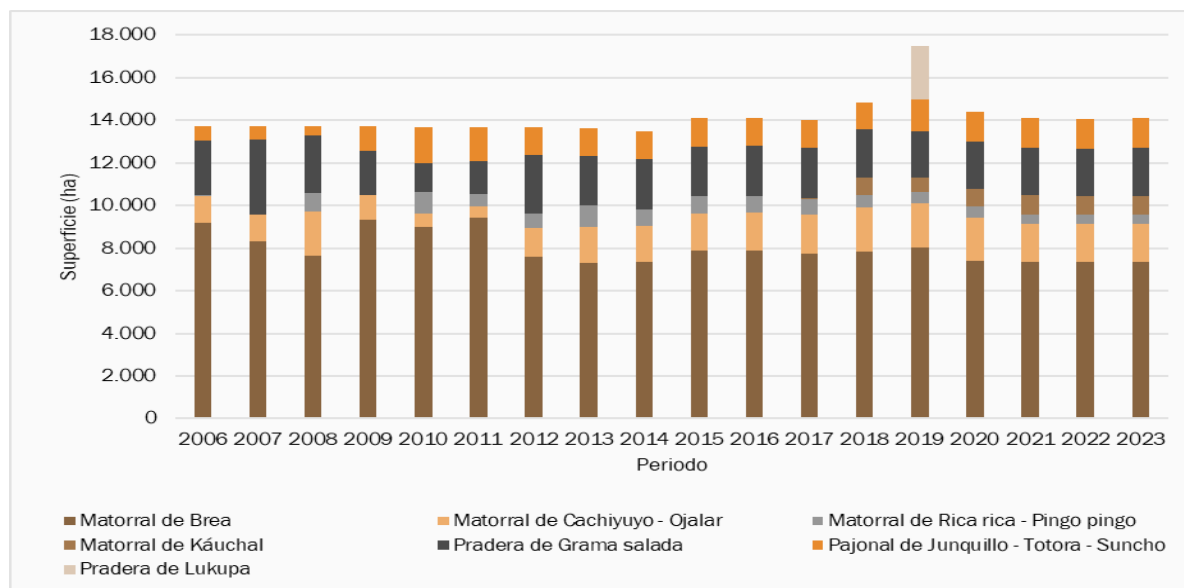
Tabla 6-2. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2020-2023

Año de monitoreo	Tipo vegetacional (ha)							TOTAL (ha)
	Matorral de Brea	Matorral de Cachiyuyo – Ojalar	Matorral de Rica rica – Pingo pingo	Matorral de Káuchal	Pradera de Gramma salada	Pajonal de Junquillo - Totora - Suncho	Pradera de Lu-kupa	
2022	7.359,95	1.780,87	436,42	858,53	2.236,96	1.403,46	0,00	14.076,19
2023	7.359,40	1.801,89	436,59	858,94	2.251,66	1.392,25	0,00	14.100,73
Disminución	0,55	-	-	-	-	11,21	-	-
Aumento	-	21,02	0,17	0,41	14,70	-	-	24,54

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Basado en los antecedentes entregados, tanto la superficie total como los tipos vegetacionales de manera individual se encuentran dentro de los rangos observados históricamente, que corresponden a las superficie mínimas y máximas en el período 2006 – 2022 (ver Tabla 6-1, por lo que no se aprecian efectos no contemplados en la vegetación mediante el monitoreo mediante imágenes satelitales. El detalle de la variación de cobertura por tipo vegetacional es presentado en la Figura 6-4.

Figura 6-4. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 a 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

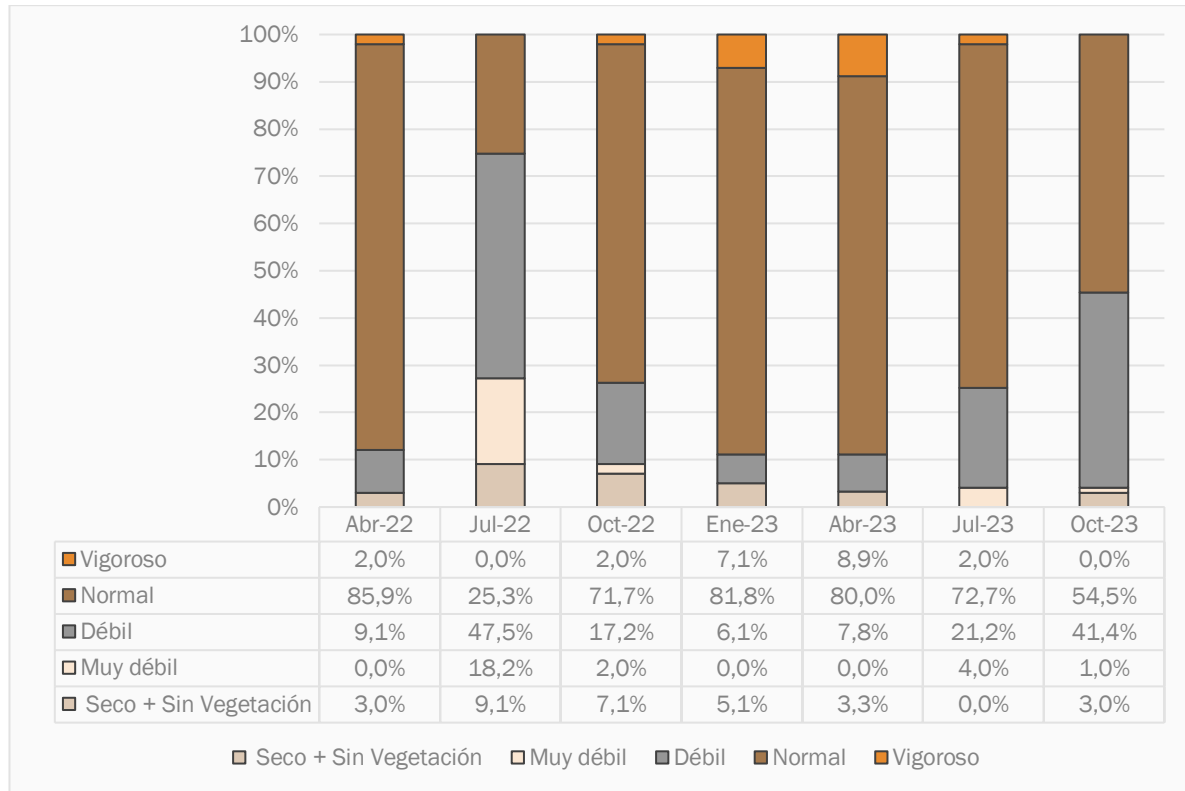
6.1.1.3 Monitoreo trimestral de la vegetación

6.1.1.3.1 Análisis de las caracterizaciones de terreno

- Estado vital

Respecto al estado vital de los puntos (99) presentes en el borde este del Salar de Atacama, en la Tabla 6-5 se registra la variación histórica que han tenido éstas desde abril 2022 hasta octubre 2023. En general, el promedio más alto se registra en la categoría Normal con un 67,4% ± 21,2%. El valor máximo se registró en la campaña de abril 2022, cuyo valor fue de 85,9% (85 polígonos). La categoría Débil registra un promedio de 21,5% ± 16,7%. El valor máximo se registró en la campaña de Julio 2022 con un valor de 47,5% (47 polígonos). Las categorías Seco, Muy débil y Excepcionalmente vigoroso registran promedios bajos con valores de 4,3%, 3,6% y 3,0% respectivamente. La categoría Seco registra un valor máximo de 9,1% (9 polígonos) en julio 2022, mientras que la categoría Muy débil registra un valor máximo de 18,2% en el mismo período (julio 2022). La categoría Excepcionalmente vigoroso registra un valor máximo de 8,9% (8 polígonos) en la campaña de abril 2023. Al comparar el período actual (2023) con el período anterior (2022), se observa que aumentó el promedio de las categorías Normal y Excepcionalmente vigoroso, con un diferencial positivo de 11,3% y 3,1% respectivamente, mientras que los promedios de las categorías Débil, Muy débil y Seco disminuyeron con un diferencial de 5,5%, 5,4% y 3,5% respectivamente.

Figura 6-5. Evolución temporal del estado vital de las unidades de vegetación periodo abril 2022 – octubre 2023

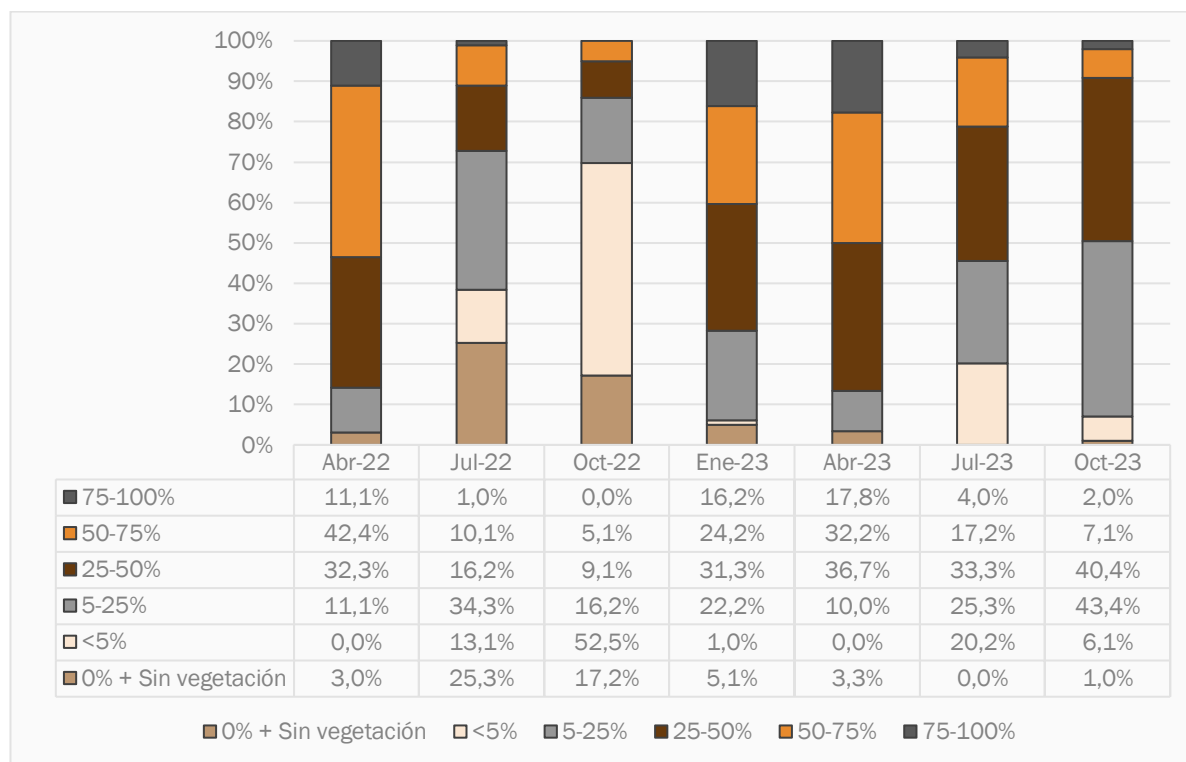


Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

- Porcentaje de copa viva

Respecto al porcentaje de follaje verde en los puntos (99) presentes en el borde este del Salar, la Tabla 6-6 presenta la variación histórica de éstas desde abril 2022 hasta octubre 2023. En general, el promedio más alto se registró en el rango de copa 25-50% con un 28,5% ± 11,4%. El valor máximo se registró en la campaña de octubre 2023 con un valor de 40,4% (40 polígonos). El rango de copa 5-25% registró un promedio acumulado de 23,2% ± 12,3%, mientras que el valor máximo también se registró en octubre 2023 (40,4%; 43 polígonos). El rango de copa 50-75% registró un promedio acumulado de 19,8% ± 13,9%, mientras que el valor máximo se reportó en abril 2022 (42,4%; 42 polígonos). El rango de copa <5% registra un promedio acumulado de 13,3% ± 18,9% y el valor máximo se registró en octubre 2022 con un valor de 52,5% (52 polígonos). La categoría 0% + sin vegetación registra un promedio acumulado de 7,8% ± 9,6% y el valor máximo se registró en julio 2022 (25,3%; 25 polígonos). Finalmente, el rango de copa viva 75-100% registra un promedio acumulado de 7,4% ± 7,5%, y el valor máximo se registró en abril 2023 con un 17,8% (16 polígonos). Al comparar el período actual (2023) con el período anterior (2022), se observa un aumento en el promedio acumulado de la categoría 25-50% con un diferencial positivo de 16,2% respecto al período 2022, mientras que el rango 75-100% también aumentó su promedio con un diferencial positivo de 6,0%. Las categorías <5% y 0% disminuyeron sus promedios con un diferencial de 15,1% y 12,8% respectivamente.

Figura 6-6. Evolución temporal del porcentaje de copa viva de las unidades de vegetación periodo abril 2022 – octubre 2023

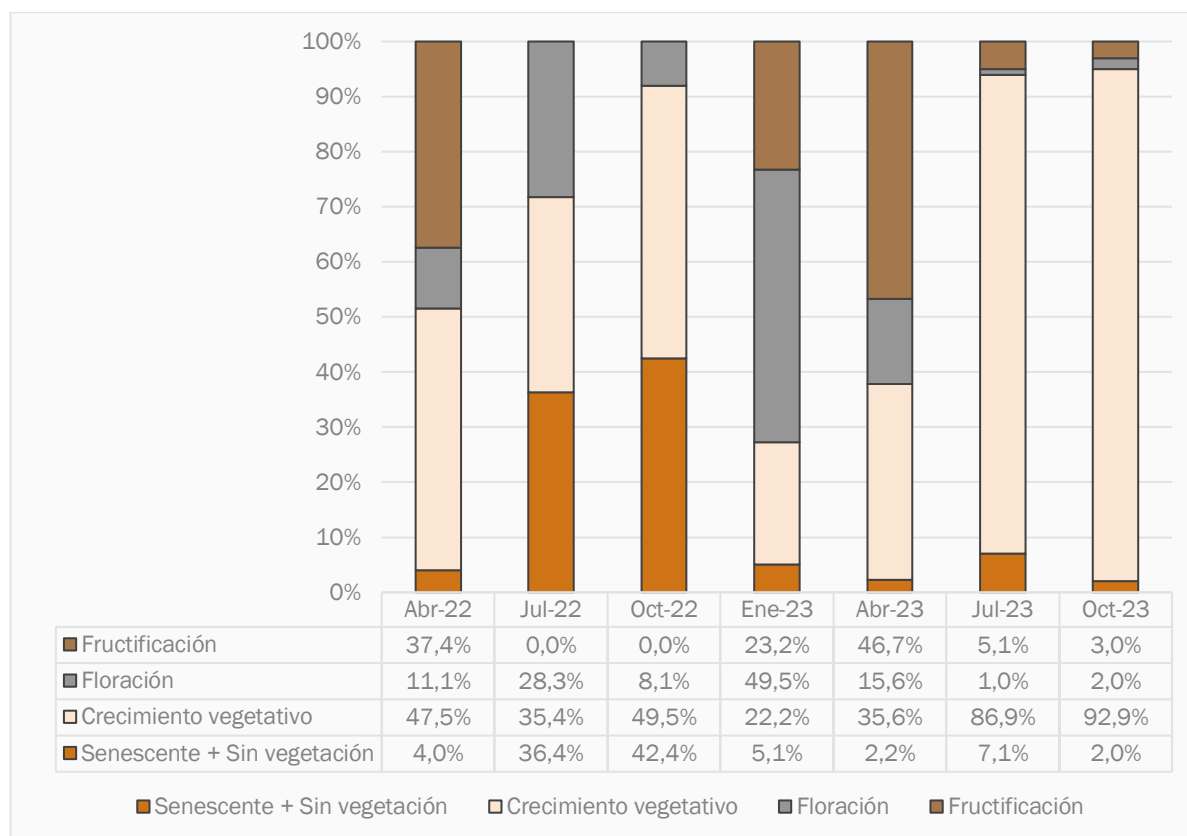


Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

- Fenología

Respecto al estado fenológico de los puntos (99) ubicados en el borde este del Salar, la Tabla 6-7 presenta la variación histórica de éstas desde abril 2022 hasta octubre 2023. Tal como se observa en la tabla, la categoría Crecimiento vegetativo es la que mayor número de polígonos registra, acumulando a la fecha un promedio de $52,8\% \pm 6,2\%$, mientras que el valor máximo se registró en octubre 2023 con un $92,9\%$ (92 polígonos). La categoría Floración y Fructificación acumulan el mismo promedio ($16,5\% \pm 8,9\%$ y $16,5\% \pm 17,6\%$ respectivamente). El valor máximo reportado en la categoría Floración se registra en la campaña de enero 2023 con un $49,5\%$ (49 polígonos), mientras que la categoría Fructificación registró el valor máximo en la campaña de abril 2023 con un $46,7\%$ (42 polígonos). Finalmente, la categoría Senescente + Sin vegetación registra un promedio acumulado de $14,2\% \pm 16,8\%$, mientras que el valor máximo se registró en octubre 2022 con un valor de $42,4\%$ (42 polígonos). Al comparar el período actual (2023) con el período anterior (2022), se observa que la categoría Senescente disminuyó su promedio acumulado con un diferencial negativo de $23,5\%$, mientras que la categoría Crecimiento vegetativo y Fructificación aumentaron su promedio con un diferencial de $15,3\%$ y $7,0\%$ respectivamente.

Figura 6-7. Evolución temporal de la fenología de las unidades de vegetación periodo abril 2022 – octubre 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.2 Monitoreo vegetación en zona de conexión vegetación - acuífero

La siguiente sección recopila los resultados históricos obtenidos en los puntos de monitoreo distribuidos en la zona de conexión vegetación – acuífero para las variables contempladas según la RCA 226/2006, los que se analizan en detalle a continuación.

6.1.2.1 Especies dominantes

De acuerdo con los datos obtenidos de las campañas realizadas desde el año 2006 al 2023, las especies dominantes en el mes de enero en los puntos de monitoreo se mantienen constantes en tres especies: *Tessaria absinthioides*, *Distichlis spicata* y *Atriplex atacamensis*.

Tal como se muestra en la Tabla 6-3, se confirma el dominio de las tres especies, siendo *T. absinthioides* la más común, seguido de *D. spicata* y finalizando con *A. atacamensis*.

Estas tres especies también son observadas como especies acompañantes, es decir, cuando no se encuentran como especie dominante, igualmente es posible observarlas en las unidades descritas, pero con una cobertura vegetal inferior al 5%. En este caso, la herbácea *Distichlis spicata* se posiciona como la especie acompañante más frecuente, seguida de *Atriplex atacamensis* y finalizando con *Tessaria absinthioides*.

Tabla 6-3. Frecuencia acumulada de especies dominantes en los 19 puntos de monitoreo de la Zona de conexión vegetación – acuífero en el mes de enero 2007 - 2023

Años de monitoreo	Dominantes			Acompañantes		
	<i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i>	<i>Distichlis spicata</i>	<i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i>	<i>Distichlis spicata</i>
2007	-	-	-	-	-	-
2008	19	3	14	0	2	0
2009	19	4	13	0	2	1
2010	18	5	8	1	0	6
2011	18	6	9	1	1	5
2012	19	3	9	0	1	4
2013	19	4	9	0	1	5
2014	19	2	3	0	3	7
2015	18	1	6	1	4	7
2016	19	3	7	0	3	7
2017	18	6	6	1	1	2
2018	19	2	5	0	4	8
2019	19	2	2	0	0	3
2020	16	2	6	3	0	0
2021	17	3	8	0	0	0

Tabla 6-3. Frecuencia acumulada de especies dominantes en los 19 puntos de monitoreo de la Zona de conexión vegetación – acuífero en el mes de enero 2007 - 2023

Años de monitoreo	Dominantes			Acompañantes		
	<i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i>	<i>Distichlis spicata</i>	<i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i>	<i>Distichlis spicata</i>
2022	18	4	8	1	1	6
2023	17	2	9	0	3	4

El primer levantamiento de información sobre la zona de conexión vegetación acuífero se realizó en abril del 2007 en el marco de la Adenda III del Proyecto. Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023.

En el mes de abril, *T. absinthioides* es la especie más frecuente, registrándose en la mayor parte de los puntos de monitoreo desde el 2007 hasta la fecha (Tabla 6-4). Le sigue *D. spicata*, presente en un máximo histórico de 13 puntos de muestreo (en el año 2009) y un mínimo de 2 puntos en los años 2019 y 2020. Finalmente, la especie dominante con menor frecuencia corresponde a *A. atacamensis*, la cual se encontró en un máximo de 6 puntos en el año 2017 y un mínimo de 0 muestras en los años 2022 y 2023. Sin embargo, cabe destacar que, si bien en esos años no se presentó como especie dominante, sí se observó como especie acompañante en 4 puntos el 2022 y 2 puntos el 2023.

Por otra parte, dentro de las especies acompañantes, *Distichlis spicata* es la especie con mayor frecuencia en los puntos de monitoreo (Tabla 6-4), seguida por *Atriplex atacamensis* y, en menor medida, *Tessaria absinthioides*. Cabe mencionar, que la baja frecuencia de esta última especie como especie acompañante resulta esperable dado que se encuentra como dominante en la mayor parte de los puntos de monitoreo (Tabla 6-3).

Tabla 6-4. Frecuencia acumulada de especies dominantes en los 19 puntos de monitoreo de la Zona de conexión vegetación – acuífero en el mes de abril 2007 - 2023

Años de monitoreo	Dominantes			Acompañantes		
	<i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i>	<i>Distichlis spicata</i>	<i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i>	<i>Distichlis spicata</i>
2007	18	2	5	1	2	8
2008	18	1	9	1	2	3
2009	19	3	13	0	2	1
2010	19	2	5	0	4	8
2011	18	1	7	1	3	8
2012	19	3	9	0	1	4
2013	18	3	8	0	1	5
2014	18	2	5	1	2	7
2015	18	3	6	1	1	7

Tabla 6-4. Frecuencia acumulada de especies dominantes en los 19 puntos de monitoreo de la Zona de conexión vegetación – acuífero en el mes de abril 2007 - 2023

Años de monitoreo	Dominantes			Acompañantes		
	Tessaria absinthioides	Atriplex atacamensis	Distichlis spicata	Tessaria absinthioides	Atriplex atacamensis	Distichlis spicata
2016	18	2	6	1	3	7
2017	18	6	6	0	1	3
2018	19	2	5	0	4	6
2019	18	2	2	1	0	4
2020	11	2	4	0	0	0
2021	17	1	8	2	2	0
2022	16	0	8	2	4	5
2023	17	0	6	1	2	7

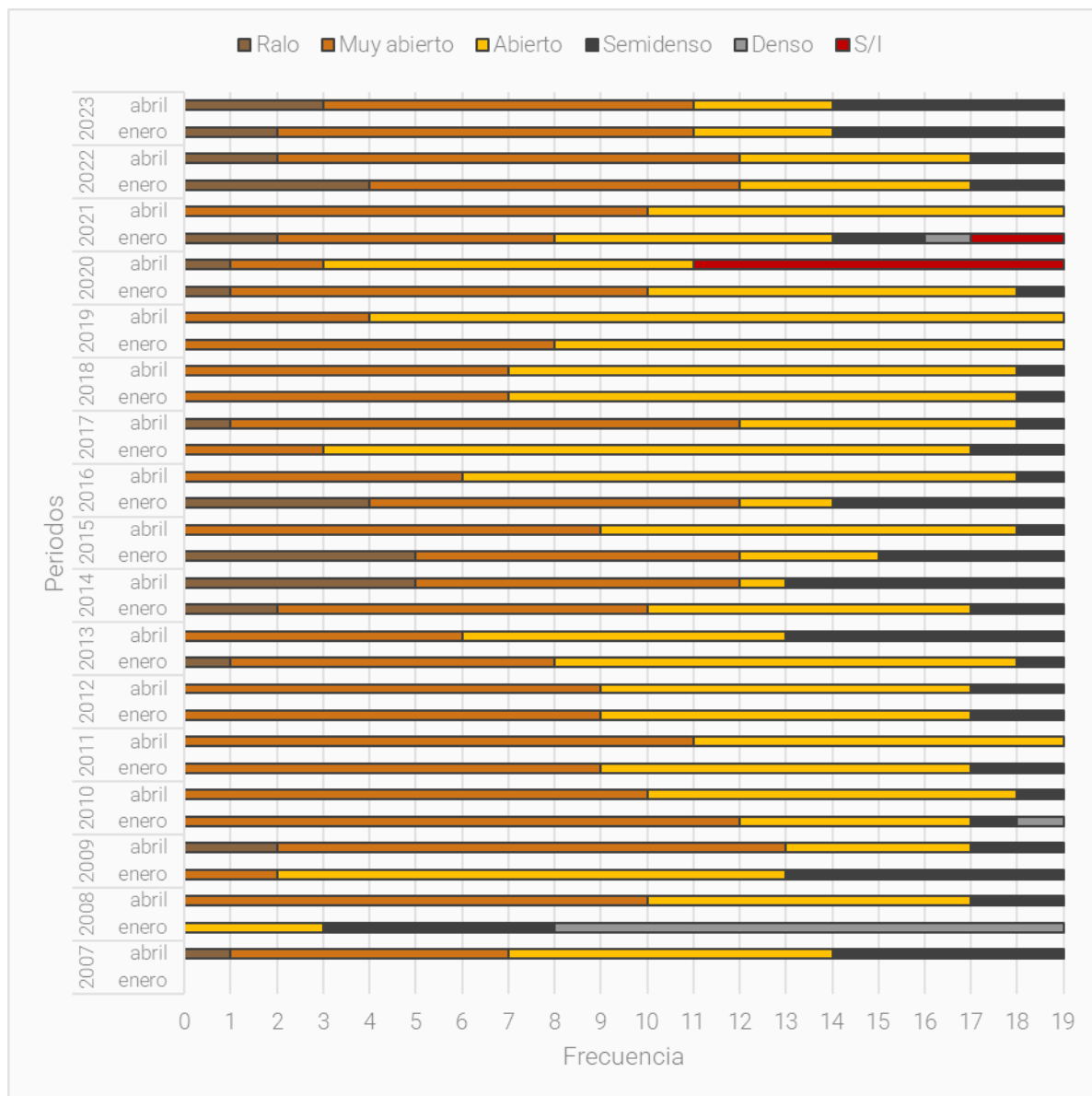
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Finalmente, cabe indicar que durante el monitoreo de abril de 2020 hubo 8 puntos de monitoreo (VA-01, VA-02, VA-05, VA-10, VA-11, VA-15, VA-18 y VA-19) que no pudieron ser visitados en terreno dado que se emplazan en o cercanos a los límites de la RN Los Flamencos, la cual estuvo sin acceso en el momento del monitoreo. Además, en enero del año 2021 no se monitorearon los puntos VA-01 y VA-02, ubicados en las inmediaciones del camino al Centro Turístico de Laguna Chaxa, al cual se accede previa autorización de CONAF.

6.1.2.2 Cobertura vegetacional

Los resultados presentados en la Tabla 6-5 y Figura 6-8, muestran la evolución de la cobertura medida en los puntos de monitoreo en el tiempo. Se observa que, desde los primeros monitoreos, la cobertura se ha distribuido mayoritariamente en las categorías de muy abierto y abierto (equivalentes a 10 – 25% y 25 – 50% de cobertura vegetal, respectivamente), con un promedio histórico del 78,5% de los puntos en ambas categorías. En estas categorías, no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los meses de enero y abril (valor p categoría muy abierto = 0,228; valor p categoría abierto = 0,791). Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-8 Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de cobertura. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Si bien las categorías de cobertura muy abierta y abierta han presentado variabilidad en el tiempo, no se observan tendencias en el tiempo para ninguna de estas. Algo similar ocurre con la categoría semidensa (50 – 75% de cobertura), correspondiente a la tercera proporción promedio del total de muestras, presentando una gran variabilidad en el tiempo, sin observarse tendencias en ninguno de los meses de monitoreo.

Cabe mencionar que, en la campaña de enero de 2009, se observan descripciones vegetacionales concentradas en las categorías de coberturas semidensa (50 – 75% de recubrimiento) y densa (75 – 100% de recubrimiento), siendo el único periodo en donde la categoría dominante correspondió a la cobertura densa.

Esta categoría se identificó nuevamente en una (1) muestra de enero de 2010 y enero de 2021. Es necesario indicar que, en estos periodos no se han producido aumentos en las precipitaciones u otras condiciones que hayan favorecido el recubrimiento de plantas, por lo que probablemente estos aumentos responderían a la naturaleza cualitativa de la variable y del criterio del observador al realizar el monitoreo.

Para el año 2023, se observa el predominio de la cobertura muy abierta para ambos meses de monitoreo, con el 47,4% y 42,1% del total de puntos en esta categoría para enero y abril, respectivamente, lo que se encuentra dentro de los rangos observados históricamente. Por su parte, la cobertura semidensa corresponde a la segunda con mayor frecuencia de puntos, presentando el 26,3% de los puntos en ambos meses.

Tabla 6-5. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de cobertura. Campañas abril 2007, enero – abril de 2008 – 2023

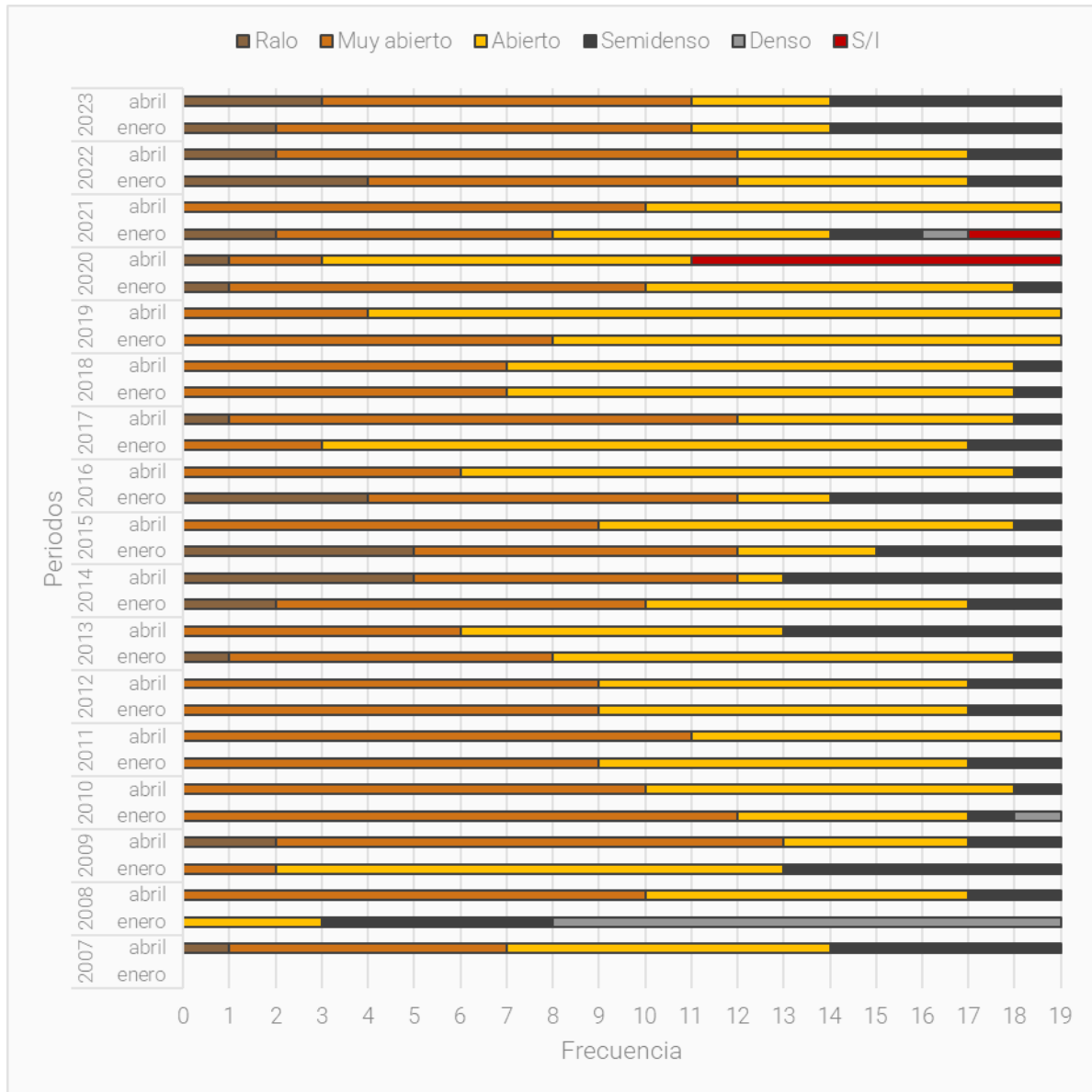
AÑO	MES	S/I	Categorías de cobertura						Total
			ZVE (<5%)	Ralo	Muy abierto	Abierto	Semidenso	Denso	
2007	abril	0	0	1	6	7	5	0	19
2008	enero	0	0	0	0	3	5	11	19
	abril	0	0	0	10	7	2	0	19
2009	enero	0	0	0	2	11	6	0	19
	abril	0	0	2	11	4	2	0	19
2010	enero	0	0	0	12	5	1	1	19
	abril	0	0	0	10	8	1	0	19
2011	enero	0	0	0	9	8	2	0	19
	abril	0	0	0	11	8	0	0	19
2012	enero	0	0	0	9	8	2	0	19
	abril	0	0	0	9	8	2	0	19
2013	enero	0	0	1	7	10	1	0	19
	abril	0	0	0	6	7	6	0	19
2014	enero	0	0	2	8	7	2	0	19
	abril	0	0	5	7	1	6	0	19
2015	enero	0	0	5	7	3	4	0	19
	abril	0	0	0	9	9	1	0	19
2016	enero	0	0	4	8	2	5	0	19
	abril	0	0	0	6	12	1	0	19
2017	enero	0	0	0	3	14	2	0	19
	abril	0	0	1	11	6	1	0	19
2018	enero	0	0	0	7	11	1	0	19

Tabla 6-5. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de cobertura. Campañas abril 2007, enero – abril de 2008 – 2023

AÑO	MES	S/I	Categorías de cobertura						Total
			ZVE (<5%)	Ralo	Muy abierto	Abierto	Semidenso	Denso	
	abril	0	0	0	7	11	1	0	19
2019	enero	0	0	0	8	11	0	0	19
	abril	0	0	0	4	15	0	0	19
2020	enero	0	0	1	9	8	1	0	19
	abril	8	0	1	2	8	0	0	19
2021	enero	2	0	2	6	6	2	1	19
	abril	0	0	0	10	9	0	0	19
2022	enero	0	0	4	8	5	2	0	19
	abril	0	0	2	10	5	2	0	19
2023	enero	0	0	2	9	3	5	0	19
	abril	0	0	3	8	3	5	0	19

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-8 Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de cobertura. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.2.3 Vitalidad

Los resultados expuestos en la Tabla 6-6 y Figura 6-9 muestran la evolución de la vitalidad medida en los puntos de monitoreo en el tiempo. Al respecto, se observa que, la categoría de vitalidad normal es la dominante en ambos meses de monitoreo (promedio histórico enero = 14,25 puntos y promedio histórico abril = 13,29 puntos). Esta dominancia se ha mantenido constante a lo largo de los años de monitoreo, con excepción de años puntuales, como el año 2015 y 2017. En este caso, en el periodo 2015, las muestras tuvieron

una vitalidad mayoritariamente débil, lo que podría estar relacionado a un periodo de sequía consecutivo entre marzo de 2013 a enero de 2015. Por otro lado, en el periodo 2017, la mayor parte de las descripciones se catalogaron como vigorosas, coincidente con la alta acumulación de precipitaciones entre enero y febrero del mismo año.

Para el año 2023, se observa que la categoría de vitalidad dominante corresponde a la vitalidad normal en ambos meses, con valores que se encuentran dentro de los rangos observados en los monitoreos anteriores. En enero, se identificaron dos (2) muestras dentro de la categoría de vitalidad vigorosa, situación que ha sido poco frecuente dentro de los años de monitoreo y que siempre se ha dado en el mes de enero, correspondiente al mes en el que la especie dominante *Tessaria absinthioides* se encuentra en proceso fenológico de floración (característica que se incluye dentro de los criterios para identificar una unidad vegetacional como vigorosa. Cabe mencionar, que los resultados de esta categoría se encuentran dentro de los rangos históricos, por lo que no se apreciarían efectos no esperados.

Tabla 6-6. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de vitalidad. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023

Año de monitoreo	Mes de monitoreo	Categorías de vitalidad						Total
		Seco	Muy débil	Débil	Normal	Vigoroso	S/I	
2007	Abril	0	0	11	8	0	0	19
2008	Enero	0	0	6	13	0	0	19
	Abril	0	2	10	7	0	0	19
2009	Enero	0	0	1	18	0	0	19
	Abril	0	0	1	18	0	0	19
2010	Enero	0	0	0	19	0	0	19
	Abril	0	0	1	18	0	0	19
2011	Enero	0	0	0	19	0	0	19
	Abril	0	0	2	17	0	0	19
2012	Enero	0	0	0	19	0	0	19
	Abril	0	0	1	18	0	0	19
2013	Enero	0	0	0	19	0	0	19
	Abril	0	0	2	17	0	0	19
2014	Enero	0	0	0	18	1	0	19
	Abril	0	0	0	19	0	0	19
2015	Enero	0	5	14	0	0	0	19
	Abril	0	1	18	0	0	0	19
2016	Enero	0	0	1	18	0	0	19
	Abril	0	0	2	17	0	0	19

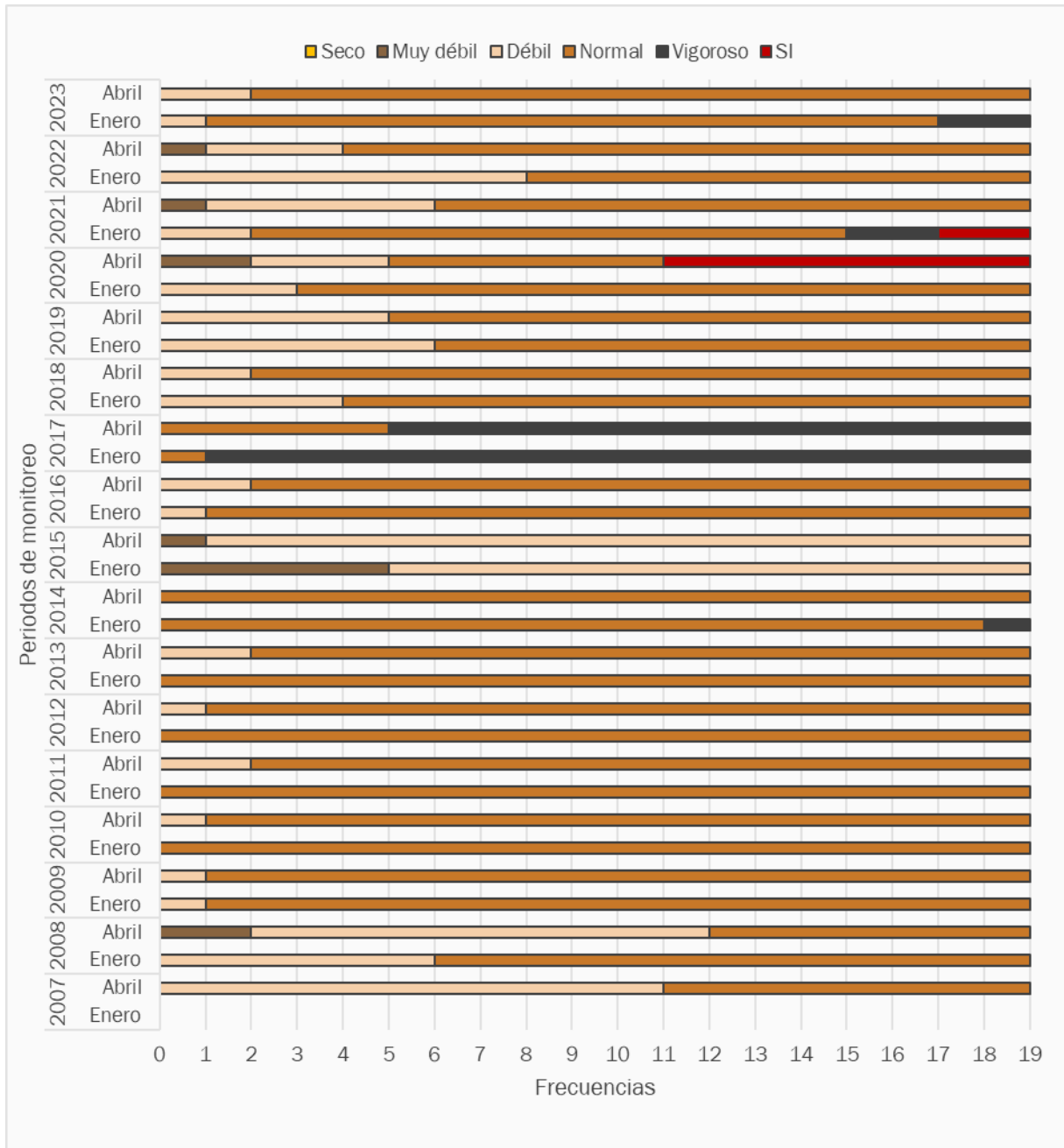
Tabla 6-6. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de vitalidad. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023

Año de monitoreo	Mes de monitoreo	Categorías de vitalidad						Total
		Seco	Muy débil	Débil	Normal	Vigoroso	S/I	
2017	Enero	0	0	0	1	18	0	19
	Abril	0	0	0	5	14	0	19
2018	Enero	0	0	4	15	0	0	19
	Abril	0	0	2	17	0	0	19
2019	Enero	0	0	6	13	0	0	19
	Abril	0	0	5	14	0	0	19
2020	Enero	0	0	3	16	0	0	19
	Abril	0	2	3	6	0	8	19
2021	Enero	0	0	2	13	2	2	19
	Abril	0	1	5	13	0	0	19
2022	Enero	0	0	8	11	0	0	19
	Abril	0	1	3	15	0	0	19
2023	Enero	0	0	1	16	2	0	19
	Abril	0	0	2	17	0	0	19

S/I: Si información

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-9. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión - acuífero. Categorías de vitalidad. Campañas abril 2007, enero - abril de 2008 – 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.2.4 Porcentaje de copa viva

La Tabla 6-7 y

Figura 6-10, muestran la evolución en el tiempo del porcentaje de copa viva en las descripciones de vegetación de la zona de conexión vegetación – acuífero. Tal como se ilustra en la Figura 6-10, en general se observa que, en el mes de enero las plantas presentan un mayor porcentaje de copa viva, posicionándose dentro las tres categorías con mayor porcentaje de copa viva, en donde la categoría de 25 – 50% posee en promedio para el mes de enero el 35,53% de los puntos, seguida de la categoría 50 – 75% con 34,21% del total de puntos y, finalmente, la categoría de 75 – 100% con el 19,74% del total de puntos para este mes. Por otra parte, para el mes de abril, el promedio histórico indica que la mayoría de los puntos se presenta dentro de la categoría de 25 – 50% de cobertura, con el 52,94% del total, mientras que el resto de los puntos se concentraría principalmente en la categoría de 50 – 75% con el 26,93% del total. Durante el mes de abril, los promedios históricos indican una baja proporción de puntos para la categoría de 75 – 100% de copa verde.

Las frecuencias observadas para este periodo (2023), se encuentran dentro de los valores históricos, por lo tanto, no se verifican efectos no esperados en la zona de conexión de la vegetación con el acuífero. En ambos meses, predominan las categorías medias de copa viva (25 – 50% y 50 – 75%).

Tabla 6-7. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Porcentaje de copa viva. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023

Año de monitoreo	Mes de monitoreo	Porcentaje de copa viva							Total
		0%	<5%	5-25%	25-50%	50-75%	75-100%	S/I	
2007	Abril	0	0	1	13	5	0	0	19
2008	Enero	0	0	1	7	7	4	0	19
	Abril	0	0	7	12	0	0	0	19
2009	Enero	0	0	0	6	7	6	0	19
	Abril	0	0	0	6	13	0	0	19
2010	Enero	0	0	0	3	7	9	0	19
	Abril	0	0	3	6	8	2	0	19
2011	Enero	0	0	0	0	0	19	0	19
	Abril	0	0	3	11	5	0	0	19
2012	Enero	0	0	0	6	8	5	0	19
	Abril	0	0	0	11	8	0	0	19
2013	Enero	0	0	0	6	13	0	0	19
	Abril	0	0	5	11	3	0	0	19
2014	Enero	0	0	2	12	4	1	0	19
	Abril	0	0	0	16	3	0	0	19
2015	Enero	0	0	8	11	0	0	0	19
	Abril	0	0	1	13	5	0	0	19

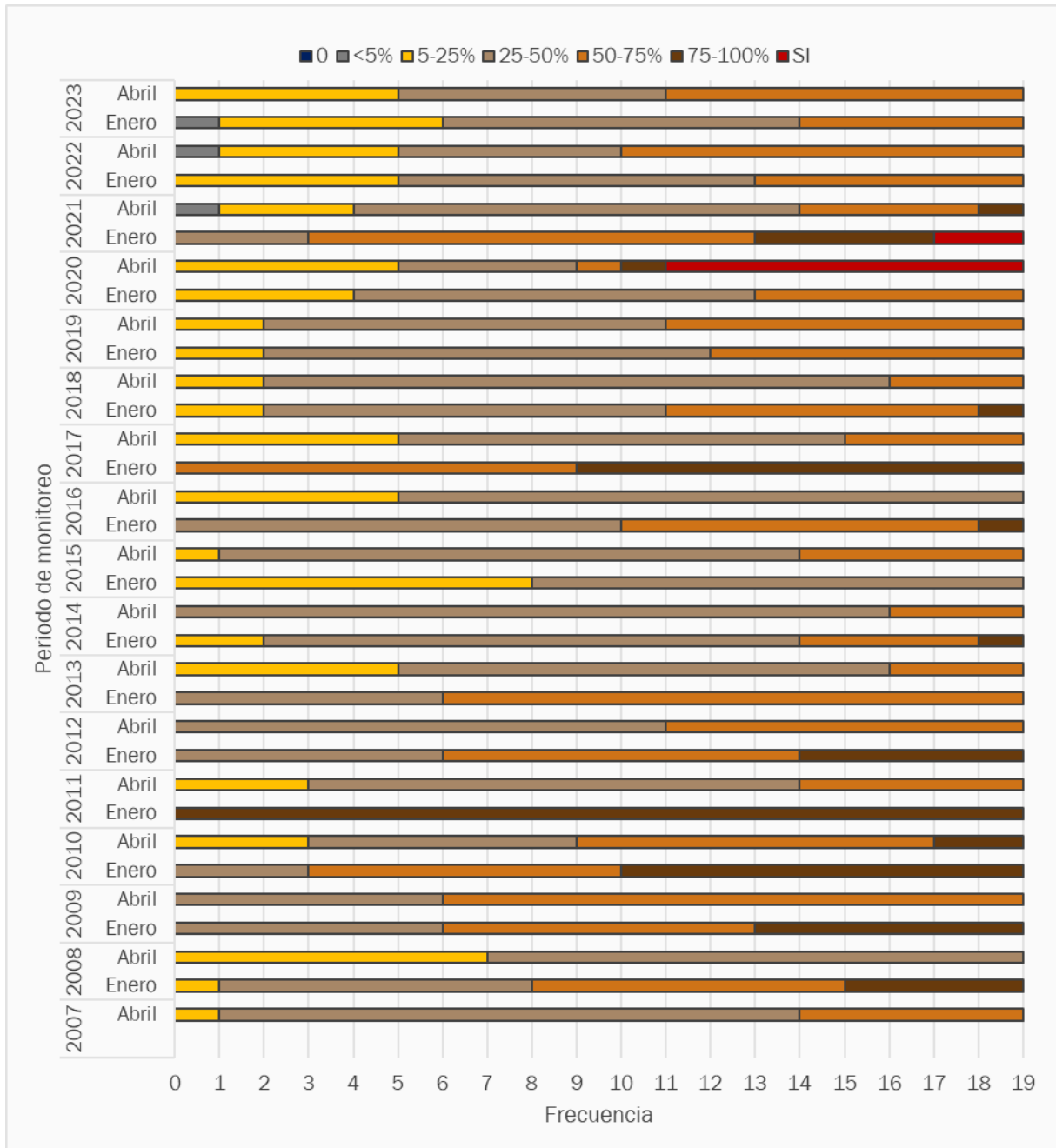
Tabla 6-7. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Porcentaje de copa viva. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023

Año de monitoreo	Mes de monitoreo	Porcentaje de copa viva							Total
		0%	<5%	5-25%	25-50%	50-75%	75-100%	S/I	
2016	Enero	0	0	0	10	8	1	0	19
	Abril	0	0	5	14	0	0	0	19
2017	Enero	0	0	0	0	9	10	0	19
	Abril	0	0	5	10	4	0	0	19
2018	Enero	0	0	2	9	7	1	0	19
	Abril	0	0	2	14	3	0	0	19
2019	Enero	0	0	2	10	7	0	0	19
	Abril	0	0	2	9	8	0	0	19
2020	Enero	0	0	4	9	6	0	0	19
	Abril	0	0	5	4	1	1	8	19
2021	Enero	0	0	0	3	10	4	2	19
	Abril	0	1	3	10	4	1	0	19
2022	Enero	0	0	5	8	6	0	0	19
	Abril	0	1	4	5	9	0	0	19
2023	Enero	0	1	5	8	5	0	0	19
	Abril	0	0	5	6	8	0	0	19

S/I: Sin información

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-10. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de porcentaje de copa viva. Campañas abril 2007, enero – abril de 2008 – 2023.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.2.5 Estado fenológico

El estado fenológico registrado en los sectores monitoreados (Tabla 6-8 y Figura 6-11), muestra que en el mes de enero los individuos tienden a encontrarse en estado de floración (frecuencia promedio = 9,5 puntos) o iniciando el periodo de fructificación (frecuencia promedio = 7,38), mientras que en abril, se aprecia una concentración de ejemplares en estado de fructificación (frecuencia promedio = 13,82), lo que coincidiría con el ciclo fenológico anual de las especies.

Específicamente para el periodo que se reporta en este informe (2023), en el mes de enero los registros se encuentran dentro de los rangos históricos. Con respecto a la categoría de floración, esta coincide con el máximo histórico de 17 puntos, situación que también se había dado en los años 2008 y 2011. Por su parte, en el mes de abril la mayoría de los puntos se concentró en las categorías de crecimiento vegetativo (9 puntos) y fructificación (8 puntos), y tan sólo 2 puntos se encontraron en la categoría de floración, indicando que este proceso estaría llegando a su término.

Tabla 6-8. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Etapas fenológicas. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023

Año de monitoreo	Mes de monitoreo	Etapa fenológica					Total
		Senescente	Crecimiento	Floración	Fructificación	S/I	
2007	Abril	0	0	0	19	0	19
2008	Enero	0	2	17	0	0	19
	Abril	0	5	0	14	0	19
2009	Enero	0	2	9	8	0	19
	Abril	0	1	0	18	0	19
2010	Enero	0	0	1	18	0	19
	Abril	0	5	0	14	0	19
2011	Enero	0	1	17	1	0	19
	Abril	0	2	0	17	0	19
2012	Enero	0	1	15	3	0	19
	Abril	0	1	0	18	0	19
2013	Enero	0	0	6	13	0	19
	Abril	0	4	0	15	0	19
2014	Enero	0	3	8	8	0	19
	Abril	0	8	0	11	0	19
2015	Enero	0	2	0	17	0	19
	Abril	0	1	0	18	0	19
2016	Enero	0	0	0	19	0	19
	Abril	0	0	0	19	0	19

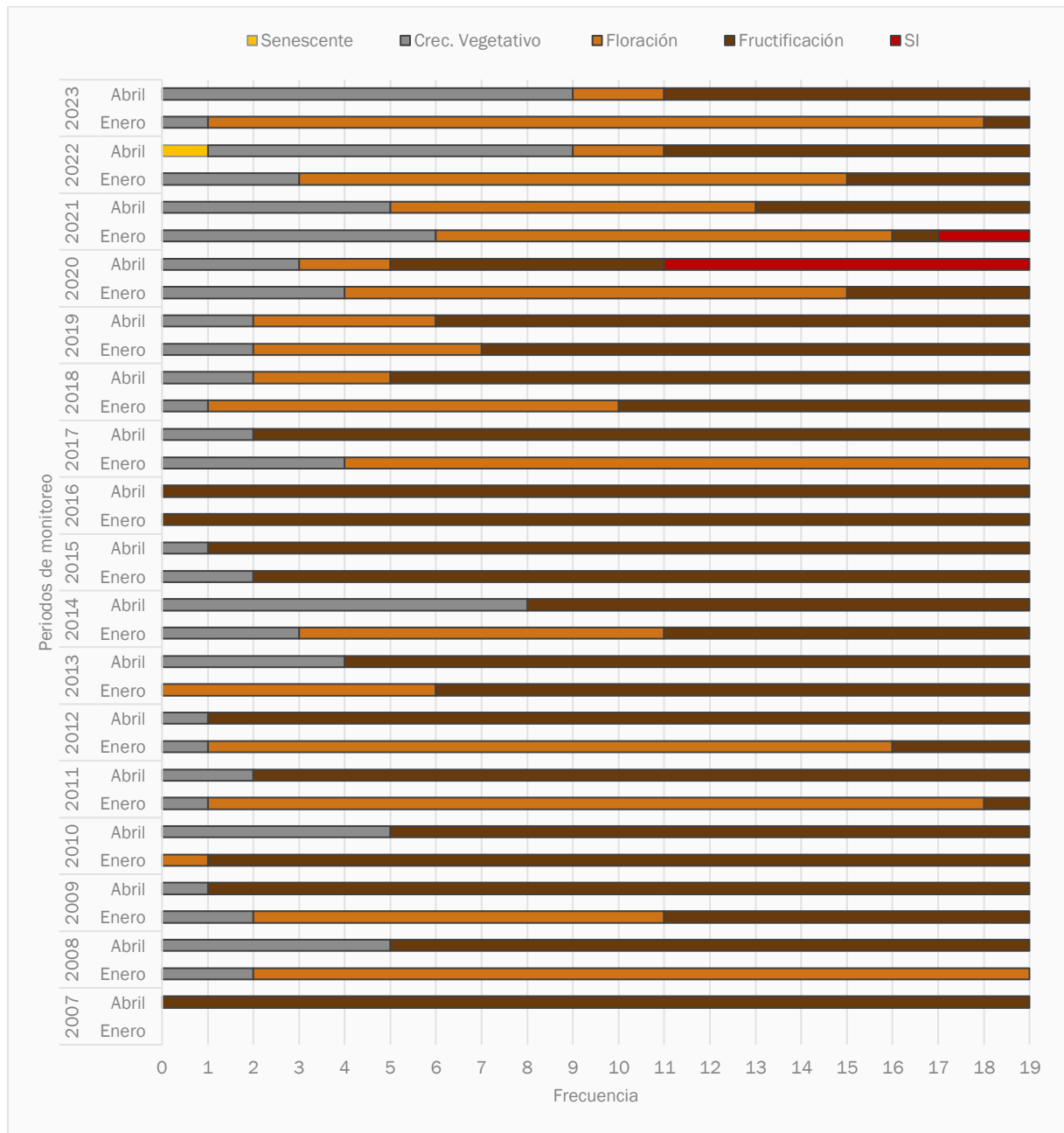
Tabla 6-8. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Etapas fenológicas. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2023

Año de monitoreo	Mes de monitoreo	Etapa fenológica					Total
		Senescente	Crecimiento	Floración	Fructificación	S/I	
2017	Enero	0	4	15	0	0	19
	Abril	0	2	0	17	0	19
2018	Enero	0	1	9	9	0	19
	Abril	0	2	3	14	0	19
2019	Enero	0	2	5	12	0	19
	Abril	0	2	4	13	0	19
2020	Enero	0	4	11	4	0	19
	Abril	0	3	2	6	8	19
2021	Enero	0	6	10	1	2	19
	Abril	0	5	8	6	0	19
2022	Enero	0	3	12	4	0	19
	Abril	1	8	2	8	0	19
2023	Enero	0	1	17	1	0	19
	Abril	0	9	2	8	0	19

S/I: Sin información

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-11. Frecuencia de puntos de monitoreo en la zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de fenología. Campañas de abril 2007, enero – abril de 2008 – 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.3 Monitoreo de la Flora Vascular

En el siguiente acápite, se analiza y discute la riqueza y frecuencia de especies de flora para el periodo histórico (2006 – 2023), así como las mediciones de conductividad eléctrica y pH del suelo. Todos estos parámetros se describieron a partir de siete [7] transectos ubicados en el Borde Este del Salar de Atacama. Los transectos completan un total de 375 muestras para flora y 75 para suelo.

Adicionalmente, se aplica el protocolo de tendencias de variables ambientales elaborado por ECOS CHILE y que forma parte del Programa de Cumplimiento de SQM Salar S.A., aprobado por Res. Ex. N° 39/RoI F-041-2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente, para los parámetros riqueza y abundancia de especies, y pH y salinidad del suelo (Anexo 9. Protocolo de análisis de tendencias). Los análisis del comportamiento histórico de cada una de estas variables son descritos a continuación.

6.1.3.1 Riqueza de flora

Según Gajardo (1994), la cuenca del Salar de Atacama presenta grandes extensiones carentes de vegetación, a excepción de las comunidades desarrolladas en su borde este y sur. La presencia de vegetación está determinada por la existencia de una napa freática que proporciona la humedad suficiente para compensar el déficit hídrico provocado por las escasas precipitaciones (Luebert y Pliscoff, 2018). En algunas ocasiones, es posible registrar la presencia de plantas efímeras debido a que, durante la temporada de lluvias en el altiplano, el agua fluye por las quebradas y pequeñas hondonadas permitiendo la germinación de éstas. No obstante, esta situación es puntual, localizada y dependiente del régimen pluviométrico que tenga lugar cada año (Gajardo, 1994; Luebert y Pliscoff, 2018; Trivelli y Huerta, 2014). Estas plantas efímeras son conocidas con el vernáculo colectivo de pasto de lluvia o de temporal (Villagrán y Castro, 2004).

En la Tabla 6-9 se presenta el catálogo florístico del Borde Este del Salar de Atacama, donde es posible observar la riqueza en los años de monitoreo (2006 al 2023). En la tabla se observa que la riqueza se mantiene relativamente estable durante el periodo histórico, registrándose aumentos en la riqueza de especies, principalmente herbáceas, debido a episodios de lluvia en el altiplano. Esta condición se puede observar en el monitoreo de los años 2012 y 2019, periodo en el que se registró un total de 30 y 35 especies respectivamente. Esta situación estaría directamente relacionada con las intensas precipitaciones estivales, que para el caso del año 2019 representan a la máxima precipitación desde que se realiza el Plan de Seguimiento (212 mm según la estación Camar de la Dirección General de Aguas).

Tabla 6-9. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio. Campañas 2006 a 2022.

Nombre Científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
<i>Adesmia rahmeri</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	
<i>Agrostis sp.</i>	Poaceae	Hierba anual	Indeterminado	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Allionia incarnata</i>	Boraginaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	
<i>Aloysia deserticola</i>	Verbenaceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X(*)	X	X	X	X	X	X	X	X	X(*)
<i>Ambrosia artemisioides</i>	Asteraceae	Arbusto	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	
<i>Aristida adscensionis</i>	Poaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	
<i>Atriplex atacamensis</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	x	x	
<i>Atriplex glaucescens</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Atriplex imbricata</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X(*)	X(*)	X(*)	X	X	-	X	X	x	
<i>Atriplex madariagae</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Baccharis juncea</i>	Asteraceae	Hierba perenne	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X(*)	X	X	X	X	X	X	X	x	
<i>Cistanthe amarantoides</i>	Montiaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	
<i>Cistanthe celosioides</i>	Montiaceae2	Hierba anual	Endémico	X(*)	X(*)	-	-	-	X(*)	X(*)	X(*)	-	-	-	-	-	X	X	X	-	X(*)	
<i>Cistanthe salsoloides</i>	Montiaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X(*)	
<i>Cortaderia jubata</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cristaria dissecta var. Dissecta</i>	Malvaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X(*)	
<i>Cryptantha diffusa</i>	Boraginaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	
<i>Descurainia stricta</i>	Brassicaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Distichlis spicata</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	x	
<i>Ephedra multiflora</i>	Ephedraceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X(*)	X(*)	X	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	x	
<i>Eragrostis nigricans Var. punensis</i>	Poaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	

Tabla 6-9. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio. Campañas 2006 a 2022.

Nombre Científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<i>Euphorbia amandi</i>	Euphorbiaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-
<i>Exodeconus integrifolius</i>	Solanaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	X	X(*)	X	-	-	-	X(*)
<i>Festuca rigescens</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Hoffmannseggia doellii</i> ssp. <i>Doellii</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-	-	-	-	-	X(*)	X(*)	-	-	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	-	-	-	-
<i>Juncus balticus</i> ssp. <i>Mexicanus</i>	Juncaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Linum usitatissimum</i>	Linaceae	Hierba anual	Adventicio	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lupinus oreophilus</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-
<i>Lupinus subinflatus</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lycium humile</i>	Solanaceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Maihueniopsis aff. atacamensis</i>	Cactaceae	Suculento	Endémico	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Muhlenbergia asperifolia</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Munroa decumbens</i>	Poaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-
<i>Neuontobotrys tarapacana</i>	Brassicaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-
<i>Nitrophila atacamensis</i>	Chenopodiaceae	Hierba anual	Endémico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Phragmites australis</i>	Poaceae	Hierba perenne	Adventicio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)
<i>Prosopis chilensis</i>	Fabaceae	Árbol	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-
<i>Puccinellia frígida</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X(*)	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-
<i>Sarcocornia andina</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X
<i>Schoenoplectus americanus</i>	Cyperaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Tarasa operculata</i>	Malvaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	-	-
<i>Tessaria absinthioides</i>	Asteraceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 6-9. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio. Campañas 2006 a 2022.

Nombre Científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<i>Tiquilia atacamensis</i>	Boraginaceae	Arbusto	Endémico	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X	X(*)	X(*)	X(*)	X	X	X(*)	X	X	X(*)	X(*)	x
<i>Tiquilia paronychioides</i>	Boraginaceae	Arbusto	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
<i>Tribulus terrestris</i>	Zigophyllaceae	Hierba anual	Adventicio	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X(*)
<i>Trichocline caulescens</i>	Asteraceae	Hierba perenne	Endémico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)	-	-	-	-
<i>Triglochin concinna</i>	Juncaginaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X(*)	X	x
<i>Urocarpidium peruvianum</i>	Malvaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	Cyperaceae	Hierba perenne	Nativo	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	X(*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riqueza dentro de los puntos de muestreo				15	15	14	14	14	14	16	15	14	10	13	16	13	20	12	13	13	15
Riqueza fuera de los puntos de muestreo				8	8	7	8	8	9	14	4	2	5	3	3	4	14	1	3	2	8
Riqueza total				23	23	21	22	22	23	30	19	16	15	16	19	17	34*	13	16	15	23

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023.

De acuerdo con la Tabla anterior, y los resultados del seguimiento para el periodo 2023 se analiza lo siguiente:

- Respecto a la línea base del Proyecto (año 2006), la campaña 2023, posee una riqueza similar respecto al número de taxa dentro de los puntos de muestreo (15 taxa cada año), mientras que su composición se mantiene igual en 13 de las 15 especies registradas. En 2006 se registra a *Aloysia desertícola* y *Puccinellia frígida* dentro de las parcelas, la primera fue registrada fuera de parcela en 2023 y la segunda no fue registrada durante la campaña 2023. Por otra parte, en 2023 se registra dentro de parcela a *Tiquilia atacamensis* y *Tiquilia paronychioides*, la primera registrada fuera de parcela en la línea base y la segunda ausente en la campaña del 2006.
- En la campaña actual se registraron 15 taxa dentro de los puntos de muestreo, valor superior al promedio registrado entre 2006 y 2022 (14 taxa).
- En la campaña 2023 se identificaron ocho [8] taxa fuera de los puntos de muestreo, igualando en número a los registros de la Línea Base (año 2006). Respecto a la composición de esas especies, ambos registros (año 2023 y 2006) tienen en común solo un taxa (*Cistanthe celosioides*), los taxa restantes corresponden en su mayoría a pastos de lluvia o vegetación efímera.
- En la campaña 2023 se registraron dos especies anteriormente no descritas: *Tiquilia paronychioides* y *Allionia incarnata*.

Respecto a la variabilidad observada tanto dentro como fuera de los puntos de muestreo, se prevé que esta se pueda deber a las siguientes causas:

- Régimen pluviométrico del margen oriental de la cuenca del Salar de Atacama, inducido principalmente por las masas de aire provenientes de la cuenca amazónica, las que ocasionan precipitaciones entre diciembre y marzo (Fuenzalida, 1986). Lluvias que permiten la germinación de especies efímeras o “pastos de lluvia”, que dependiendo de la cantidad de agua caída permitiría la aparición de individuos o comunidades de especies, tal como lo son las praderas de *Cistanthe* o los matorrales de *Tiquilia*.
- Intervenciones antrópicas (extracción de biomasa) o animal, lo que podría causar la eliminación de ejemplares perennes dentro de los puntos de muestreo.

6.1.3.2 Frecuencia de flora

En esta sección se analizará la frecuencia de especies por transecto, considerando únicamente los registros dentro de parcela, para el periodo histórico 2006 – 2023.

6.1.3.2.1 Transecto 1 (TF-1)

Este transecto se compone por 19 puntos de muestreo distribuidos en la franja de vegetación este – oeste del margen oriental del Salar de Atacama (Figura 4-5), la riqueza registrada en la campaña actual alcanza los siete [7] taxa, lo que equivale a una [1] especie menos respecto a lo registrado en la Línea Base del Proyecto levantada en el año 2006 (Figura 6-12).

Respecto a la composición de especies, ambas campañas difieren en tres [3] taxa: *Lycium humile*, *Puccinellia frígida* y *Triglochin concinna*. Las dos primeras fueron registradas en la línea base del Proyecto. *L. humile* únicamente en el año 2006 y *P. frígida* en cinco [5] de los 17 años de monitoreo, mientras que la última (*T. concinna*) solo en cuatro [4] de los 17 años de monitoreo.

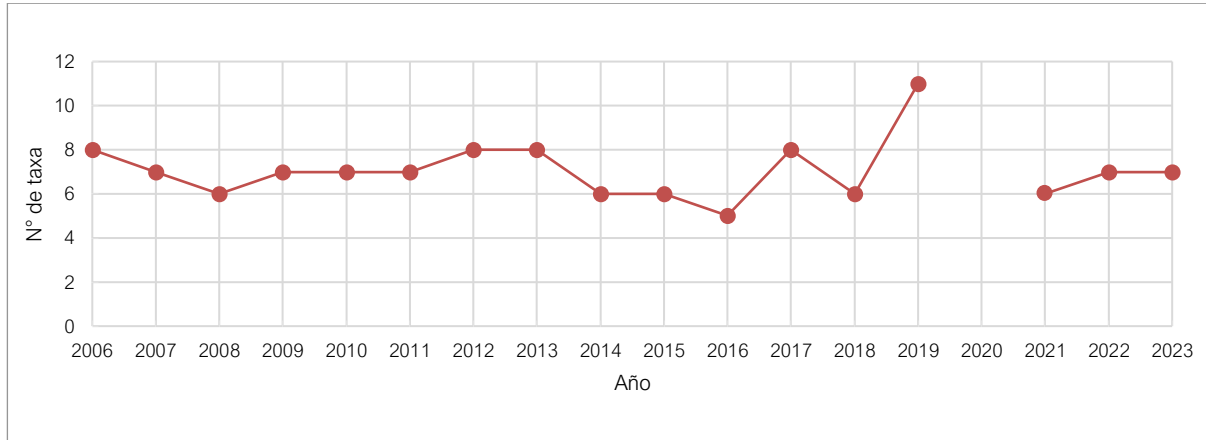
El mínimo se registró en el 2016 con cinco [5] taxa, mientras que el máximo se registró en el 2019 con 11 taxa. Se estima que estas fluctuaciones guardan relación con el régimen de precipitaciones, ya que el aumento de taxa registrados coincide con eventos de lluvias estivales (Figura 6-13). En particular, en 2019 se registraron especies que han sido poco frecuentes en el salar, tales como *Ambrosia artemisioides*, *Cistanthe celosioides*, *Cistanthe salsoloides*, *Exodeconus integrifolius*, *Tiquilia atacamensis* y *Triglochin concinna*.

En particular, en los años 2017 y 2019 la frecuencia promedio fue mayor a lo observado históricamente, en estos periodos también se registraron altos niveles de precipitaciones durante la época estival (Figura 6-13), producto del invierno altiplánico, llegando en 2019 al máximo histórico de los últimos 25 años con 212 mm. Las especies que aumentan el promedio de la riqueza durante los años lluviosos son mayoritariamente hierbas perennes y anuales, comúnmente denominadas pastos de lluvias. Los datos indicarían que esta proliferación de especies está ligada a las precipitaciones estivales, Según Gutiérrez (2008), los periodos cortos e infrecuentes de intensas lluvias aumentan la humedad del suelo, lo que regula el patrón de productividad de la biota del desierto. Por su parte, Holmgren *et al.* (2001) reportan que la fertilidad del suelo puede ser extremadamente alta posterior a eventos de precipitaciones abundantes, pudiendo sustentar una comunidad biótica rica, pero de corta duración. Por otra parte, diversos autores indican que las especies de plantas que responden a este tipo de eventos son en primer lugar hierbas anuales que se reproducen mediante semillas; en segundo lugar, hierbas perennes, que se reproducen a partir de estructuras morfológicas como bulbos, rizomas y cormos, y finalmente arbustos que se reproducen mediante el rebrote de tallos nuevos (Montesinos y Lazo, 2020).

Las especies más frecuentes en este transecto son *Distichlis spicata* y *Tessaria absinthioides*.

De acuerdo con los datos recopilados en terreno, se estima que la riqueza registrada en el TF-1 se encuentra dentro de los rangos históricos.

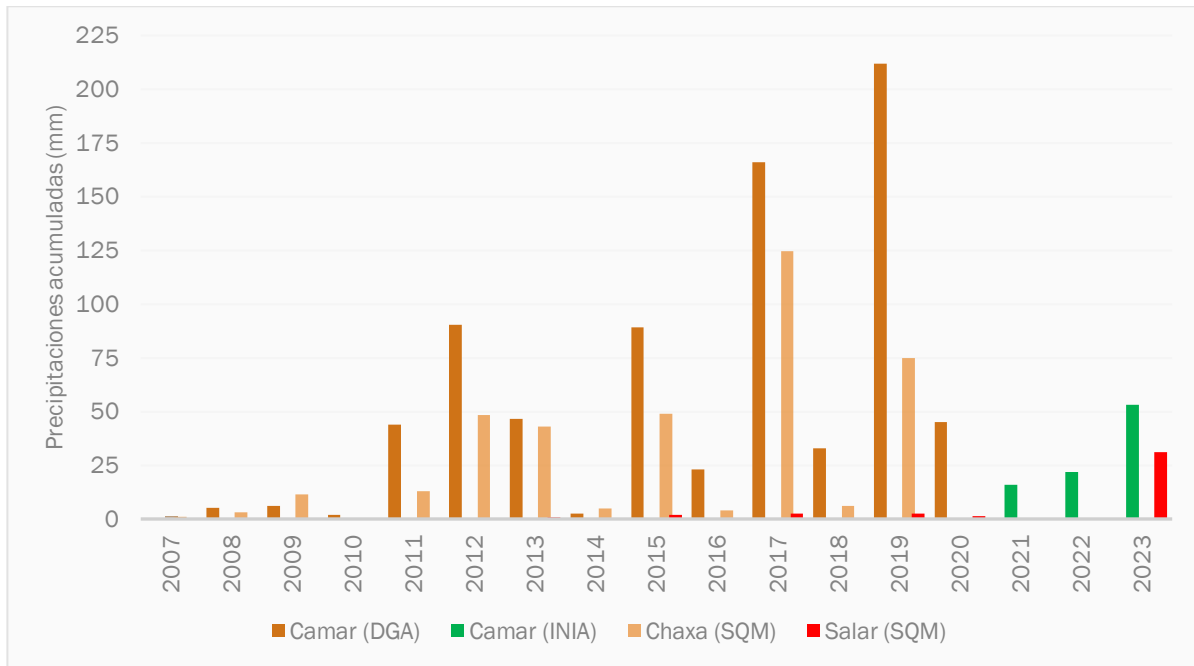
Figura 6-12. Riqueza florística en el transecto 1, periodo 2006 – 2023.



* En el año 2020 producto de la pandemia se prohibió el ingreso a áreas silvestres protegidas, por lo que el transecto de flora 1 no pudo ser monitoreado³⁷

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023.

Figura 6-13. Precipitaciones acumuladas en el periodo 2007 - 2023



Fuente: Elaboración propia, en base a información en línea de las estaciones Camar (DGA), Camar (INIA), Chaxa (SQM) y Salar (SQM), Geobiota 2023

³⁷ En el marco de la situación de emergencia sanitaria que enfrentó el país en el 2020, mediante Res. N° 160 y 162 de 2020, CONAF dispuso el cierre de las áreas silvestres protegidas bajo su administración, incluyendo la Reserva Nacional Los Flamencos. Dado lo anterior la campaña de monitoreo de ese año (2020) no se ejecutó en su totalidad. (Informe N° 14, PSAB abril 2020).

6.1.3.2.2 Transecto 2 (TR-2)

El TF-2, se compone de 14 puntos de muestreo distribuidos en la franja de vegetación este – oeste del margen oriental del Salar de Atacama (Figura 4-5), la riqueza registrada en la campaña actual 2023, alcanza los 11 taxa, lo que equivale a dos especies más que las reportadas en la Línea Base del Proyecto levantada en el año 2006 (Figura 6-12).

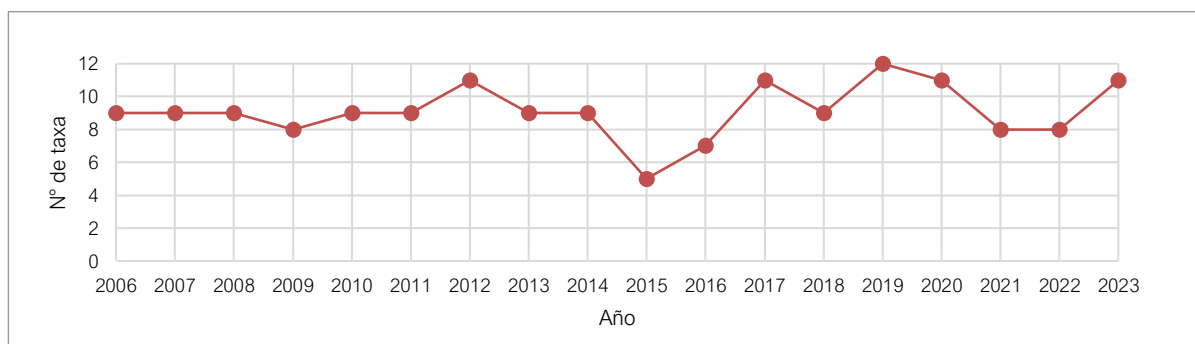
La composición de especies se ha mantenido constante o aumentado en el tiempo, registrándose en la actualidad a *Nitrophila atacamensis* y *Tiquillia atacamensis* dentro de las parcelas de monitoreo.

El mínimo se registró en el 2015 con cinco [5] taxa, mientras que el máximo se registró en el 2019 donde se catastraron 12 taxa. Al igual que en el TF-1, se cree que estas fluctuaciones guardan relación con el régimen de precipitaciones presente la zona. En particular, en el 2019 se registraron especies que han sido poco frecuentes en el salar, tales como *Cristaria dissecta* var. *Dissecta*, *Cistanthe celosioides*, *Tiquillia atacamensis* y *Urocarpidium peruvianum*.

Las especies más frecuentes en este transecto son *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*.

De acuerdo con los datos recopilados en terreno, se estima que la riqueza registrada en el transecto 2 se encuentra dentro de los rangos históricos.

Figura 6-14. Riqueza florística en el transecto 2, periodo 2006 – 2023.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023.

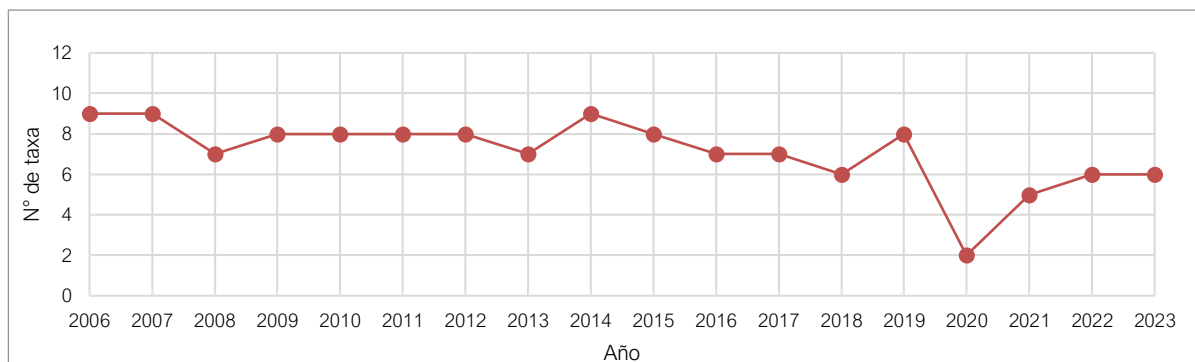
6.1.3.2.3 Transecto 3 (TF-3)

Más corto que los transectos anteriores, el TF-3, se compone de 10 puntos de muestreo distribuidos en la franja de vegetación este – oeste del margen oriental del Salar de Atacama (Figura 4-5), la riqueza registrada en la campaña actual (2023) alcanza los seis [6] taxa, lo que equivale a tres [3] especies menos que las reportadas en la Línea Base del Proyecto levantada en el 2006 (Figura 6-12).

La composición de especies ha variado entre los años de monitoreo, dejando de registrarse la especie *Aloysia desertícola*, *Festuca hypsophilla* y *Lycium humile*. Las últimas dos, con registros en años esporádicos en el periodo de monitoreo. Mientras que *A. desertícola*, deja de ser registrada dentro de parcela en el año 2014, pero con registros fuera de parcela en todos los años de monitoreo.

El mínimo se registró en el 2020 con dos [2] taxa, mientras que el máximo se catastró en los años 2006, 2007 y 2014, donde se registraron nueve [9] taxa. Las especies más frecuentes en este transecto son *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*.

Figura 6-15. Riqueza florística en el transecto 3, periodo 2006 – 2023.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.3.2.4 Transecto 4 (TF-4)

El TF-4, se compone de nueve [9] puntos de muestreo distribuidos en la franja de vegetación este – oeste del margen oriental del Salar de Atacama (Figura 4-5), la riqueza registrada en la campaña actual (2023) alcanza los cinco [5] taxa, lo que equivale a una especie más que las reportadas en la Línea Base del Proyecto levantada en el año 2006 (Figura 6-12).

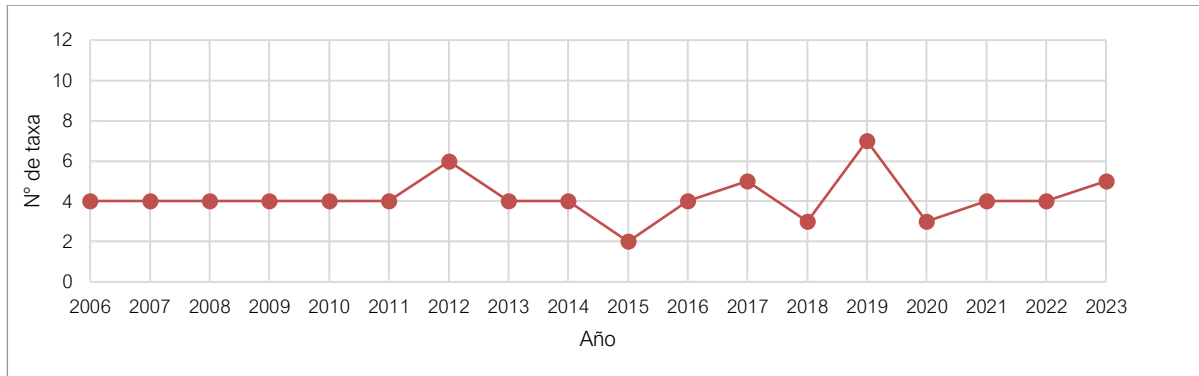
Respecto a la composición de especies, ambas campañas difieren en tres [3] taxa. Por un lado, *Aloysia deserticola*, es registrada en la campaña de Línea Base, pero se encuentra ausente en el actual monitoreo (2023); y, por otro lado, se registra en 2023 a *Tiquilia atacamensis* y *Tiquilia paronychioides*, especies que no fueron registradas en la campaña de Línea Base (2006).

Si bien, *A. deserticola* no es registrada dentro de los puntos de monitoreo en la campaña 2023, si es registrada fuera de los puntos de monitoreo en este transecto.

El mínimo se registró en el 2015 con 2 taxa, mientras que el máximo se catastró en el 2019 donde se registraron siete [7] taxa. Al igual que los transectos descritos anteriormente, las fluctuaciones podrían estar relacionadas al régimen de precipitaciones presente la zona. Ya que, se registra el máximo en 2019, año en que las precipitaciones estivales fueron particularmente altas (Figura 6-13). La especie más frecuente en este transecto es *Tessaria absinthioides*.

De acuerdo con los datos recopilados en terreno, se estima que la riqueza registrada en este transecto se encuentra dentro de los rangos históricos.

Figura 6-16. Riqueza florística en el transecto 4, periodo 2006 – 2023.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.3.2.5 Transecto 5 (TF-5)

El TF-5, se compone de 14 puntos de muestreo distribuidos en la franja de vegetación este – oeste del margen oriental del Salar de Atacama (Figura 4-5), la riqueza registrada en la campaña actual alcanza los cuatro [4] taxa, lo que equivale a tres [3] especies menos que las reportadas en la Línea Base del Proyecto levantada en el año 2006 (Figura 6-12).

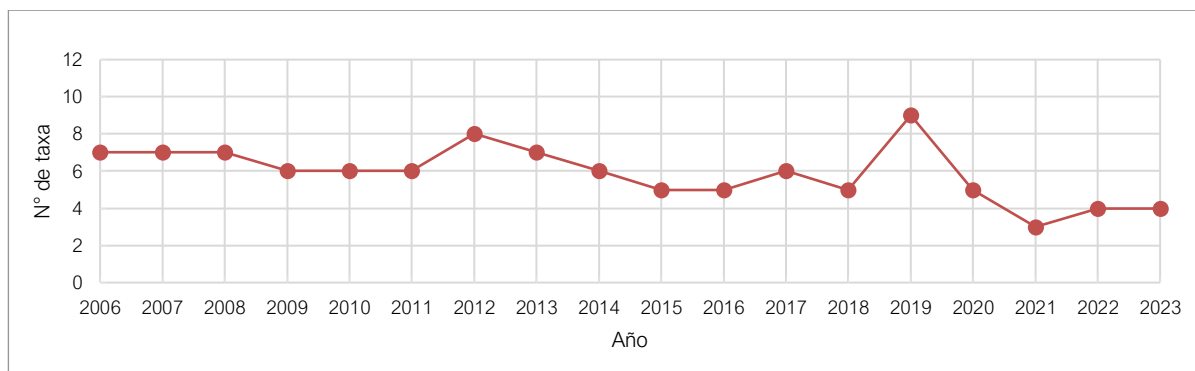
Respecto a la composición de especies, se observa que aquellas ausentes en el monitoreo actual (2023) corresponden a *Nitrophila atacamensis*, *Juncus balticus* y *Aloysia deserticola*. De ellas, *N. atacamensis* y *A. deserticola*, fueron registradas fuera de parcela en el 2023.

El mínimo fue registrado en el 2021 con tres [3] taxa registrados, mientras que el máximo se catastró en el 2019 donde se registraron nueve [9] taxa. Tal como los transectos antes descritos muestran, las fluctuaciones estarían estrechamente relacionadas con las precipitaciones, ya que se observa una proliferación de especies posterior a eventos de fuertes lluvias, tal como ocurrió en el 2019 (Figura 6-13).

Las especies más frecuentes en este transecto son *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*.

Si bien la riqueza registrada en la campaña 2023, se sitúa dentro de los años donde menos taxa se han registrado, los registros fuera de parcela en este transecto dan cuenta, que parte de las taxa ausentes se encuentran igualmente en el sector.

Figura 6-17. Riqueza florística en el transecto 5, periodo 2006 – 2023.



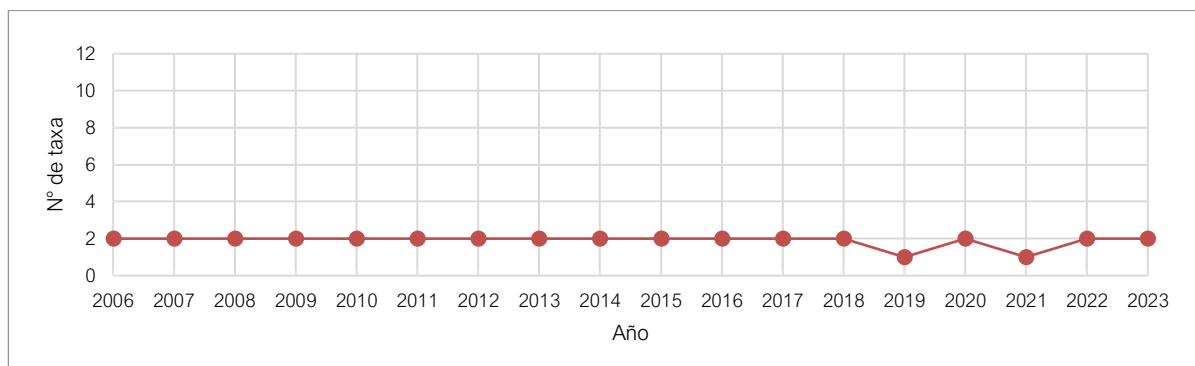
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.3.2.6 Transecto 6 (TF-6)

El TF-6, se compone de tres [3] puntos de muestreo distribuidos en la franja de vegetación este – oeste del margen oriental del Salar de Atacama (Figura 4-5), la riqueza registrada en la campaña actual alcanza los dos [2] taxa, manteniéndose en número y composición de especies respecto de la Línea Base del Proyecto del 2006 (Figura 6-12), por lo que se encuentra dentro de los rangos históricos.

El mínimo se registró el año 2019 y 2021 con una [1] taxa. mientras que el máximo se mantiene en dos [2] taxa (registrado en resto de campañas). Las dos especies presentes en este transecto son *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*.

Figura 6-18. Riqueza florística en el transecto 6, periodo 2006 – 2023.



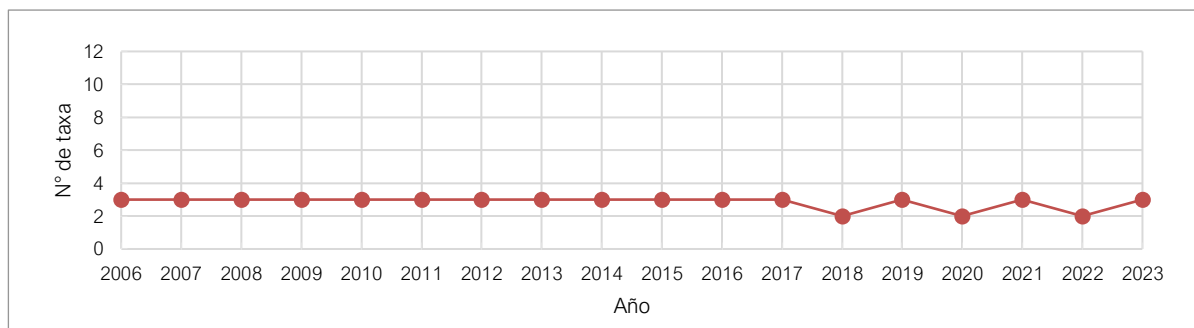
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.3.2.7 Transecto 7 (TF-7)

El TF-7, se compone de seis [6] puntos de muestreo distribuidos en la franja de vegetación este – oeste del margen oriental del Salar de Atacama (Figura 4-5), la riqueza registrada en la campaña actual alcanza los tres [3] taxa, manteniéndose en número y composición de especies respecto de la Línea Base del Proyecto del 2006 (Figura 6-12), por lo que se encuentra dentro de los rangos históricos.

El mínimo se registró el año 2018 y 2022 con dos [2] taxa. mientras que el máximo se mantiene en tres [3] taxa (registrado en resto de campañas). Las tres [3] especies presentes en este transecto son *Tessaria ab-sinthioides*, *Distichlis spicata* y *Nitrophila atacamensis*.

Figura 6-19. Riqueza florística en el transecto 7, periodo 2006 – 2023.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.3.3 Parámetros del suelo

6.1.3.3.1 pH del sustrato

Se obtuvo valores de pH según los laboratorios de 1) Algoritmos y mediciones ambientales SPA (ETFAs) y 2) Agroanálisis UC.

Las muestras se analizan en dos laboratorios dado que a partir del 1° de octubre de 2016 la Superintendencia del Medio Ambiente exige que las actividades de muestreo, medición y análisis sujetas a instrumentos de gestión ambiental sean realizadas por una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFAs) autorizada.

Los análisis del laboratorio Agroanálisis UC se han utilizado desde el año 2012 hasta la fecha³⁸, y se realizan para dar continuidad histórica al monitoreo ya que las metodologías empleadas por las dos entidades de análisis son distintas.

Con el objeto de verificar las consistencias y/o diferencias entre análisis, se comparan a continuación las mediciones de cada laboratorio.

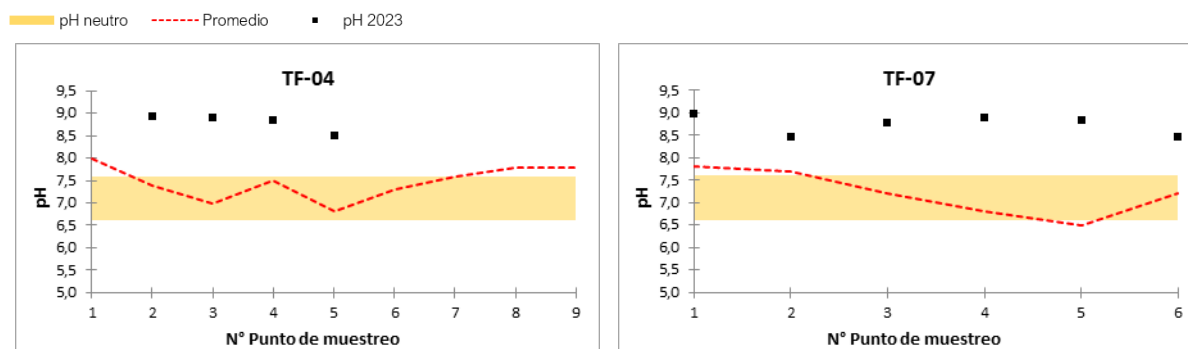
- pH del sustrato según las ETFAs ALS y Algoritmos SPA

A continuación, se presentan los resultados de pH analizados por ALS (parte del transecto N° 4) y Algoritmos y mediciones ambientales SPA (transecto N° 7). Cabe destacar que el periodo de análisis con metodologías ETFAs comenzó en 2018, por lo que se dispone de 6 años de monitoreo (2018 – 2023). En la Figura 6-20 se ilustra el valor del pH para el año 2023, así como el valor promedio de los registros 2018 – 2022.

³⁸ Los datos utilizados entre el 2006 y el 2011 corresponden a datos estandarizados, los que están disponibles en el Informe: Análisis Metodologías de Monitoreo de Conductividad Eléctrica y pH, realizado por M. Adriana Carrasco Rimassa, Químico MSc. Especialista en Química de Suelos. 2017 y en el Anexo 4.2.

Las muestras del año 2023 poseen un pH alcalino en todos los puntos monitoreados, además se encuentran por sobre el promedio en todos los casos.

Figura 6-20. pH según Algoritmos y mediciones ambientales SPA 2022.



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

- pH del sustrato según Agroanálisis UC (Complementario)

Respecto del monitoreo de pH del sustrato en los transectos de flora, en la Figura 6-21 se representan gráficamente los resultados 2023 junto a los valores máximos, mínimos y promedios obtenidos en los años anteriores (2006 – 2022). Las muestras están organizadas desde el borde este del salar hacia el núcleo (Este – Oeste).

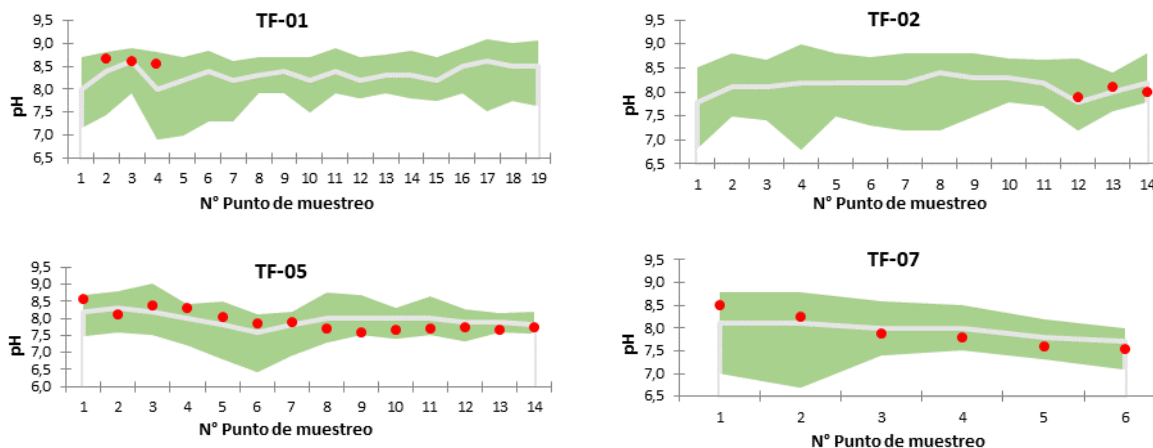
La caracterización fisicoquímica de las muestras analizadas se encuentra dentro de una condición normal para el suelo en las parcelas de flora, dado que el 100% de las muestras están dentro de los rangos calculados (máximo y mínimo histórico).

En el Borde Este del Salar de Atacama abundan los suelos formados a partir de depósitos evaporativos, que representan condiciones extremas en términos de características y propiedades del suelo (Casanova *et al.*, 2013). En los análisis realizados a muestras de suelo en otros salares han detectado valores de pH alcalinos, con valores que han variado entre 8,5 a 8,9 aumentando con la profundidad hasta valores de 9,8 (Luzio *et al.*, 2010).

El comportamiento estable del pH en el tiempo no parece tener una directa relación con los resultados de la riqueza y frecuencia de la flora vascular. Ya que la flora se ve afectada principalmente por la disponibilidad hídrica en la zona, mientras que los cambios en el pH del suelo se consideran parte de la variabilidad natural del suelo de un salar, asociado a factores como la composición de los cationes intercambiables, la naturaleza de los materiales de intercambio iónico, la composición y la concentración de las sales solubles y la presencia o ausencia de yeso y carbonatos alcalinotérreos (carbonatos de calcio y magnesio) (Luzio y Casanova, 2006). De todos modos, en el capítulo 4.6.2.3 (Protocolo de análisis de tendencias de variables ambientales), se analizan en profundidad los datos.

Figura 6-21. Comparación del pH actual según laboratorio Agroanálisis UC con el obtenido en años anteriores

●: valor registrado en abril de 2022; ■: valores máximos y mínimos registrados en torno del: valor promedio (en blanco)



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.3.3.2 Conductividad eléctrica del sustrato

Tal como se explica en el capítulo 4.4.3, se obtuvo valores de Conductividad eléctrica según una entidad ETFA (Algoritmos y mediciones ambientales SPA) y según el laboratorio con el cual se han realizado los ensayos desde el año 2012 en adelante (Agroanálisis UC). Esto debido a que la metodología de análisis utilizada por ambos es distinta, implicando que los datos no sean comparables.

Con el objeto de verificar las consistencias y/o diferencias entre análisis, se comparan a continuación las mediciones de cada laboratorio.

- Conductividad eléctrica del sustrato según la ETFA Algoritmos y mediciones ambientales SPA

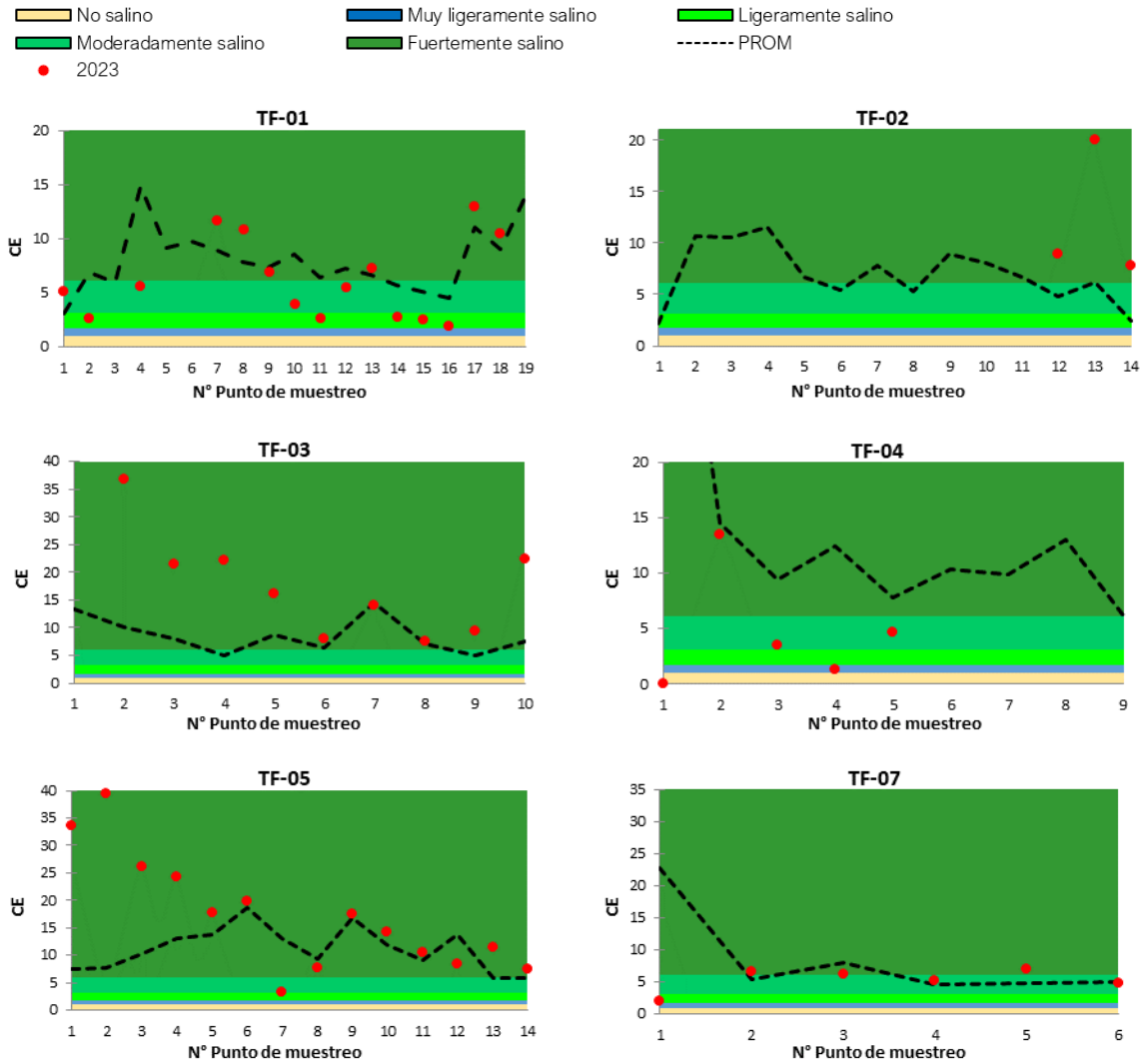
A continuación, se presentan los resultados de la conductividad eléctrica analizada por Algoritmos y mediciones ambientales SPA. Cabe destacar que el periodo de análisis con metodologías ETFA comenzó en 2018, por lo que se dispone de 6 años de monitoreo (2018 – 2022). En la Figura 6-22 se ilustra el valor de la CE para el año 2023, así como el valor promedio de los registros 2018 – 2022.

Las muestras del año 2023 en la mayoría de los transectos de flora poseen una conductividad eléctrica que da cuenta de un sustrato Fuertemente salino y Moderadamente salino (87,5% del total), y en menor medida llegan a ser Ligeramente salinos (10,7% del total) y Muy ligeramente salinos (1,8% del total), concordando con los resultados esperados para suelos en un salar.

Los valores 2023 presentan diferencias respecto al promedio reportado en los 5 años anteriores, lo que podría relacionarse con la cantidad de años analizados, el evento de fuertes lluvias del año 2019 y la gran variabilidad que puede darse en la CE en la categoría Fuertemente salino, la cual establece que valores superiores a 6,08 mS/cm.

La muestra muy ligeramente salina (CE entre 0,98 y 1,71 dS/m) se presenta en el transecto de flora N° 4, específicamente en el punto TF4-4., donde anteriormente se habían registrados suelos fuertemente salinos (CE >6,07 dS/m). Las muestras Ligeramente salinas (CE entre 1,71 y 3,16 dS/m); Moderadamente salinas (CE entre 3,16 y 6,07 dS/m) y Fuertemente salinas (CE mayor a 6,07 dS/m), son las más abundantes en todos los años de monitoreo.

Figura 6-22. Conductividad Eléctrica según Algoritmos y mediciones ambientales SPA para el año 2022



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

- Conductividad eléctrica del sustrato según Agroanálisis UC (Complementario)

De acuerdo con la Figura 6-23 se observa que, del total de muestras obtenidas en la campaña de 2022 (75 muestras), el 94,7% se encuentran dentro de los valores máximo y mínimo observados entre abril de 2007 a abril de 2022.

De las muestras fuera de rango, una (1) se encuentran por debajo de los registros históricos (TF7-1), representando un 1,3% del total. Y tres (3) muestras presentaron un valor sobre los rangos establecidos (TF-15, TF3-4, TF5-13), equivalente al 4% del total.

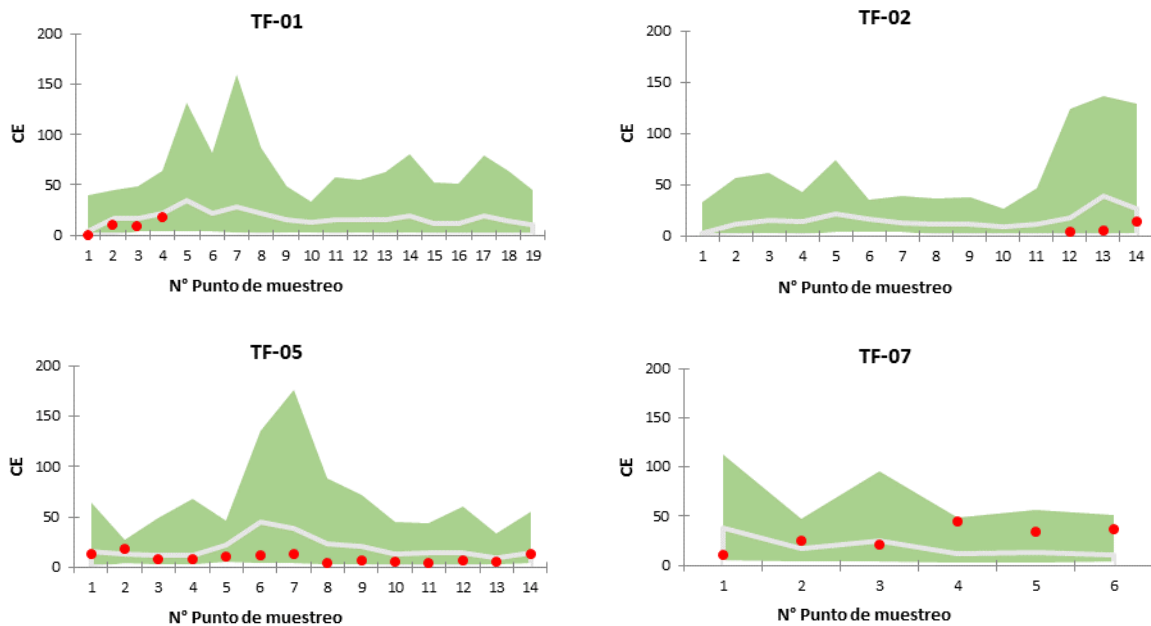
Por otra parte, la conductividad eléctrica del presente año demostró las condiciones de alta salinidad esperables para un salar; donde el 89,3% de muestras estuvieron distribuidas en la categoría fuertemente salina, validando lo observado en otros salares donde los valores pueden alcanzar hasta los 500 dS/m en superficie (Luzio, 2010).

La presencia de flora en sectores con altos valores de salinidad permite inferir que esta variabilidad no afectaría a la riqueza y frecuencia de especies de plantas observadas en la temporada y en los años anteriores. En este contexto, la persistencia de la vegetación se explicaría por los mecanismos de adaptación de las especies a condiciones de extrema salinidad y probablemente, su expresión en el Borde Este del Salar de Atacama, estaría relacionada en primer lugar con la disponibilidad de agua.

En la Figura 6-23 se muestra la comparación de la conductividad eléctrica del año 2022 con el promedio de todos los años anteriores. Las parcelas en los gráficos están organizadas desde el borde este del salar hacia el núcleo (Este – Oeste).

Figura 6-23. Comparación de la conductividad eléctrica (dS/m) actual con la obtenida en años anteriores

● : valor registrado en abril de 2022 ■ : valores máximos y mínimos registrados en torno del valor promedio (en blanco)



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.4 Monitoreo de Algarrobos

6.1.4.1 Ejemplares de algarrobo ubicados en el área del pozo Camar 2

La población de algarrobos objeto de estudio ha sufrido los efectos de aluviones a través del tiempo, registrándose individuos desaparecidos o desprendidos por efecto de ello desde el año 2012 en adelante. Tal como se mencionó en la sección anterior, durante la temporada estival del 2019 se produjo un evento aluvial³⁹ de gran envergadura, que arrasó con 8 ejemplares. Posterior a eso, durante este periodo de monitoreo (2023) se reportó el desprendimiento de 2 nuevos individuos que se encontraban secos desde el levantamiento de la línea base del proyecto (2006) y desde el año 2008, respectivamente. El desprendimiento de estos últimos podría atribuirse tanto a la presencia de burros dentro de la quebrada o a la acción humana.

Lo anterior da cuenta de un total de 14 individuos que han sido desprendidos a lo largo de los periodos de monitoreo, y que se catalogan como desaparecidos. En vista de que se ha producido una variación en el universo de individuos, generando imprecisiones en la evaluación temporal y distorsión en la comparación histórica, es que los ejemplares desaparecidos no son considerados para los análisis de vitalidad, copa viva, fenología y daño, a pesar de que sí se visita el sitio de desprendimiento durante las prospecciones realizadas.

6.1.4.1.1 Vitalidad

Los resultados históricos de las mediciones de la vitalidad de los algarrobos y las tendencias asociadas a cada categoría (período 2006 – 2023) se muestran en la Tabla 6-10 y Figura 6-24.

- **Seco:** En la línea base del año 2006 se identificaron 12 individuos secos, los que fueron incorporados al monitoreo con el fin de evaluar la dinámica de los algarrobos del sector. Los registros reflejan una tendencia al aumento en el número de individuos secos con el pasar de los años (Coeficiente de determinación $R^2 = 0,81$), alcanzando un máximo de 30 individuos entre los años 2020 y 2022 (Figura 6-24 (1)). Durante el 2023, se observó una disminución de dos (2) individuos en el total de individuos secos, debido al desprendimiento de estos.
- **Muy débil:** La cantidad histórica de ejemplares catalogados con vitalidad muy débil ha variado a lo largo del tiempo, sin embargo, nunca ha superado los 9 individuos (máximo presentado en 2016). Durante el presente monitoreo (2023) no se presentaron individuos con vitalidad muy débil, coincidiendo con el valor mínimo histórico (0) que también se había presentado en los años 2013 y 2019. A lo largo de los años monitoreados no se observa una tendencia con respecto a esta categoría ($R^2 = 0,02$; Figura 6-24 (2)).
- **Débil:** La cantidad histórica de ejemplares catalogados con vitalidad débil ha variado desde un mínimo de 4 registros, en el año 2019, hasta un máximo de 24 registros, en el año 2011. Respecto de la línea base (año 2006), en el 2023 se reportan dos individuos menos en esta categoría (4 ejemplares), coincidiendo con el mínimo histórico. Dada la variación en el número

³⁹ Comprobante de reporte de aviso/contingencia/incidente. Cod: RIA4549

de registros dentro de esta categoría a lo largo del monitoreo, no se observa una tendencia significativa ($R^2 = 0,07\%$, Figura 6-24 (3)).

- **Crecimiento normal:** El número de ejemplares que tienen una vitalidad normal ha presentado variabilidad en el tiempo (promedio de 25 ± 11 registros), con un máximo de 48 registros al comienzo del monitoreo (2006) y un mínimo de 9 registros en el año 2021. En el 2023, se registraron 24 individuos con vitalidad normal, encontrándose dentro de los rangos históricos y ubicándose cerca del promedio. A pesar de la variabilidad de los registros, para esta categoría sí es posible observar una tendencia hacia la baja en el número de registros con vitalidad normal ($R^2 = 0,57$; Figura 6-24 (4)).
- **Excepcionalmente vigoroso:** En la mayor parte de los años de monitoreo la cantidad de ejemplares pertenecientes a esta categoría corresponde a cero, con un máximo de ocho individuos observados en el año 2019. Durante el periodo de monitoreo actual (2023), se registró un (1) individuo excepcionalmente vigoroso, lo que se encuentra dentro de los rangos históricos.
- **Individuos desaparecidos:** En la campaña actual (abril 2023) se identificaron dos nuevos individuos que se desprendieron durante el transcurso del año 2022.

Tabla 6-10. Vitalidad de la población de algarrobos. Campañas 2006 – 2023

Año	Vitalidad								
	Seco	Muy débil	Débil	Normal	Vigoroso	Desaparecidos		Total	
						Por año	Acumulado	Por año	Muestra
2006	12	5	6	48	0	0	0	71	71
2007	12	5	7	47	0	0	0	71	71
2008	17	5	7	39	3	0	0	71	71
2009	23	6	15	27	0	0	0	71	71
2010	19	8	19	25	0	0	0	71	71
2011	23	2	24	21	1	0	0	71	71
2012	25	1	14	26	4	1	1	70	71
2013	25	0	11	34	0	0	1	70	71
2014	25	7	16	20	0	2	3	68	71
2015	25	5	16	22	0	0	3	68	71
2016	27	9	17	15	0	0	3	68	71
2017	28	4	9	26	0	1	4	67	71
2018	29	8	8	21	1	0	4	67	71
2019	29	0	4	24	2	8	12	59	71

Tabla 6-10. Vitalidad de la población de algarrobos. Campañas 2006 – 2023

Año	Vitalidad								
	Seco	Muy débil	Débil	Normal	Vigoroso	Desaparecidos		Total	
						Por año	Acumulado	Por año	Muestra
2020	30	6	11	10	2	0	12	59	71
2021	30	4	14	9	2	0	12	59	71
2022	30	6	5	18	0	0	12	59	71
2023	28	0	4	24	1	2	14	57	71
Máximo	30	9	24	48	4	-	-	-	-
Mínimo	12	0	4	9	0	-	-	-	-
Promedio	24	5	12	25	1	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-24. Tendencia de la Vitalidad de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023

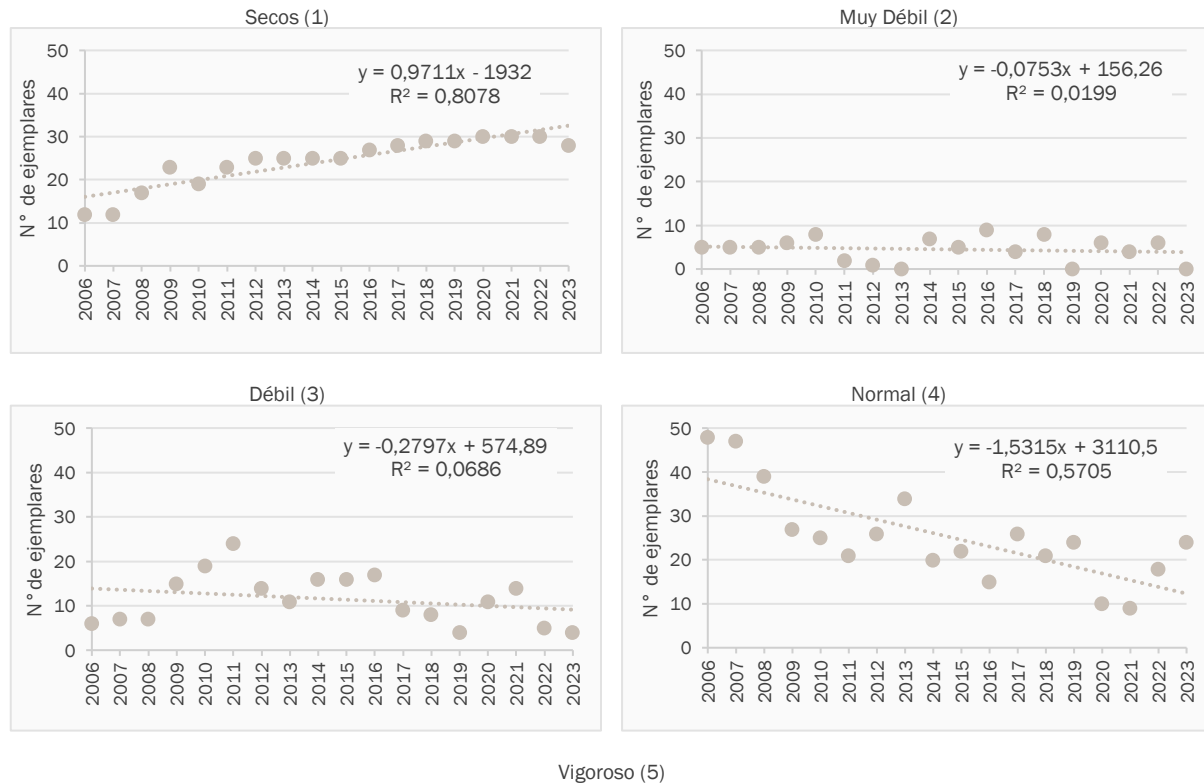
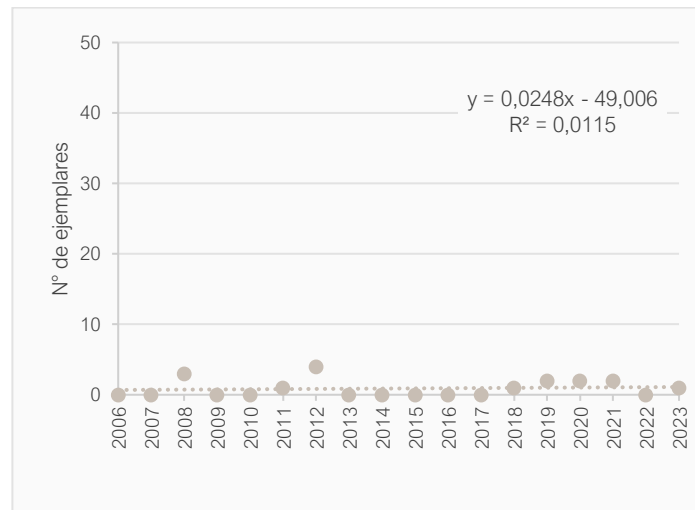


Figura 6-24. Tendencia de la Vitalidad de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.4.1.2 Porcentaje de copa viva

Los resultados de las mediciones del porcentaje de copa viva realizadas sobre los algarrobos durante las campañas de monitoreo (período 2006 a 2023), se muestran en la Tabla 6-9 y Figura 6-25. Al respecto, se observa:

- **Copa viva 0%:** En la línea base del año 2006 se identificaron 12 individuos secos (sin follaje verde), los que fueron incorporados al monitoreo con el fin de evaluar la dinámica natural de la población de algarrobos. Al igual que los resultados de vitalidad expuestos en la sección anterior, los registros reflejan una tendencia al aumento en el número de individuos sin follaje verde (coeficiente de determinación $R^2 = 0,81$), alcanzando un máximo de 30 individuos entre los años 2020 y 2022 (Figura 6-25 (1)). Durante el 2023, se observó una disminución de dos (2) individuos en el total de individuos de esta categoría, debido al desprendimiento de estos.
- **Copa viva <5%:** La cantidad histórica de ejemplares con copa viva inferior al 5% ha variado a lo largo del tiempo, sin embargo, nunca ha superado los 8 individuos (máximo presentado en 2010 y 2018). Durante el presente monitoreo (2023) se presentó un (1) individuo dentro de esta categoría, lo que se encuentra dentro de los rangos históricos y bajo el promedio del monitoreo (4 árboles). A lo largo de los años monitoreados no se observa una tendencia con respecto a esta categoría ($R^2 = 0,04$; Figura 6-25 (2)).
- **Copa viva 5 – 25%:** Al igual que la categoría anterior, la cantidad de individuos que presentan entre 5 y 25% de copa viva ha variado a lo largo del tiempo, con un mínimo de 3 ejemplares (en los años 2011, 2019 y 2020) y un máximo de 14, al comienzo del monitoreo (2006). En el

monitoreo actual (2023), se registraron 4 ejemplares, encontrándose dentro de los rangos históricos y por debajo del promedio (6 árboles). Como se observa en la Figura 6-25 (3), esta categoría no presenta una tendencia significativa ($R^2 = 0,09$).

- Copa viva 25 – 50%: La cantidad histórica de ejemplares que presentan entre 25 y 50% de copa viva ha variado entre un mínimo de 4 individuos registrados en 2022 y un máximo de 22, registrados al comienzo del monitoreo (2006). Durante el monitoreo del 2023, se reportaron 8 individuos dentro de esta categoría, posicionándose bajo el promedio (10 árboles) y dentro de los rangos históricos. Con respecto a la evolución de la cantidad de ejemplares en el tiempo, se observa una leve tendencia a la disminución ($R^2 = 0,22$) (Figura 6-25 (4)).
- Copa viva 50 – 75%: El número de individuos en esta categoría ha variado entre un mínimo de 5 ejemplares, registrados en el 2021 y 2022, y un máximo de 17 ejemplares registrados en el año 2011. Respecto de la línea base (año 2006), en el presente año se reportaron dos individuos más en esta categoría. Dada la variación en el número de ejemplares catalogados con 50 – 75% de copa viva, no es posible observar una tendencia con respecto a la evolución de los datos en el tiempo ($R^2 = 0,08$) (Figura 6-25 (5)).
- Copa viva 75 – 100%: Finalmente, respecto de la categoría de mayor copa viva (75 – 100%), la cantidad de ejemplares ha variado desde un máximo histórico de 31 ejemplares, en el año 2008, hasta un mínimo de 2 ejemplares, en el año 2011. Durante el monitoreo del 2023, se reportaron 5 individuos dentro de esta categoría, lo que corresponde a 8 menos que lo que se reportó en la campaña inicial (2006). La evolución histórica de la cantidad de ejemplares dentro de esta categoría muestra una tendencia a la disminución, la cual se observa a partir del 2009 en adelante ($R^2 = 0,56$) (Figura 6-25 (6)).

Tabla 6-11. Copa viva (%) de la población de algarrobos. Campañas 2006 – 2023

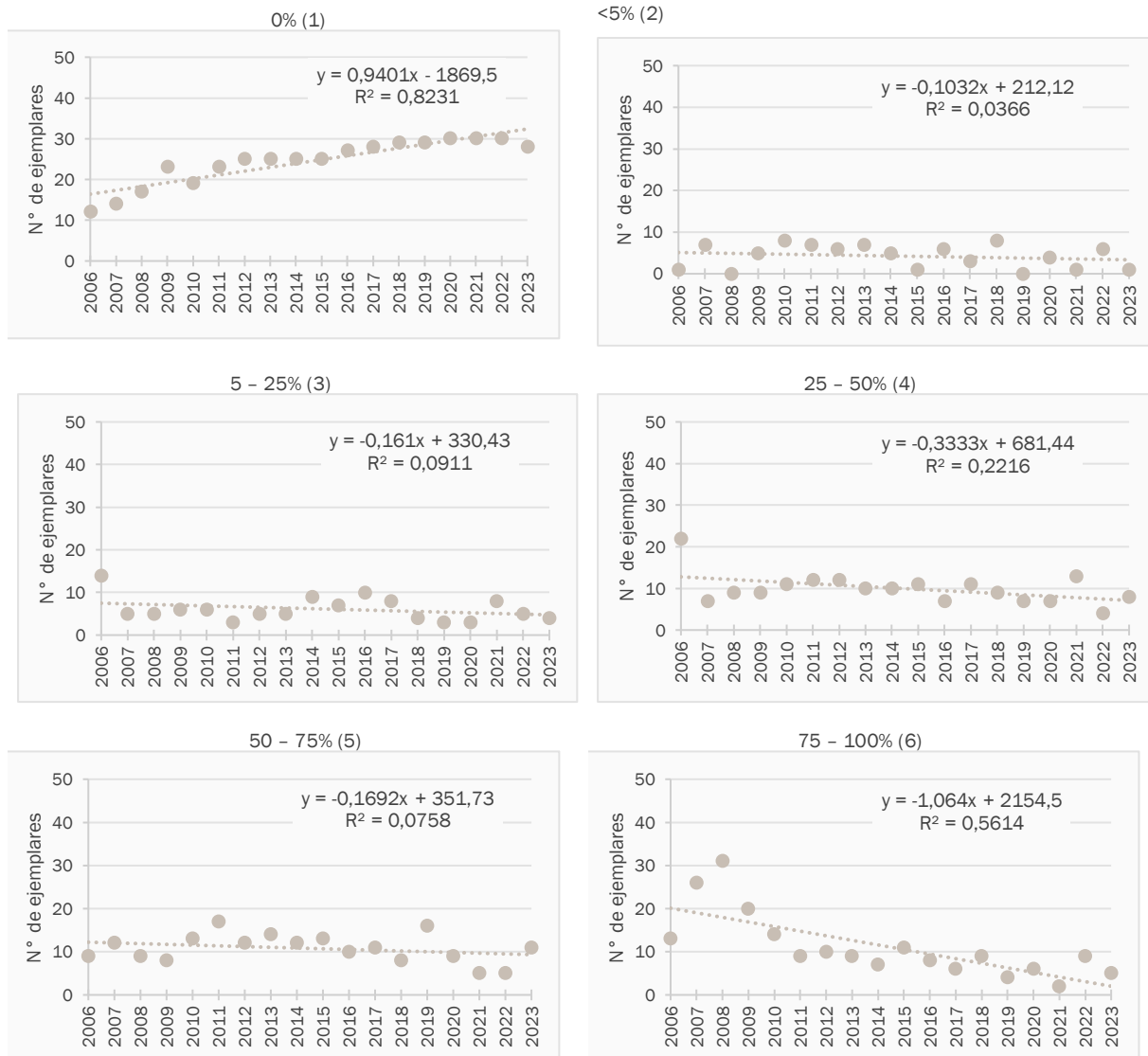
Año	Porcentaje de copa viva									
	0%	<5%	5-25%	25-50%	50-75%	75-100%	Desaparecidos		Total	
							Por año	Acumulado	Por año	Muestra
2006	12	1	14	22	9	13	0	0	71	71
2007	14	7	5	7	12	26	0	0	71	71
2008	17	0	5	9	9	31	0	0	71	71
2009	23	5	6	9	8	20	0	0	71	71
2010	19	8	6	11	13	14	0	0	71	71
2011	23	7	3	12	17	9	0	0	71	71
2012	25	6	5	12	12	10	1	1	70	71
2013	25	7	5	10	14	9	0	1	70	71

Tabla 6-11. Copa viva (%) de la población de algarrobos. Campañas 2006 – 2023

Año	Porcentaje de copa viva									
	0%	<5%	5-25%	25-50%	50-75%	75-100%	Desaparecidos		Total	
							Por año	Acumulado	Por año	Muestra
2014	25	5	9	10	12	7	2	3	68	71
2015	25	1	7	11	13	11	0	3	68	71
2016	27	6	10	7	10	8	0	3	68	71
2017	28	3	8	11	11	6	1	4	67	71
2018	29	8	4	9	8	9	0	4	67	71
2019	29	0	3	7	16	4	8	12	59	71
2020	30	4	3	7	9	6	0	12	59	71
2021	30	1	8	13	5	2	0	12	59	71
2022	30	6	5	4	5	9	0	12	59	71
2023	28	1	4	8	11	5	2	14	57	71
Máximo	30	8	14	22	17	31	-	-	-	-
Mínimo	12	0	3	4	5	2	-	-	-	-
Promedio	24	4	6	10	11	11	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-25. Tendencia de la copa viva (%) de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.4.1.3 Fenología

Respecto al estado fenológico de los individuos, la Tabla 6-12 y Figura 6-26 muestran los resultados de lo largo de los años de monitoreo, a partir de lo cual se observa:

- **Senescente (Figura 6-26 (1)):** La cantidad de individuos dentro de esta categoría ha variado entre un mínimo de 17 individuos, en el año 2008, a un máximo de 31 individuos, registrados en los años 2020 y 2021. En el monitoreo actual (2023), se reportan 28 ejemplares senescentes, concordante con las categorías de vitalidad seco y de 0% de copa viva. Con respecto al

monitoreo de línea base, actualmente se reportan 8 individuos más que lo reportado en 2006. Al observar la evolución en el tiempo de esta categoría, se observa una tendencia al aumento del número de ejemplares senescentes con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,81$.

- Crecimiento vegetativo (Figura 6-26 (2)): La cantidad histórica de ejemplares en esta categoría, ha variado entre un máximo de 53 individuos, en el año 2008, y un mínimo de 28 individuos registrados en los años 2012, 2020 y 2021. En el monitoreo actual (2023), se registraron 29 individuos dentro de esta categoría, lo que corresponde a 20 individuos menos que reportado en el monitoreo de línea base del Proyecto (2006). En efecto, es posible observar una tendencia hacia la disminución de individuos en esta categoría ($R^2 = 0,70$).
- Floración (Figura 6-26 (3)): Durante los años que se ha monitoreado la fenología de la población de algarrobos, no se han registrado individuos en floración durante el mes en el que se realiza el monitoreo (abril) Esto debido a que, de acuerdo con el ciclo fenológico de la especie, los procesos de floración ocurren entre los meses de octubre a diciembre. Cabe mencionar, que el ciclo fenológico completo de la población de algarrobos de Camar sí se ha podido reflejar en el marco de los informes semestrales del Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar, que se realizan como parte del Programa de Cumplimiento (PdC).
- Fructificación (Figura 6-26 (4)): La cantidad de ejemplares con presencia de frutos durante el mes de abril es variable en el tiempo, pudiendo encontrar años en donde no hay signos de fructificación (cero) y años en donde, excepcionalmente, se han presentado una gran cantidad de ejemplares con frutos (ej. 16 registros en el año 2012). Lo anterior, debido a que los meses con mayor producción de frutos corresponden a diciembre, enero y febrero, luego de los cuales comienza a disminuir fuertemente la producción, según lo que se ha reportado en los informes semestrales del Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar, que se realizan como parte del PdC.

Tabla 6-12. Fenología de los ejemplares de la población de algarrobos en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023

Año	Estado fenológico							
	Senescente	Crecimiento vegetativo	Floración	Fructificación	Desaparecidos		Total	
					Por año	Acumulado	Por año	Muestra
2006	20	49	0	2	0	0	71	71
2007	20	46	0	5	0	0	71	71
2008	17	53	0	1	0	0	71	71
2009	23	48	0	0	0	0	71	71
2010	19	52	0	0	0	0	71	71
2011	22	48	0	1	0	0	71	71

Tabla 6-12. Fenología de los ejemplares de la población de algarrobos en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023

Año	Estado fenológico							
	Senescente	Crecimiento vegetativo	Floración	Fructificación	Desaparecidos		Total	
					Por año	Acumulado	Por año	Muestra
2012	26	28	0	16	1	1	70	71
2013	25	45	0	0	0	1	70	71
2014	24	44	0	0	2	3	68	71
2015	25	43	0	0	0	3	68	71
2016	29	34	0	5	0	3	68	71
2017	28	39	0	0	1	4	67	71
2018	30	37	0	0	0	4	67	71
2019	29	29	0	1	8	12	59	71
2020	31	28	0	0	0	12	59	71
2021	31	28	0	0	0	12	59	71
2022	30	29	0	0	0	12	59	71
2023	28	29	0	0	2	14	57	71
Máximo	31	53	0	16	-	-	-	-
Mínimo	17	28	0	0	-	-	-	-
Promedio	25	39	0	2	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-26. Tendencia del estado fenológico de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023

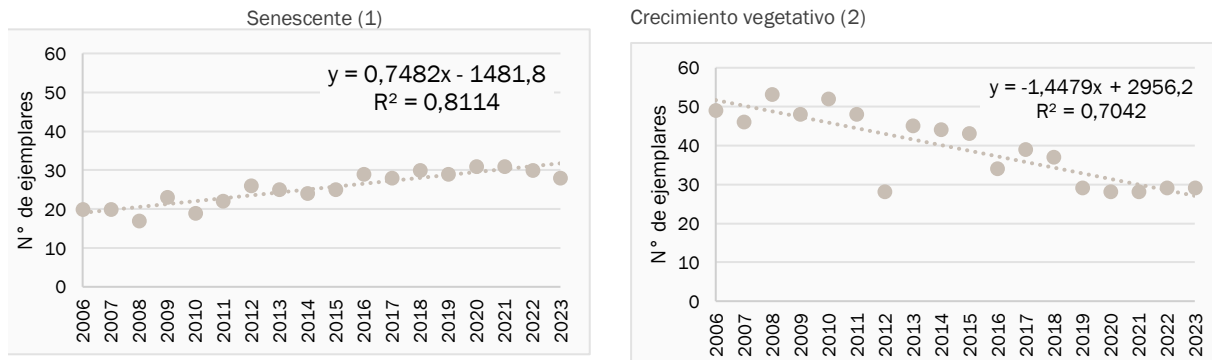
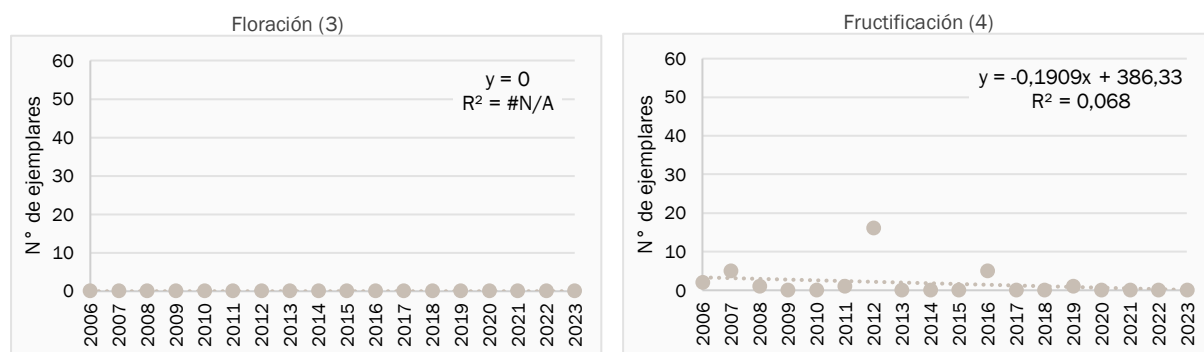


Figura 6-26. Tendencia del estado fenológico de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.1.4.1.4 Daño por agentes externos

Tal como se mencionó en los análisis anteriores, durante el monitoreo del 2023 la cantidad de ejemplares secos disminuyó a 28 (49,12% del total de individuos en pie), debido al desprendimiento de dos ejemplares que se encontraban secos. Del resto de individuos que sí presentaron vitalidad (50,88%), todos evidenciaron tener signos de daño por ramoneo, y uno (1) presentó además signos de daño antrópico. Cabe mencionar, que los individuos catalogados como desaparecidos no son incluidos dentro de estos análisis.

Respecto a los siete años analizados (2017 a 2023), se observa que el daño animal predomina en los ejemplares vivos (Tabla 6-13, Figura 6-27), siendo este tipo de daño el que posee mayor incidencia en la vitalidad y follaje verde de la población. Lo anterior debido a que los animales tienden a alimentarse de frutos, hojas y ramillas con poca lignificación, reduciendo la superficie fotosintética del follaje, generando una degradación en la vitalidad de los algarrobos.

Por su parte, el daño antrópico ha sido observado en pocos individuos a través del tiempo, siendo el corte de ramas el más común de visualizar.

Tabla 6-13. Individuos de algarrobos con presencia de daño en el área del pozo Camar 2. Campaña 2017 - 2023

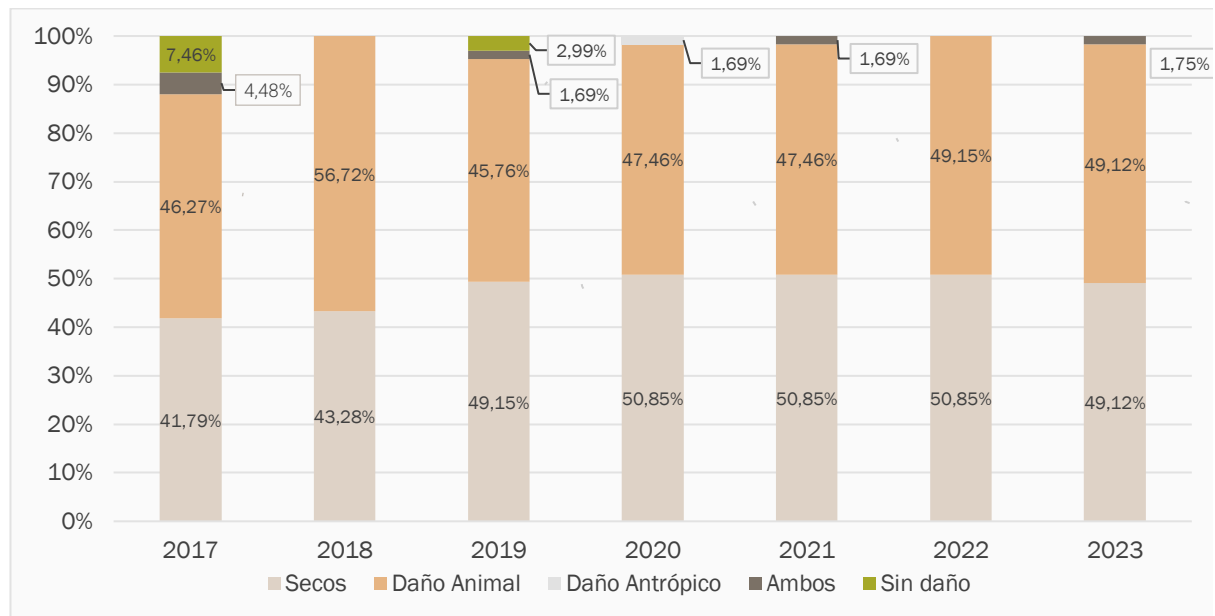
Año	Daño			Sin daño	Secos	Desaparecidos	Total	
	Animal	Antrópico	Ambos				Por año	Muestra
2017	31	0	3	5	28	4	67	71
2018	38	0	0	0	29	4	67	71
2019	27	0	1	2	29	12	59	71
2020	28	1	0	0	30	12	59	71
2021	28	0	1	0	30	12	59	71
2022	29	0	0	0	30	12	59	71
2023	28	0	1	0	28	14	57	71

Tabla 6-13. Individuos de algarrobos con presencia de daño en el área del pozo Camar 2. Campaña 2017 - 2023

Año	Daño			Sin daño	Secos	Desaparecidos	Total	
	Animal	Antrópico	Ambos				Por año	Muestra

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-27. Proporción (%) del tipo de daño en individuos de algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campaña 2017 - 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Fotografía 6-1. Efectos de ramoneo en individuo A – 48. Fotografías tomadas en los monitoreos de PSAB en abril 2022 y abril 2023

Árbol 48 (7.410.129N, 598.519E)



Fecha: abril 2022
Vitalidad: Normal
Porcentaje copa verde: 75-100%



Fecha: abril 2023
Vitalidad: Normal
Porcentaje copa verde: 25 – 50%

6.1.4.1.5 Análisis de la dinámica de los algarrobos

Recientemente las especies nativas y endémicas del género *Prosopis* en Chile, conocidas como algarrobos y tamarugos, han modificado su nomenclatura tradicional propuesta por Burkart (1976) siendo reemplazados por los géneros *Neltuma* y *Strombocarpa*, según estudios actuales de Hughes *et al.* (2022), presentando la justificación de la desintegración del género *Prosopis* L. Las especies que componen estos géneros se distribuyen principalmente en ambientes áridos y semiáridos de Sudamérica, conformando poblaciones vinculadas históricamente con los habitantes del desierto (Álvarez y Villagra, 2009).

En Chile, *Neltuma alba* se distribuye en el extremo norte, específicamente en las quebradas costeras de la región de Arica y Parinacota (Luebert & Pliscoff, 2018), en la Pampa del Tamarugal y siguiendo la quebrada del río Loa hasta su desembocadura (Rodríguez *et al.* 1983; Altamirano & Donoso, 2006; Luebert & Pliscoff, 2006).

Al igual que la mayoría de las especies de su género, *N. alba* desarrolla un sistema de raíces dimórfico, con una raíz vertical pivotante que profundiza varios metros y una corona de raíces superficiales que se extienden lateralmente y que facilita el acceso al agua ubicada tanto en profundidad como superficial; lo que, además, permite redistribuir el agua dentro del perfil de suelo (Villagra *et al.*, 2010; Villagra *et al.*, 2011; Cisneros & Moglia, 2017).

Si bien se desconoce la profundidad máxima de enraizamiento de esta especie, existen evidencias de que puede llegar a desarrollar raíces superficiales laterales de más de 30 metros que absorberían principalmente agua de lluvia infiltrada en el suelo (Villagra *et al.*, 2010). Además, existen evidencias directas (análisis isotópico) e indirectas que muestran que puede acceder a la napa freática si ésta se encuentra entre los 13 y 17 metros de profundidad (Jobbágy *et al.*, 2008; Villagra *et al.*, 2010).

En el caso de los ejemplares de algarrobo de la quebrada de Camar, éstos aprovecharían el agua subsuperficial almacenada en el horizonte arcilloso del suelo, independizándose de los aportes directos de las precipitaciones y de la napa freática, ya que esta última en el sector de Camar se ubica a más de 50 m. Dicha afirmación se basa en el estudio isotópico de fuentes de agua y agua xilemática de algarrobo realizado por el CRICYT (2018), al verificar que los algarrobos de Camar estarían consumiendo principalmente agua de horizontes subsuperficiales del suelo, considerando que el agua xilemática de los ejemplares medidos presenta firmas isotópicas distintas a la del agua subterránea y al agua superficial.

Por lo anteriormente indicado, es que se analiza la relación de la vitalidad con dos factores que afectan directamente el balance hídrico en la Quebrada de Camar: Las precipitaciones y las temperaturas medias de los meses cálidos en los últimos años en el Salar de Atacama.

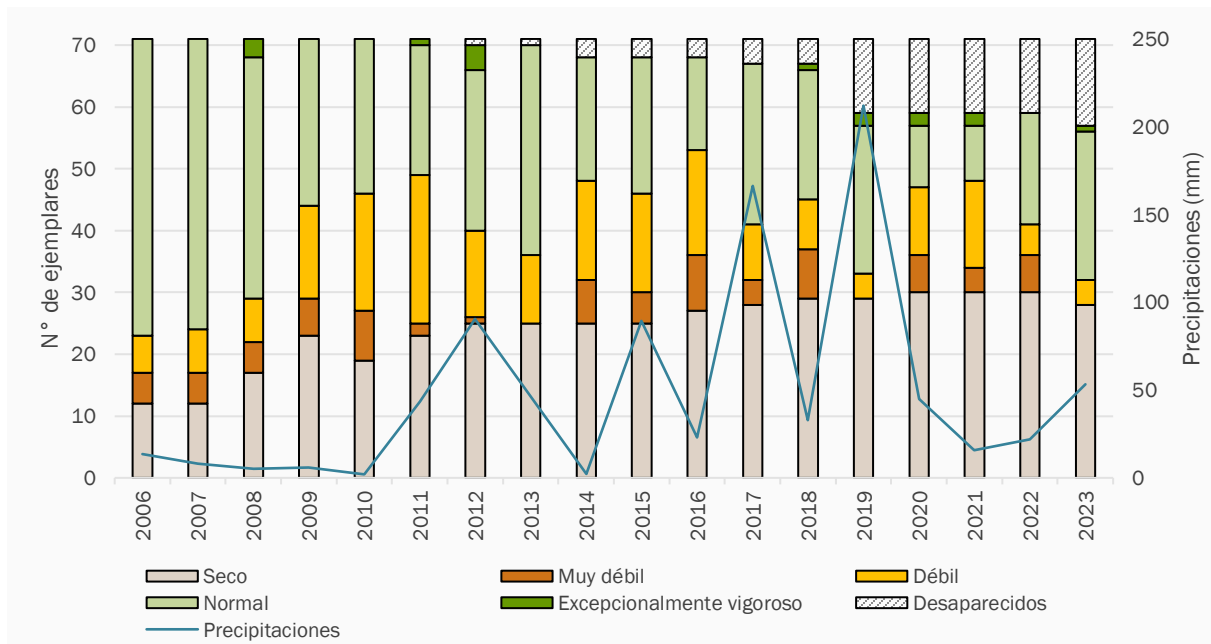
- Régimen de precipitaciones

Tal como se indicó previamente, los algarrobos objeto de monitoreo se ubican en el cono aluvial de la quebrada de Camar. Estos se originaron posiblemente mediante el depósito de semillas provenientes del sector alto de la quebrada y cuyo principal aporte hídrico proviene de las escorrentías esporádicas que se producen como consecuencia de las lluvias estivales altoandinas, las que se infiltran por los horizontes superficiales arenosos hasta el horizonte arcilloso (CRICYT, 2018).

Como se observa en la Figura 6-28, la precipitación anual en el sector de la quebrada ha presentado gran variabilidad a lo largo del periodo de monitoreo (2006 – 2023), con un promedio de $48,72 \pm 58,19$ mm. En efecto, durante los primeros 5 años de monitoreo (2006 – 2010) se presentó un periodo de sequía, con montos de precipitaciones muy escasos (<15 mm anuales) y llegando a valores mínimos de tan sólo 2 mm de precipitación durante el año 2010. Durante este periodo se observa un aumento paulatino en la cantidad de individuos secos y con vitalidad débil, en desmedro del número de ejemplares con vitalidad normal (48 ejemplares en 2006 vs 25 ejemplares en 2010).

Luego, entre los años 2011 y 2019, se observa una tendencia alcista de la precipitación, pero con oscilaciones interanuales importantes. A partir del año 2020, se ha observado una disminución en el monto de las precipitaciones. A pesar de lo anterior, el número de ejemplares normales y vigorosos no ha aumentado ni se ha estabilizado, a diferencia de la cantidad de ejemplares secos que sí ha evidenciado cierta estabilización a partir del año 2019.

Figura 6-28. Precipitación anual acumulada vs número de ejemplares de algarrobo por categoría de vitalidad en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 - 2023



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados desde DGA – Estación Camar (2006 – 2020) y Red Agrometeorológica de INIA – Estación Camar (2021 – 2023)

Por otra parte, Hidroestudios (2020), a partir de imágenes satelitales, identificó una modificación de la red de drenaje en la quebrada de Camar, la cual generó una reactivación de un(os) cauce(s) en el lóbulo sur del abanico y un progresivo abandono del sistema de cauces en el sector norte y centro de la población de algarrobos (Figura 6-29). Es así como, previo al año 2008, el escurrimiento desbordaba principalmente hacia el norte. Posteriormente, producto de un desborde del cauce principal producido 1.200 metros aguas arriba del pozo Camar-2, el escurrimiento se dirige con mayor flujo hacia el sur.

Figura 6-29. Modificación de los escurrimientos superficiales en el sector de Camar

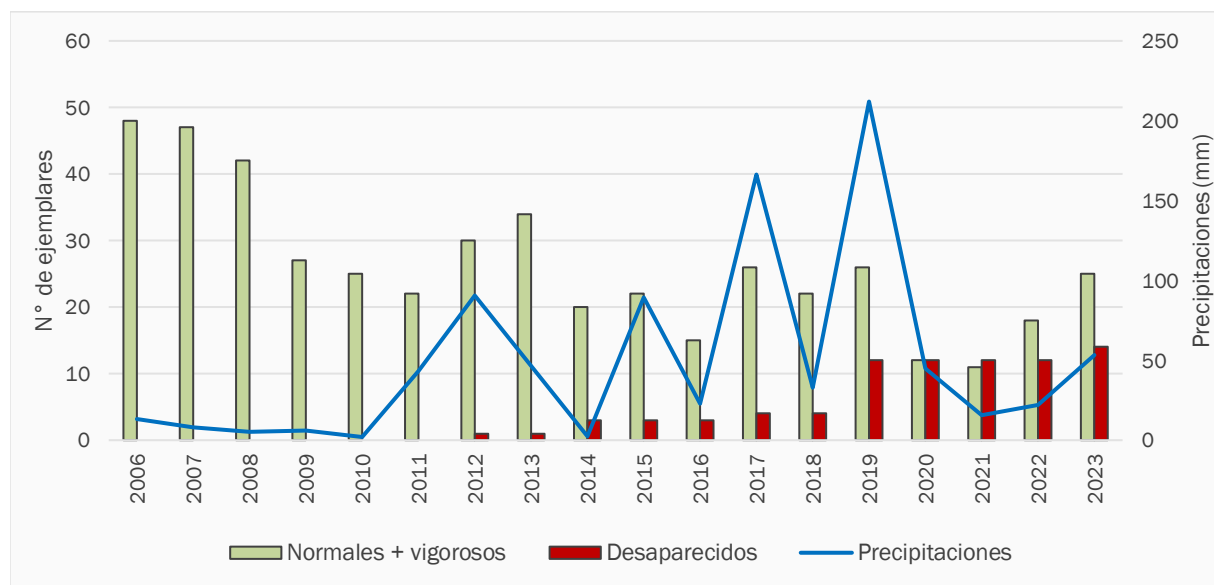


Fuente: Hidroestudios, 2020

Esta modificación de cauces sería una de las causas principales del detrimento de la vitalidad y la disminución del porcentaje de copa viva en los algarrobos ubicados en el sector norte durante los primeros años de monitoreo, debido a la disminución del aporte hídrico relacionado a escurrimientos superficiales y subsuperficiales en esa zona. En particular, se observa que los individuos secos comienzan a aumentar por primera vez en 2008 (Figura 6-28), coincidente con el año en que se observa la modificación de cauces.

Por otra parte, los aluviones producto de precipitaciones han sido una de las causas del descegado y posterior desaparición de algunos de los ejemplares de algarrobos. En efecto, a lo largo del monitoreo se han visualizado ejemplares de algarrobo enterrados y/o desprendidos del suelo por efecto de la activa dinámica aluvial en el sector, asociada a las intensas precipitaciones estivales que han ocurrido especialmente en los años 2012, 2015, 2017 y 2019. El fenómeno de mayor incidencia se produjo en 2019, donde precipitaron 212 mm (de acuerdo con lo reportado en la estación Camar de la DGA) provocando un evento aluvial de gran volumen, el cual provocó el desprendimiento de ocho ejemplares (Figura 6-30). Durante los años siguientes, el monto de las precipitaciones fue disminuyendo, presentando un leve aumento en las lluvias estivales recién pasadas (verano 2023; 53,3 mm en comparación a 15,8 mm en 2021 y 22,0 mm en 2022). Entre los años 2020 y 2022 no se registraron nuevos individuos desprendidos, mientras que en 2023 se reportan dos nuevos individuos desaparecidos que se encontraban secos desde 2006 y 2008.

Figura 6-30. Número de ejemplares en la categoría normales y vigorosos, desaparecidos por año de monitoreo y su relación con las precipitaciones en la zona



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados desde DGA – Estación Camar (2006 – 2020) y Red Agrometeorológica de INIA – Estación Camar (2021 – 2023)

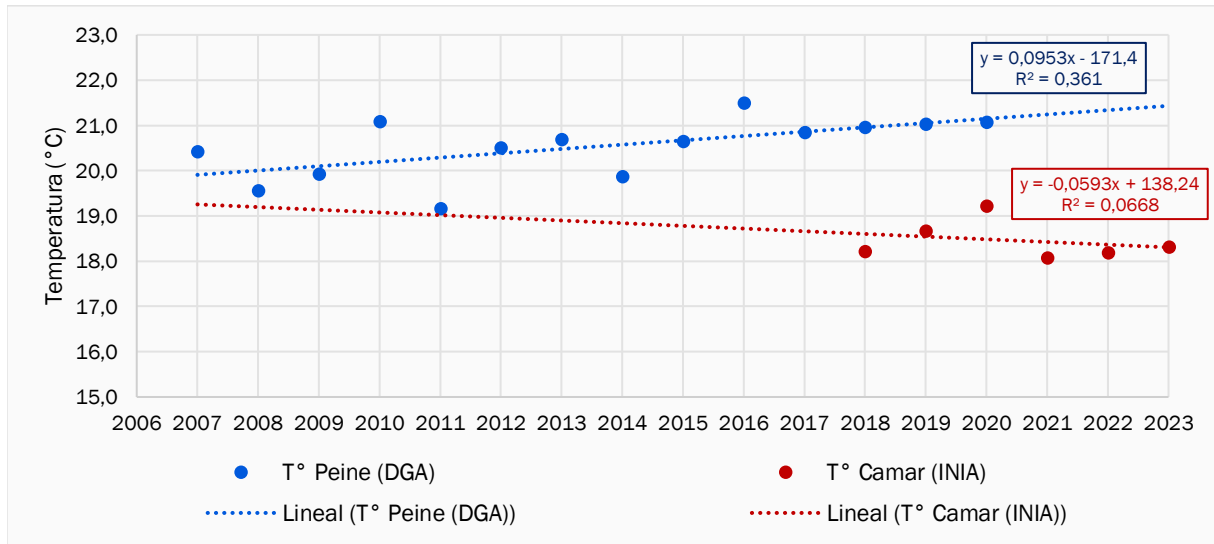
Cabe mencionar, que no sólo los eventos aluviales han sido responsables del desprendimiento de ejemplares catalogados como desaparecidos. Por ejemplo, en el año 2014 las precipitaciones fueron muy escasas (2,4 mm), pero sí se presentaron dos nuevos individuos desaparecidos, de los cuales no se tienen antecedentes de su causalidad.

- Cambios en la temperatura media de los meses cálidos

La temperatura se considera un factor que, junto a otros mencionados anteriormente, influiría en la vitalidad de las plantas que habitan el Borde Este del Salar de Atacama, incluida la población de Algarrobos de la quebrada de Camar.

Utilizando como referencia las estaciones meteorológicas ubicadas en Peine de la DGA (2007 – 2020), se observa que la temperatura media de los meses cálidos (diciembre a marzo) ha evidenciado una leve tendencia al aumento desde 2007 hasta el 2020 (Figura 6-31), con un promedio de $20,53 \pm 0,66$ °C. Sin embargo, luego del 2020 no se tienen registros de temperatura para la Estación Peine de la DGA, por lo que, desde el 2021, se muestran los datos de la Estación Camar de Red Meteorológica del INIA, cuyos registros comienzan desde el año 2018. Lo anterior, dificulta el establecimiento de tendencias con respecto a la evolución de la temperatura con el paso de los años debido al bajo número de registros (N = 6). Si bien, en el gráfico de la Figura 6-31, se observa una línea de tendencia que disminuye, esta relación no es estadísticamente significativa al tener un bajo valor del coeficiente de correlación ($R^2 = 0,0668$).

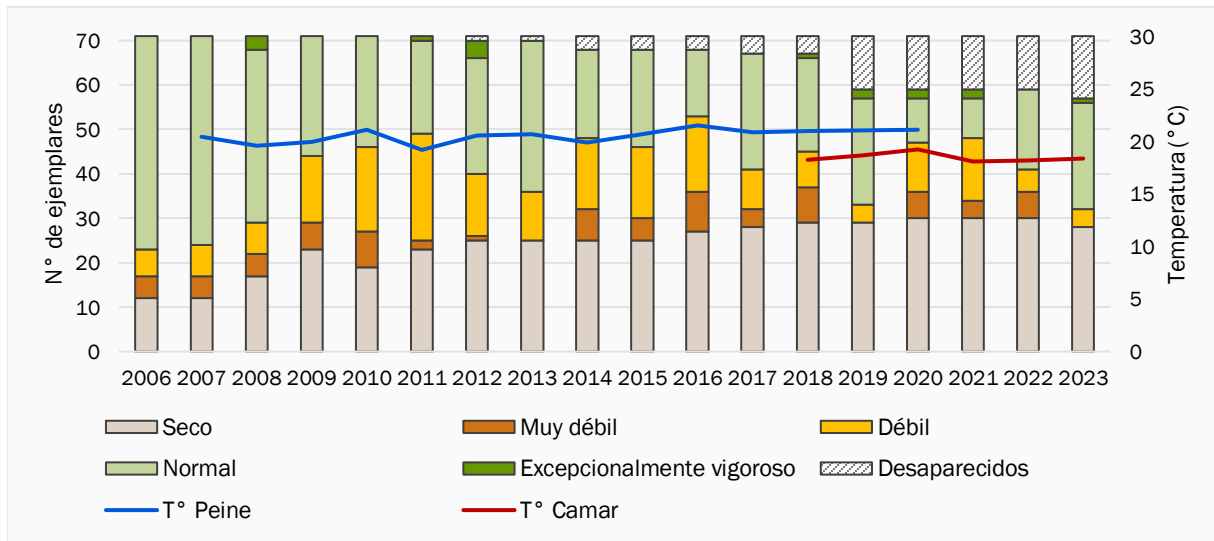
Figura 6-31. Temperatura media de los meses de verano (diciembre – marzo) en las estaciones Peine – DGA (azul) y Camar – INIA (rojo)



Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados desde DGA – Estación Peine (2007 – 2020) y Red Agrometeorológica de INIA – Estación Camar (2018 – 2023).

Con respecto al efecto que podría tener la temperatura sobre la población de algarrobos de la quebrada de Camar, en la Figura 6-32 se gráfica el número de ejemplares pertenecientes a cada categoría de vitalidad a lo largo del periodo de monitoreo (2006 – 2023) y la temperatura media del aire de los meses cálidos. De ella, se observa que en años con una mayor temperatura del aire se ha observado una mayor cantidad de ejemplares dentro de la categoría de vitalidad débil (años 2010 y 2016).

Figura 6-32. Temperatura media de los meses de verano (diciembre – marzo) y número de ejemplares de algarrobos según vitalidad en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 - 2023

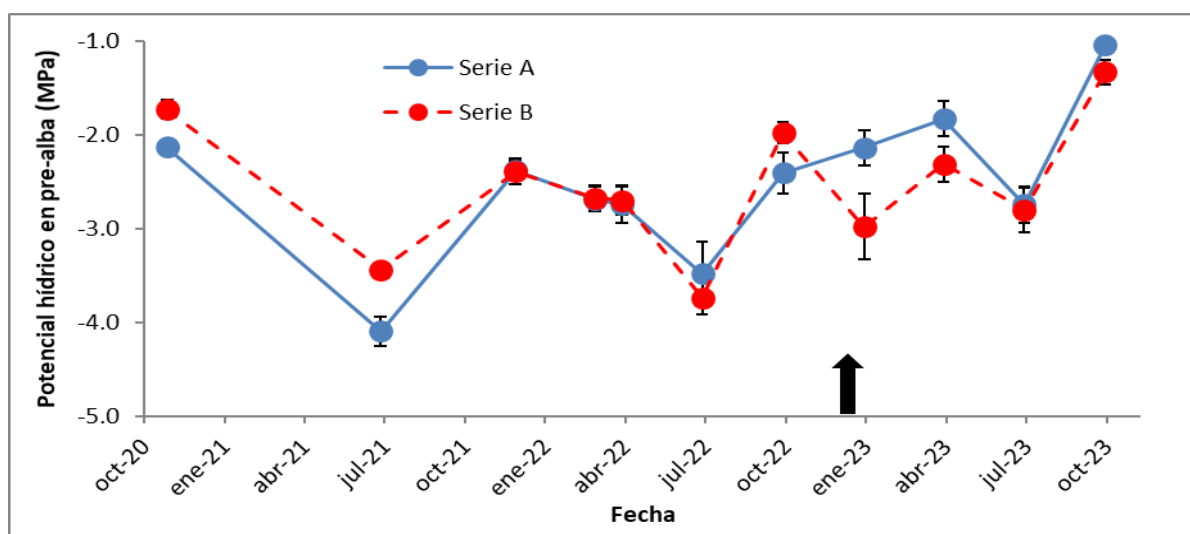


Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados desde DGA – Estación Peine (2007 – 2020) y Red Agrometeorológica de INIA – Estación Camar (2018 – 2023).

6.1.4.2 Fisiología de algarrobos

En la Figura 6-33 se observa la evolución en el tiempo (desde octubre de 2020 a diciembre de 2023) del potencial hídrico en pre-alba en los árboles de la serie A y B. En los meses de julio (2021 y 2022) se observan los valores más bajos de potencial (inferiores a -3,0 MPa), tanto en la serie A como en la serie B. Por otro lado, antes de la aplicación de riego (diciembre 2022) la serie B tuvo valores superiores o similares a los de la serie A, lo que se da por el mejor estado hídrico de los árboles B11, B17, B20 y B21. Estos árboles se encuentran distribuidos cercanos a la ruta CH-23, donde los árboles B20 y B21 reciben diariamente agua liberada desde el poblado de Camar, lo que ha sido observado desde el inicio de las mediciones en 2020. Pese a ello, al iniciar el riego, la serie A alcanza valores superiores a los de la serie B en enero, abril y octubre de 2023. En la campaña de octubre 2023, se alcanzaron los valores más altos de todo el seguimiento, tanto en la serie A como en la serie B.

Figura 6-33. Variación histórica del potencial hídrico en pre-alba para árboles de las series A y B *

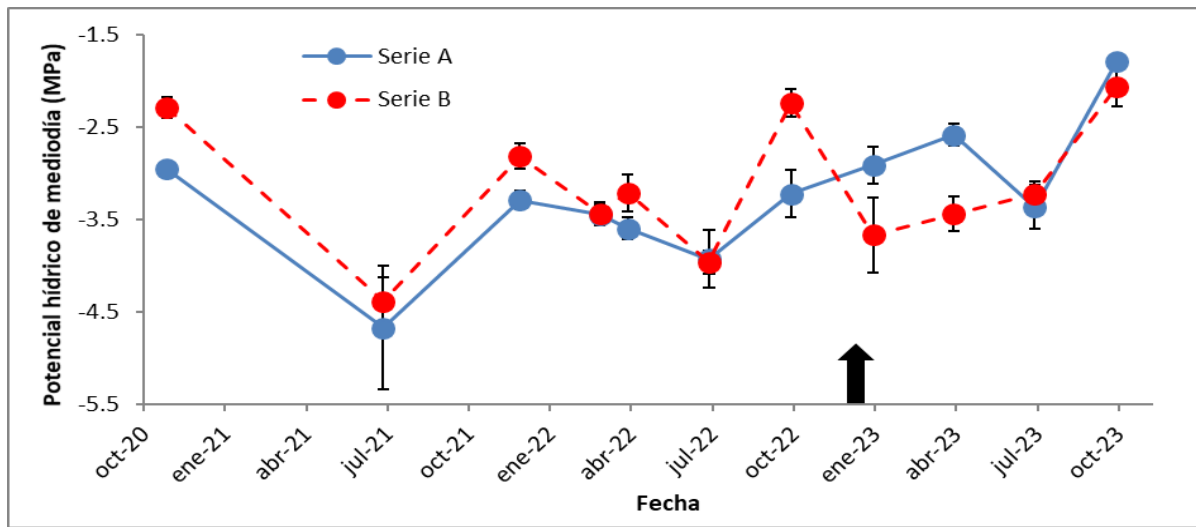


*Las barras verticales representan el error estándar de la media. La flecha representa el inicio de la aplicación de riego en los árboles de la serie A.

Fuente: Informe de estado hídrico en algarrobo de la Quebrada de Camar, Anexo 13

La Figura 6-34 se observa la evolución en el tiempo del potencial hídrico de mediodía en los árboles de la serie A y B. Al igual que en el potencial hídrico en pre-alba, se aprecia que en los meses de julio (2021 y 2022) se presentaron valores más bajos de potencial de cada año (en 2021 alcanzan valores inferiores a los -4,0 MPa), tanto para la serie A como para la serie B. Por otro lado, antes de la aplicación de riego la serie B alcanzó una media superior a la de la serie A, mientras que, en las campañas de enero y abril de 2023, con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores a los de la serie B. En la campaña de octubre de 2023, la serie A alcanza el valor de potencial hídrico de mediodía más alto de todo el seguimiento (-1,78 MPa).

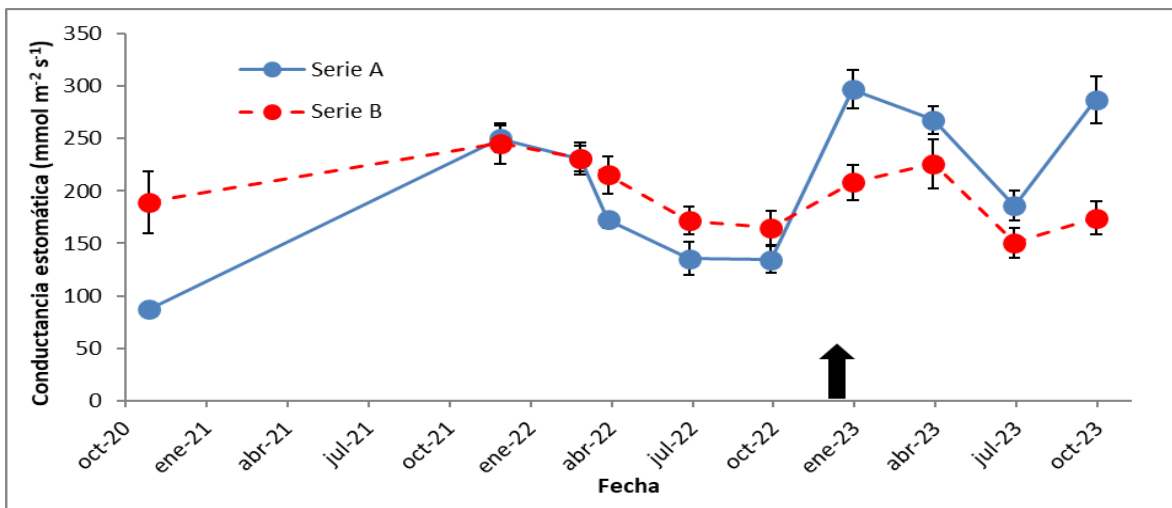
Figura 6-34. Variación histórica del potencial hídrico de mediodía para árboles de las series A y B



Fuente: Informe de estado hídrico en algarrobo de la Quebrada de Camar, Anexo 13

Al analizar la variación histórica en la conductancia estomática en los árboles de la serie A y B (Figura 6-35), se aprecia que antes de la aplicación de riego, la serie B alcanzó valores superiores o similares a los de la serie A (hasta 2022), mientras que, en las últimas cuatro campañas, con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores a los de la serie B. En esta campaña de octubre se observaron valores más altos de conductancia estomática respecto de la campaña realizada en invierno de este año.

Figura 6-35. Variación histórica de la conductancia estomática para árboles de las series A y B



Fuente: Informe de estado hídrico en algarrobo de la Quebrada de Camar, Anexo 13

En general, al analizar la dinámica temporal de las variables medidas, se observa un patrón similar en el potencial hídrico en pre-alba y mediodía, donde los valores obtenidos en los meses de julio son los más bajos de cada año, tanto para la serie A como para la serie B, salvo en julio 2023, donde el valor de la serie B fue

levemente más bajo en enero que en julio. Este cambio temporal de potenciales coincide con lo evaluado en *Strombocarpa tamarugo*, donde se observa un patrón de menor potencial hídrico de pre-alba en la época de invierno, y un mayor valor en la época estival (SAP, 2021). Por otro lado, se observa un efecto de la aplicación del riego, ya que previo a esta aplicación, los valores de potencial hídrico y conductancia estomática de la serie B eran superiores o similares a los de la serie A. Posteriormente, iniciado el riego en los árboles de la serie A, estos alcanzaron valores superiores a la serie B en las tres variables medidas.

Con respecto a los algarrobos ubicados aguas arriba y aguas debajo de la tubería que atraviesa la quebrada, tampoco se observó diferencias entre estos grupos en la campaña de Julio, encontrando una media de Ψ_{pa} , Ψ_{md} y gs de: -2,75 MPa, -3,34 MPa y 178,67 mmol m⁻²s⁻¹, respectivamente. Esto, posiblemente debido al receso invernal de estos árboles (MMA, 2012a; MMA, 2012b), los cuales en esta época del año presentan una disminución de la cobertura, mayor senescencia de hojas y disminución de la producción de ramillas nuevas. Por otra parte, en octubre, sí se observaron diferencias, con los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba (-1,2 MPa y 209,89 mmol m⁻²s⁻¹), lo que se podría explicar debido a la cantidad de árboles sin riego que hay aguas arriba de la tubería (48%), mientras que aguas abajo solo dos árboles no tienen sistema de riego (18%).

6.1.4.3 Biomasa de algarrobos

Los resultados del estudio de estimación de biomasa en individuos de algarrobos en el segundo semestre de 2023 presentan los mismos patrones a los obtenidos el primer semestre. Respecto a la biomasa aérea, las mediciones dan cuenta que se trata en su mayoría de árboles con más de un fuste (plurifustales) y varias ramas principales. En la campaña de julio de 2023, una gran proporción de los individuos censados (69,30% del total) presentó algún nivel de vitalidad en sus fustes y sólo el 30,70% de estos (51 individuos) se registró seco. En la campaña de octubre de 2023, el 69,4% de los individuos censados presenta algún nivel de vitalidad en sus fustes y sólo un 30,60% de estos (56 individuos) se registró seco.

Respecto a las clases diamétricas, se mantiene el mismo patrón del primer semestre, con la mayor parte de los individuos en clases pequeñas y una menor porción en clases grandes. En julio de 2023, el 80,60% de los algarrobos se concentran en las clases diamétricas de menor tamaño (< 7,5 cm), presentando alturas medias que no superan los 50 cm. En contraste, los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) sólo representa el 9,1% y pueden alcanzar hasta los 6,6 m de altura. Por su parte, en la campaña de octubre de 2023, el 80,30% de los algarrobos se presentó clases diamétricas de menor tamaño (< 5 cm) con alturas medias que no superan los 50 cm, mientras que, los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) sólo representan el 9,30% y pueden alcanzar hasta los 7 m de altura. Los resultados de las mediciones diamétricas en el segundo semestre indican que la estructura de la población se concentraría en individuos jóvenes o de poco desarrollo y con una alta capacidad de retoñación, estructura que se ha mantenido constante en el periodo analizado.

Los valores de biomasa aérea en ambas campañas (julio y octubre de 2023) se encuentran entre los rangos reportados por otros autores para *P. pallida* (Padrón y Navarro 2004); *P. juniflora* (Birhane et al., 2017). Los valores de biomasa de los individuos de menor tamaño (<2,5 cm Dbe) se encuentran cercanos a lo reportado por Felker et al., (1989) para *N. alba* y por Aronson et al., (2002) para *N. alba* y *N. chilensis*. Sin embargo, los valores de ambos estudios provienen de plantaciones de estas especies. Es importante señalar, que los valores de biomasa constituyen una aproximación a los valores reales de biomasa. Esto debido a que

proviene de valores promedios de distintas funciones disponibles en la bibliografía estadísticamente seleccionadas, y no de un muestreo destructivo particular para la construcción de funciones locales de biomasa para la población en estudio. La distribución porcentual de la biomasa aérea leñosa de los individuos (30,2% corresponde al fuste, 60,2% a ramas en julio y 30,3% corresponde al fuste, 61,8% a ramas en octubre) se encuentran entre lo reportado para el género *Prosopis* (Aronson, et al., 2002; Padrón y Navarro 2004, Khan, et al., 2011).

Existe una tendencia al incremento en la media del diámetro basal equivalente y en área basal acumulada de la población (Vicos+Secos). Si se agrupan estadísticamente los resultados obtenidos para el diámetro basal equivalente, el primer periodo (Mediciones de abril de 2022 y enero de 2023) presentaría una media de 6,2 cm, en cambio el segundo periodo (Mediciones de abril, julio y octubre de 2023) presentaría una media de 7,5 cm, resultando en un incremento en la media del diámetro basal equivalente de 1,3 cm, equivalente a un 20,1%. El área basal para el primer periodo presentaría una media de 2,4271 m², en cambio el segundo periodo presentaría una media de 2,9298 m², resultando en un incremento en área basal de 0,5659 m², equivalente a un 23,3% del área basal total.

Si bien las magnitudes registradas son superiores a lo reportado en la medición anterior (enero y abril 2023), es importante señalar que estas variables al ser propias de un modelamiento son altamente sensibles a errores instrumentales que pueden ser causados por perturbaciones naturales frecuente en estos ecosistemas, como por ejemplo el enterramiento o desenterramiento de los árboles por arrastre de arena, que hace variar muchas veces las alturas (no marcadas en el individuo) donde se realizan las mediciones de los diámetros basales principalmente.

La proporción de individuos con fruto reportada en la campaña de julio 2023 es baja (1,60% de la población) e inexistente en octubre. Esta drástica disminución en la cantidad de frutos (2,3 vainas por árbol en promedio), indicaría más bien que éstos corresponden a frutos que persisten en el árbol una vez terminado el peak de fructificación de la población. La literatura indica que *N. alba* florece entre los meses de noviembre y diciembre, fructificando en febrero (Rodríguez et al. 1983), si bien este periodo es variable según condiciones locales, los resultados obtenidos a la fecha indicarían una concentración de los frutos durante los primeros tres meses del año.

6.2 Fauna

En el Anexo 17, se presenta el catastro de especies con la composición de fauna en el área de estudio registrada a lo largo de los 18 años de monitoreo. Entre estas se incluyen la campaña de Línea Base, realizada el año 2006, una campaña en etapa preoperacional efectuada el año 2007, y dieciséis campañas de monitoreo en etapa operacional, realizadas desde el año 2008 hasta el 2023. De acuerdo con las prospecciones de terreno efectuadas desde abril de 2006 hasta abril 2023, el listado de fauna silvestre del Borde Este del Salar de Atacama está compuesto por un total de 73 especies. Estas corresponden a un [1] anfibio, tres [3] reptiles, 60 aves (20 Passeriformes y 40 no Passeriformes) y nueve [9] mamíferos. Durante la campaña de abril 2023, se incorporó una nueva especie a la lista, que en años anteriores no había sido registrada, el yal (*Rhodosopina fruticeti*).

Se debe mencionar que, a partir de la revisión de los antecedentes de literatura, así como a la revisión del registro correspondiente a la especie *Liolaemus paulinae* cf., se descartó definitivamente su presencia en el Borde Este del Salar⁴⁰. De esta forma, no hay un incremento neto en la riqueza de la clase reptiles.

De las 73 especies descritas en el catastro del PSA, todas corresponden a especies nativas, de las cuales una es endémica de nuestro territorio nacional, perteneciendo exclusivamente a la clase Reptilia. En términos de sus categorías de conservación, 22 especies presentan alguna categoría de conservación según el Reglamento de Clasificación de Especies (proceso N° 18, octubre 2023 D.S N° 10/2023).

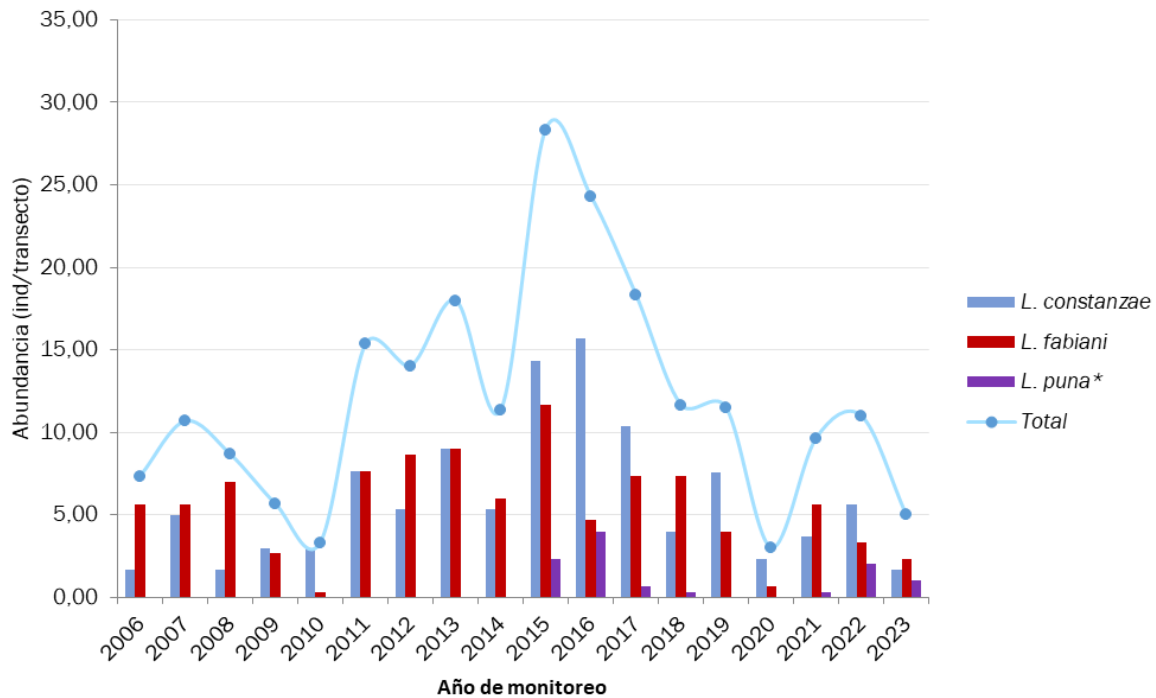
Para los siguientes análisis que se detallan en las siguientes secciones, es importante destacar que durante el periodo 2020 no hubo acceso al Cruce Camar correspondiente a los hábitats de Brea-Cachiyuyo, Pajonal y Marginal salar, tampoco para Aguas de Quelana en los ambientes de Pajonal y Marginal salar, y tampoco hubo acceso al sector de Peine (laguna Interna), en el ambiente de Salar tal como fue justificado e indicado en el Informe Anual PSAB N° 14 correspondiente al periodo de reporte 2020. Como consecuencia, los resultados evidencian una baja abundancia para ese periodo, producto del muestreo incompleto (Figura 6-36). Durante los años posteriores, el monitoreo se desarrolló con normalidad.

6.2.1 Abundancia de reptiles

La Tabla 6-14 muestra la abundancia total de reptiles por especie, registrados en cada uno de los años de monitoreo. En base a las observaciones, la abundancia de reptiles de la campaña 2023 es menor al promedio para el total de especies detectadas en el área de estudio durante los años 2006-2023 (*L. constanzae*, *L. fabiani* y *L. puna*). Al comparar estos valores con los últimos diez años de muestreo (2014-2023), corresponde a la segunda abundancia más baja después del 2020 (Tabla 6-14, Figura 6-36). Sin embargo, es un valor que se encuentra por sobre los valores mínimos registrados durante todos los años de monitoreo (2010 y 2020). En la presente campaña, para el caso de *L. puna* se obtuvo una abundancia superior al promedio registrado históricamente, identificando a un [1] individuo por transecto, caso contrario es lo que ocurre con *L. fabiani* y *L. constanzae*, donde se obtuvo una abundancia menor al promedio histórico con 2,33 y 1,65 individuos por transecto respectivamente (Tabla 6-14).

⁴⁰ Las especies *Liolaemus puna* y *Liolaemus paulinae* son confundidas debido a similitudes en su morfología y en la coloración, diferenciándose solo por su rango de distribución geográfica: *L. paulinae* se encuentra principalmente en los alrededores del Río Loa (Donoso-Barros, 1961; Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005; Demangel, 2016; Mella, 2017), mientras que *L. puna* se encuentra descrita para las regiones de Tarapacá y Antofagasta, donde habita en ambientes arbustivos en las inmediaciones de San Pedro de Atacama, entre otras. Por lo anterior, el registro de *L. paulinae* se modifica, estableciendo el ejemplar como *Liolaemus puna*, con lo cual se establece la presencia de solo tres especies de reptiles en el área de estudio (Borde Este del Salar de Atacama).

Figura 6-36. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023



(*) Se descarta la presencia de *L. cf. Paulinae*, clasificando el ejemplar como morfotipo de *L. puna*.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Tabla 6-14. Abundancia promedio de reptiles en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2023.

Año	Abundancia			
	<i>Liolaemus constanzae</i>	<i>Liolaemus fabiani</i>	<i>Liolaemus puna*</i>	Total
2006	1,67	5,66	0	7,33
2007	5,00	5,66	0	10,66
2008	1,67	6,99	0	8,66
2009	3,00	2,66	0	5,66
2010	2,99	0,33	0	3,32
2011	7,67	7,66	0	15,33
2012	5,34	8,67	0	14,01
2013	8,99	8,99	0	17,98

Tabla 6-14. Abundancia promedio de reptiles en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2023.

Año	Abundancia			
	<i>Liolaemus constanzae</i>	<i>Liolaemus fabiani</i>	<i>Liolaemus puna</i> *	Total
2014	5,33	6,00	0	11,33
2015	14,34	11,67	2,33	28,34
2016	15,66	4,66	3,99	24,31
2017	10,34	7,33	0,67	18,34
2018	3,99	7,34	0,33	11,66
2019	7,53	3,96		11,49
2020	2,34	0,67	0	3,01
2021	3,65	5,65	00,33	9,63
2022	5,66	3,33	2,00	10,99
2023	1,65	2,33	1	4,98
Abundancia promedio	5,93	5,53	0,59	12,06

* Se descarta presencia de *L. cf. paulinae* (2015), clasificando el ejemplar como morfotipo de *L. puna*.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

En términos generales, las especies más abundantes durante las campañas de monitoreo realizadas desde el 2006 corresponden a *L. constanzae* y *L. fabiani*, con una abundancia promedio de 5,93 y 5,53 individuos por transecto, respectivamente (Tabla 6-14, Figura 6-36). Ambas especies han sido registradas durante los distintos años de monitoreo encontrándose presentes en los cinco sectores de estudio (Figura 6-37) y en los cinco hábitats de estudio (Figura 6-38). No obstante, se puede detectar una diferenciación importante en la preferencia de hábitat de ambas especies. Por un lado, *Liolaemus constanzae* es la especie dominante en los hábitats de Rica rica - Pingo pingo y de Brea y Cachiyuyo (i.e. sectores más alejados de ambientes salinos y lacustres), mientras que *L. fabiani* predomina en el ambiente Marginal de Salar y Salar. Por su parte, en el ambiente Pajonal ambas especies se encuentran en simpatría, siendo más abundante *L. fabiani* (Figura 6-38).

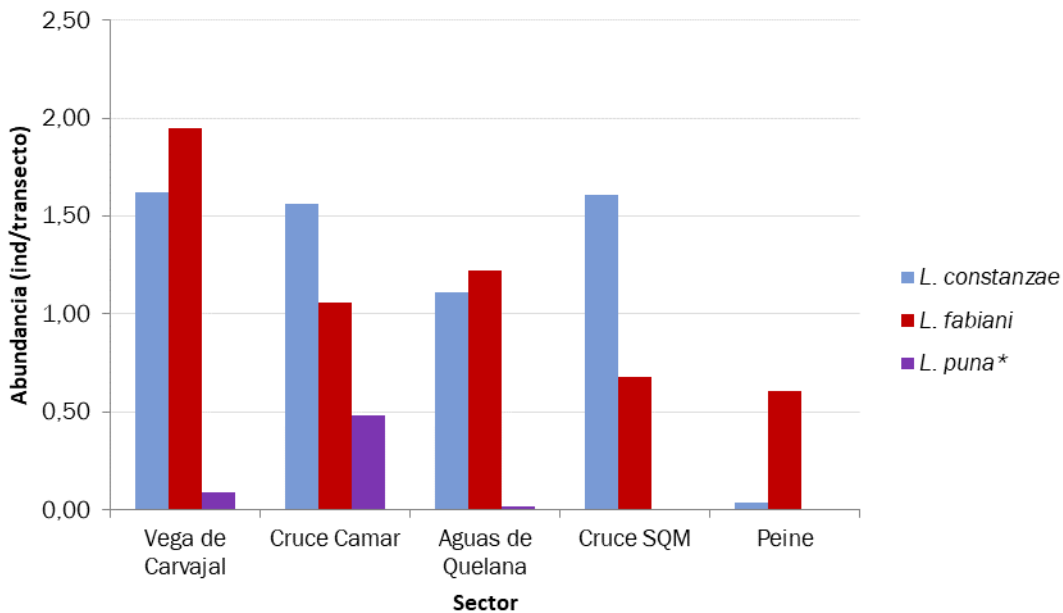
Estas variaciones en el ensamble de especies de reptiles dan cuenta del alto grado de especialización que pueden llegar a mostrar las especies de baja movilidad. Considerando las restricciones fisiológicas y/o ecológicas que presenta este taxón, con ámbitos de hogar reducidos, promueven el desarrollo de especializaciones para optimizar la utilización de los recursos disponibles en su ambiente. Este es el caso de *L. fabiani*, que habita en costras y suelos más salinos del Salar de Atacama, en cambio, *L. constanzae* habita en

ambientes con vegetación, de suelos pedregosos o arenosos, siendo especialmente abundante en el ambiente de Rica rica – Pingo pingo.

Por su parte, *L. puna* ha sido registrada desde el año 2015 al 2018 y del 2021 a la presente campaña (2023), principalmente en el ambiente de Brea – Cachiyuyo, siendo detectada también en los ambientes de Marginal Salar y Pajonal, en los sectores de Vega de Carvajal, Cruce de Camar y Aguas de Quelana (Figura 6-37, Figura 6-38). En términos generales esta especie es la menos abundante, con un promedio de 0,59 ind/transecto (Tabla 6-14).

En cuanto a la predominancia por ambiente, la forma en que se distribuyen las abundancias de las tres especies de reptiles en los diferentes ambientes en la presenta campaña es similar a lo observado históricamente, manteniéndose una mayor predominancia de *L. fabiani*, seguido de *L. constanzae* y *L. puna*.

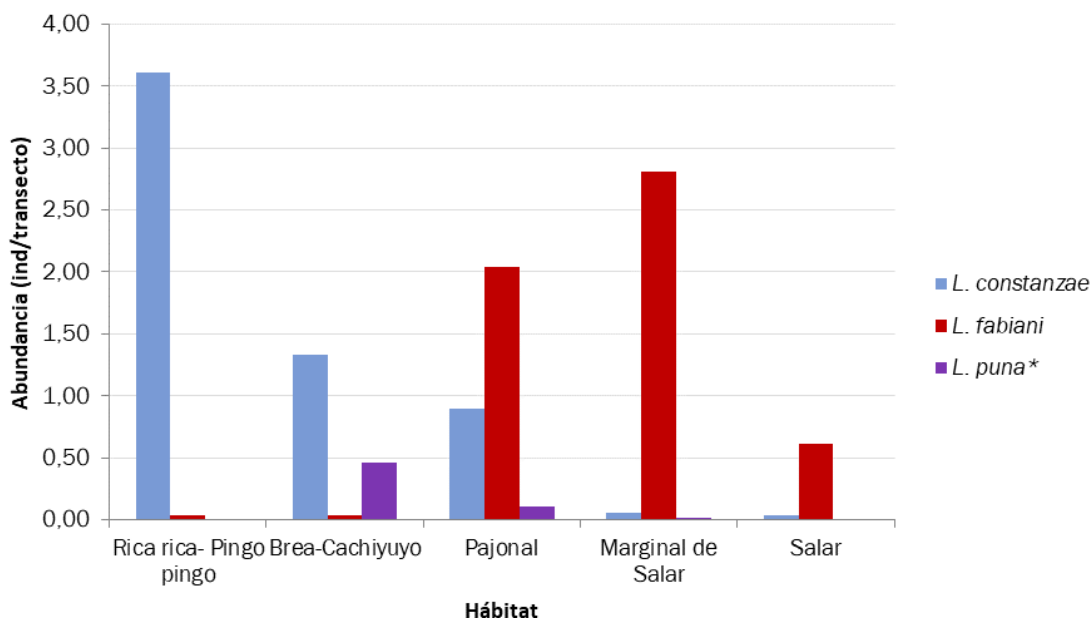
Figura 6-37. Abundancia promedio de reptiles por sector de estudio. Campañas 2006 - 2023



(*) Se decarta la presencia de *L. cf. Paulinae*, calificando el ejemplar como morfotipo de *L. puna*.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-38. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023



(*) Se decarta la presencia de *L. cf. Paulinae*, calificando el ejemplar como morfotipo de *L. puna*.

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.2.2 Abundancia de aves terrestres

Durante el periodo de monitoreo del Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) 2006-2023, en el Borde Este del Salar de Atacama, las aves terrestres se han caracterizado por exhibir bajas abundancias, independiente de la cobertura y composición de la vegetación predominante en los distintos hábitats (Anexo 17). En la campaña correspondiente al monitoreo de abril de 2023, se registraron siete especies de aves asociadas a transectos en ambientes terrestres. La abundancia de ejemplares fue baja, existiendo concordancia con los registros en años anteriores. Considerando las distintas campañas del PSA, se pueden observar fluctuaciones en el tiempo en cuanto al registro de las distintas especies, detectándose en algunos casos especies en forma intermitente e incluso, algunos años sin avistamientos (Tabla 6-15). De las 38 especies de aves catastradas en los ambientes terrestres hasta la fecha, 17 tienen registros en solo uno de los dieciocho años de seguimiento. En contraparte, dos especies (*Geranoaetus polyosoma* y *Anthus correndera*) mostraron el mayor grado de presencia, siendo detectadas en 12 y 11 de los dieciocho años de monitoreo, respectivamente.

En cuanto al número de especies identificadas anualmente a lo largo del PSA, este parámetro ha fluctuado entre 4 y 12 especies, con un promedio de 7,3 especies por año. Durante la campaña de 2023 se detectó 7 especies, al igual que en la campaña del 2009. Este valor se encuentra por debajo del promedio, pero corresponde a un valor mayor al mínimo histórico, que correspondió al año 2008, con 4 especies. Por otra parte, los mayores registros fueron obtenidos en los años 2013, 2014 y 2016, con 12 especies en cada uno (Tabla 6-15).

Tabla 6-15. Abundancia total de aves registradas a través de transectos en ambientes terrestres en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 - 2023

Especies observadas	Abundancia (*)																		Promedio (***)
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
<i>Agriornis micropterus</i>	-	-	-	1,00	0,67	0,33	(**)	0,67	0,66	-	-	(**)	-	-	-	-	-	0,66	0,22
<i>Agriornis montanus</i>	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	2,33	(**)	-	-	0,33	-	0,67	-	0,22
<i>Anthus correndera</i>	1,33	0,33	-	-	0,33	0,33	0,33	0,33	-	0,33	1,67	-	-	2,00	-	0,33	-	-	0,41
<i>Asthenes modesta</i>	-	-	-	(**)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
<i>Athene cunicularia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	(**)	-	0,33	-	-	1,00	-	-	-	-	0,07
<i>Bartramia longicauda</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	0,02
<i>Bubulcus ibis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02
<i>Calidris bairdii</i>	-	-	-	-	-	-	3,00	2,34	6,67	-	0,66	0,67	0,66	-	-	-	-	-	0,78
<i>Charadrius alticola</i>	-	-	-	-	-	-	4,00	3,67	5,67	2,00	4,01	2,00	0,33	-	-	1,00	-	1,67	1,35
<i>Chroicocephalus serranus</i>	-	-	-	-	-	-	-	(**)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
<i>Circus cinereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	(**)	-	0,33	-	-	-	-	0,04
<i>Falco peregrinus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	0,02
<i>Geositta punensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	0,67	(**)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	-	-	(**)	(**)	0,33	(**)	(**)	0,33	0,33	0,33	-	-	-	-	0,66	0,99	1,00	1,00	0,28
<i>Hirundo rustica</i>	-	-	(**)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,33	-	0,04
<i>Leistes superciliaris</i>	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02
<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	-	0,33	-	-	0,33	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
<i>Lessonia oreas</i>	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	0,04
<i>Metriopelia aymara</i>	-	-	-	0,33	-	-	-	0,67	10,67	-	8,67	(**)	1,00	0,50	-	-	-	-	1,21

Tabla 6-15. Abundancia total de aves registradas a través de transectos en ambientes terrestres en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 - 2023

Especies observadas	Abundancia (*)																		Promedio (***)
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
<i>Metriopelia melanoptera</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,50	0,67	-	-	-	0,18
<i>Muscisaxicola cinereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	0,02
<i>Muscisaxicola flavinucha</i>	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	1,00	-	-	-	0,10
<i>Muscisaxicola frontalis</i>	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	-	0,33	(**)	0,67	0,66	1,66	(**)	0,33	0,66	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30
<i>Oreopholus ruficollis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,67	-	-	-	-	0,15
<i>Parabuteo unicinctus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	0,02
<i>Phalaropus tricolor</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,33	-	-	-	-	-	-	-	0,74
<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	-	0,33	(**)	(**)	-	-	-	-	-	0,33	-	(**)	-	-	0,33	-	1,00	-	0,11
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	-	-	-	-	-	-	-	1,33	5,00	0,66	5,66	1,33	-	5,00	-	0,33	-	1,33	1,15
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,33	-	14,00	4,00	-	-	-	-	1,19
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-	0,33	-	0,67	0,07
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,07
<i>Recurvirostra andina</i>	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02
<i>Rhoposopina fruticeti</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,02
<i>Sicalis auriventris</i>	(**)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
<i>Thinocorus rumicivorus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	0,02
<i>Upucerthia dumetaria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02
<i>Zonotrichia capensis</i>	-	-	-	0,33	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	3,50	-	-	-	-	0,23

Tabla 6-15. Abundancia total de aves registradas a través de transectos en ambientes terrestres en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 - 2023

Especies observadas	Abundancia (*)																		Promedio (***)
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Número de especies	5	5	4	7	5	5	6	12	12	9	12	8	5	10	8	6	5	7	7,3
Abundancia acumulada	2,32	1,65	0	2,33	2,32	2,65	7,33	11	30,65	6,31	40,98	4	16,32	22	3,65	3,31	3,33	5,99	

(*) Número promedio de ejemplares registrados en tres transectos de 300 m. (un transecto por tres días)

(**) Al menos un ejemplar registrado fuera del tiempo de recorrido (fuera de transecto). Estos ejemplares no son incluidos en el cálculo de abundancia.

(***) El cálculo del promedio se realizó considerando todos los años evaluados, incluyendo aquellos en los que no se observaron ejemplares

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Históricamente, el sector que registra la mayor riqueza de especies es Cruce SQM, con 20 especies, sin embargo, este año el sector Vega de Carvajal aumentó su riqueza a 19 especies, casi igualando la riqueza máxima por sector. Por otro lado, Cruce Camar y Aguas de Quelana muestran valores similares entre sí, con 17 y 16 especies respectivamente. Por su parte, durante el 2023, en el sector de laguna Interna se registraron cinco [5] especies, las que se caracterizan por ser especies acuáticas y/o estar asociadas a ambientes acuáticos y salobres (*Calidris bairdii*, *Charadrius alticola*, *Lessonia oreas*, *Phalaropus tricolor* y *Phoenicopterus chilensis*). La baja riqueza de especies en este sector se puede explicar por la baja representatividad de muestreo para este grupo, en particular si se considera la realización de un único transecto en este ambiente (Salar), asociado a la presencia de especies de ambientes acuáticos (Tabla 6-16).

Dos [2] especies han sido las más abundantes durante los dieciocho años de seguimiento. La primera es *Charadrius alticola* (chorlo de la puna) con un total de 73 avistamientos en transecto, la cual, es un ave asociada fuertemente a los ambientes acuáticos, lo que se refleja en la alta abundancia que alcanza en los ambientes de Marginal de salar y salar, con 53 y 17 ejemplares respectivamente, detectándose solo dos ejemplares en el ambiente de Pajonal y uno en el de Rica rica - Pingo pingo durante el transcurso del PSA. En segundo lugar, se ubica *Metriopelia aymara* (tortolita de la puna) con un total de 66 avistamientos en transectos, esta especie se distribuye ampliamente en el Borde Este del Salar, encontrándose en todos los sectores y utilizando todos los ambientes a excepción del salar, principalmente los hábitats Rica rica - Pingo pingo y Brea - Cachiyuyo, con 42 y 16 avistamientos respectivamente.

Una especie que destaca por su amplia distribución en el área de estudio es *Calidris bairdii* (playero de Baird), especie acuática detectada en ambientes de salar en laguna Interna y Marginal de salar en los cinco sectores. El mayor número de registros acumulados en transectos a lo largo del PSA son del ambiente Marginal de Salar, con 40 individuos. Otras especies relevantes en los diferentes sectores y/o ambientes son *Muscisaxicola maculirostris*, *Anthus correndera*, *Geranoaetus polyosoma*, *Agriornis montanus* y *Zonotrichia capensis*. Si bien estas especies presentan una amplia distribución en el área de estudio (i.e. en los distintos ambientes), han presentado un bajo número de ejemplares.

Respecto a las especies observadas en un único sector y/o ambiente en las distintas campañas de monitoreo, es importante señalar que la mayor parte se obtuvieron fuera de transecto o a partir de avistamientos de ejemplares en forma individual, no existiendo un registro en el tiempo. Las especies con valores de abundancia altos como *Phalaropus tricolor* (pollito de mar), registrados en el ambiente de salar en laguna Interna, corresponde a ejemplares observados durante un día de prospección, avistando 40 individuos. Esta especie, al igual que el playero de Baird, es migratoria boreal. De manera similar, el registro de 64 ejemplares de *Phoenicoparrus jamesi* (parina chica) en el ambiente Marginal de salar en el sector de Vegas de Carvajal se obtuvo en tres oportunidades, con registros de 10, 42 y 12 individuos en los años 2016, 2018 y 2019, respectivamente. En conclusión, estas especies no son consideradas como indicadoras del sector o ambiente en que se observaron, pues son registros esporádicos. Hasta la fecha no se ha encontrado ninguna especie de ave presente en los cinco ambientes y sectores de estudio (Tabla 6-16).

Tabla 6-16. Indicadores generales de aves registradas a través de transectos en ambientes terrestres por sector. Campañas 2006-2023

Indicador	Vega de Carvajal	N° indiv.	Cruce Camar	N° indiv.	Aguas de Quelana	N° indiv.	Cruce SQM	N° indiv.	Peine – Laguna Interna	N° indiv.
Riqueza acumulada	19	-	17	-	16	-	20	-	5	-
Abundancia promedio*	0,6	-	0,28	-	0,34	-	0,44	-	1,02	-
Especies más abundantes (N° de individuos**)	<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	64	<i>Metriopelia aymara</i>	22	<i>Charadrius alticola</i>	33	<i>Metriopelia aymara</i>	27	<i>Phalaropus tricolor</i>	40
	<i>Phoenicoparrus andinus</i>	38	<i>Metriopelia melanoptera</i>	10	<i>Calidris bardii</i>	25	<i>Charadrius alticola</i>	19	<i>Charadrius alticola</i>	7
Especies registradas en sólo un sector (N° de individuos**)	<i>Asthenes modesta</i>	+	<i>Athene cunicularia</i>	4	<i>Falco peregrinus</i>	1	<i>Bubulcus ibis</i>	1	<i>Phalaropus tricolor</i>	40
	<i>Circus cinereus</i>	2	<i>Bartramia longicauda</i>	1	<i>Parabuteo unicinctus</i>	1	<i>Geositta punensis</i>	2		
	<i>Chroicocephalus serranus</i>	+	<i>Muscisaxicola cinereus</i>	1	<i>Muscisaxicola frontalis</i>	1	<i>Recurvirostra andina</i>	1		
	<i>Oreopholus ruficollis</i>	8	<i>Metriopelia melanoptera</i>	10			<i>Sicalis auriventris</i>	+		
	<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	64	<i>Leistes superciliaris</i>	1			<i>Thinocorus rumicivorus</i>	1		
	<i>Rhoposopina fruticeti</i>	1					<i>Upucerthia dumetaria</i>	1		
Especies compartidas	<i>Agriornis montanus; Geranoaetus polyosoma; Metriopelia aymara; Muscisaxicola maculirostris. Phalco boenus megalopterus; Phoenicoparrus andinus</i> (presentes en cuatro sectores, excepto Laguna Interna)									
	<i>Calidris bardii; Charadrius alticola</i> (presentes en los cinco sectores)									

*Este valor se obtuvo a partir del promedio total en los transectos de las campañas del 2006 al 2023

**Total de ejemplares registrados en transecto en las campañas del 2006 al 2023.

+ Especies sin valores de abundancia de ejemplares (avistamientos fuera de transecto).

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.2.3 Censos de aves en ambientes acuáticos

En la Tabla 6-17 se presenta la abundancia de las aves acuáticas durante el periodo 2020 a 2023. Cabe destacar, que durante la campaña del 2020 no se tuvo acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos, por lo cual no hay resultados para ese año, esto en marco de la Resolución N° 162/220 emitida por CONAF el 16 de marzo del 2020, que instruyó el cierre de todas las áreas silvestres protegidas del estado administradas por CONAF. Sin embargo, los análisis para el sector de Peine se realizaron utilizando referencialmente los datos del Informe del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico – PMB Proyecto: “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA N° 21/2016)” Informe Semestral N° 9 Monitoreo Invierno 2020 (datos de septiembre) los cuales fueron incorporados en la base de datos histórica. Cabe destacar que estos datos no detallan cuales registros corresponden a las distintas lagunas que conforman el sistema de Peine, por lo cual se utilizaron en los análisis por sistema y no en los análisis por laguna.

En base a los resultados, la especie más abundante durante la campaña del 2023 fue el flamenco chileno (*Phoenicopterus chilensis*), alcanzando un total de 834 individuos, seguido de la parina grande (*Phoenicoparrus andinus*) con 722 individuos contabilizados. Con relación a los años anteriores se observa una disminución en la abundancia de ambas parinas (*Phoenicoparrus andinus* y *Phoenicoparrus jamesi*) respecto al promedio, pero un aumento de abundancia para el flamenco chileno (*P. chilensis*; Tabla 6-17).

Las especies menos abundantes durante el año 2023 fueron *Lophonetta specularioides* y *Spatula puna* con dos [2] individuos cada una, seguida por *Anthus correndera* y *Lessonia oreas* con tres [3] individuos cada uno. El pato de la puna (*S. puna*) solo había sido registrado con anterioridad durante la campaña 2017 (Tabla 6-17).

Tabla 6-17. Número de aves registradas a través de censos en ambientes acuáticos en los monitoreos 2006-2023.

Especie	Número de individuos																		Promedio
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 (*)	2021	2022	2023	
<i>Anas flavirostris</i>	0	1	9	2	4	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1,44
<i>Anas georgica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17
<i>Anthus correndera</i>	10	41	14	30	31	33	30	11	12	1	20	4	0	0	0	0	1	3	13,39
<i>Bubulcus ibis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11
<i>Calidris bairdii</i>	222	167	241	205	192	218	117	176	235	321	246	83	90	0	0	90	284	33	162,22
<i>Calidris melanotos</i>	27	97	18	0	0	4	8	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	9,33
<i>Charadrius alticola</i>	128	130	97	117	77	108	88	101	206	149	130	61	26	156	0	191	111	126	111,22
<i>Chroicocephalus serranus</i>	13	3	8	2	7	9	2	6	0	1	3	5	22	27	0	3	46	0	8,72
<i>Fulica ardesiaca</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,06
<i>Fulica cornuta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06
<i>Gallinula galeata</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17
<i>Hirundo rustica</i>	26	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	5	0	0	1,89
<i>Lessonia oreas</i>	24	8	6	11	11	18	4	1	9	7	9	13	1	0	0	1	0	3	7,00
<i>Lophonetta specularioides</i>	13	10	4	14	18	8	13	11	21	7	9	5	0	3	0	0	4	2	7,89
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0,33
<i>Phalaropus tricolor</i>	178	284	96	186	121	263	179	280	656	302	728	552	1	0	0	217	40	170	236,28
<i>Phoenicoparrus andinus</i>	2101	722	879	618	610	544	1113	887	989	1348	1184	340	921	966	105	609	859	834	868,28

Tabla 6-17. Número de aves registradas a través de censos en ambientes acuáticos en los monitoreos 2006-2023.

Especie	Número de individuos																		Promedio
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 (*)	2021	2022	2023	
<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	184	632	473	341	457	366	389	1026	477	155	397	95	37	769	29	135	337	84	354,61
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	762	395	314	211	459	491	269	386	248	650	336	516	350	943	41	849	517	722	469,94
<i>Pluvialis dominica</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11
<i>Podiceps occipitalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,06
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	30	4	0	0	0	0	2,17
<i>Recurvirostra andina</i>	286	96	95	142	129	143	170	120	87	173	66	113	178	158	0	78	196	310	141,11
<i>Spatula cyanoptera</i>	0	0	0	2	5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,50
<i>Spatula puna</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	2	0,33
<i>Tringa flavipes</i>	10	0	0	0	0	0	1	5	0	21	0	0	190	0	0	0	2	48	15,39
<i>Tringa melanoleuca</i>	0	7	20	130	6	28	5	33	18	13	5	10	4	0	0	0	1	4	15,78

(*) Datos 2020 provienen del Informe del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico – PMB Proyecto: "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA N°21/2016)". Informe Semestral N°9 Monitoreo invierno 2020. Noviembre 2020.

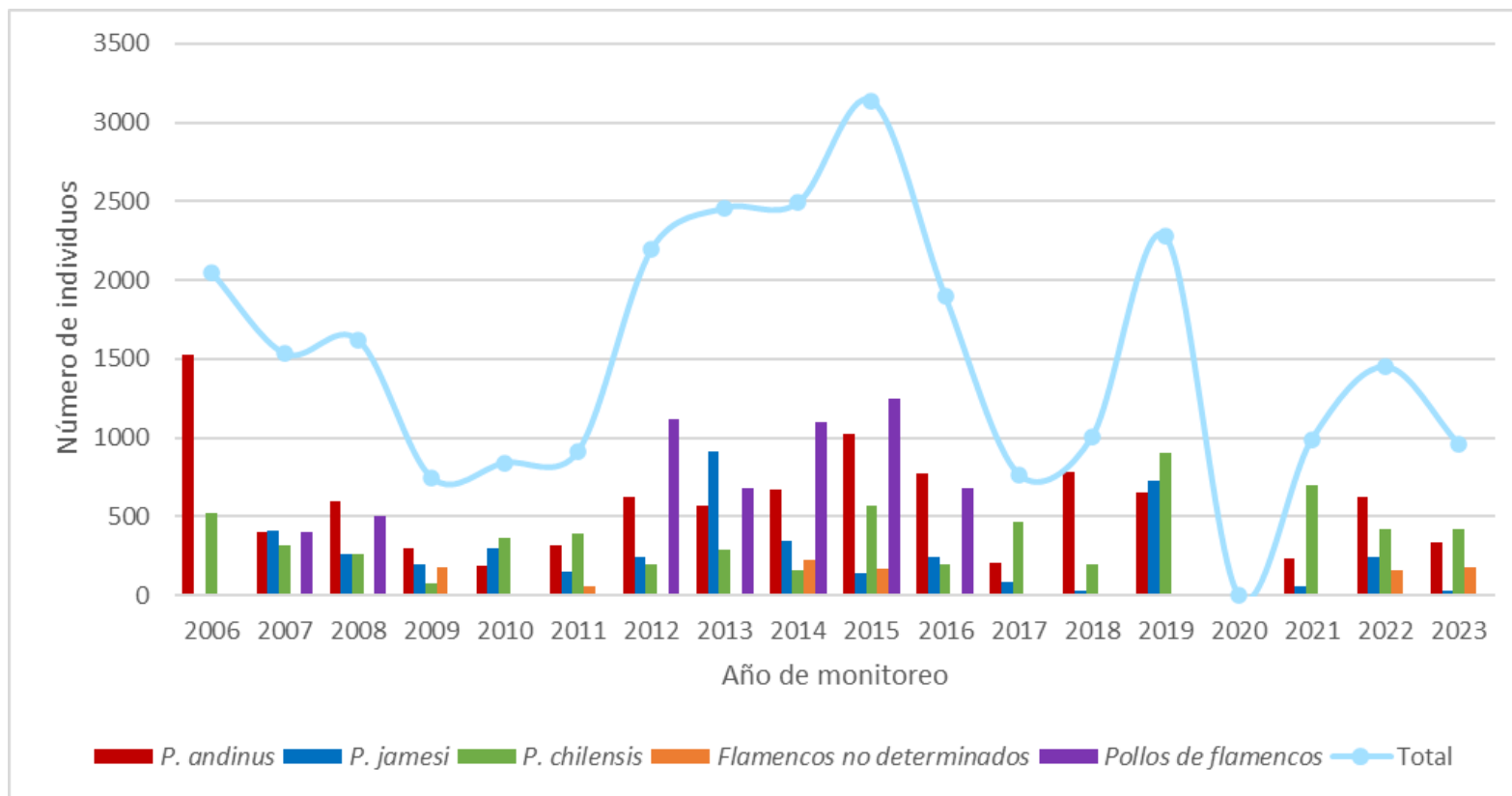
Con relación a las especies de flamencos, durante la campaña 2023, se registraron 960 individuos de flamencos en el Sistema lacustre Soncor, la especie con mayor abundancia corresponde al flamenco chileno (*P. chilensis*) registrando un total de 415 individuos, seguido por la parina grande (*P. andinus*) con 338 individuos. Por otra parte, la parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*), registró un total de 27 individuos. Los valores registrados en este sector durante la campaña de 2023 son menores en comparación a la campaña 2022, sin embargo, se encuentra dentro de las variaciones históricas que se han detectado a través de los monitoreos (Figura 6-39).

Cabe destacar que este sistema corresponde a un sitio de congregación de individuos reproductivos, lo que se ve reflejado en la abundancia de pollos registrada durante los años 2007, 2008 y durante el periodo 2012 – 2016.

Con relación a las distintas lagunas, para esta campaña 2023 las mayores abundancias de flamenco chileno (*P. chilensis*), se observaron en la laguna Barros Negros, mientras que la parina grande (*P. andinus*) y la parina chica (*P. jamesi*), fueron las especies más abundantes en la laguna Puillar (Tabla 5-54; ver 4.1.2.3).

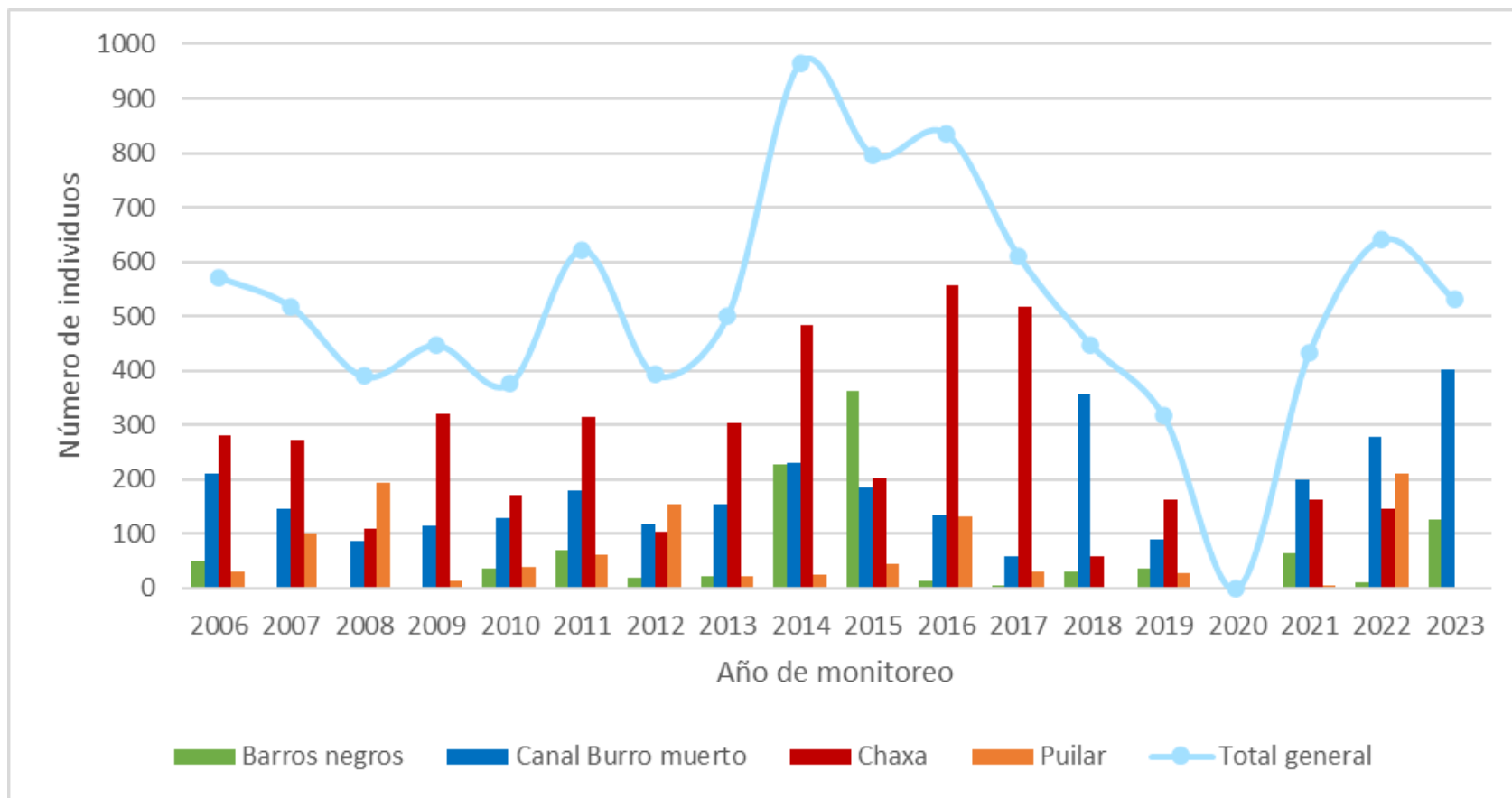
Con respecto al resto de las especies de aves presentes en el sistema lacustre Soncor (Figura 6-40), se puede observar que la abundancia total en el periodo está por sobre el promedio (530 individuos). Además, históricamente Chaxa es la laguna que ha congregado el mayor número de individuos, seguido en la mayoría de las veces por Canal Burro Muerto, el cual se ha posicionado en primer lugar durante las dos últimas campañas (Figura 6-40). Los datos de la campaña actual se encuentran dentro del rango normal histórico.

Figura 6-39. Abundancia de especies de flamencos en el Sistema lacustre Soncor. Campañas 2006 – 2023 (año 2020 no censado).



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-40. Abundancia de otras especies de aves (no flamencos) en el Sistema lacustre Soncor. Campañas 2006 – 2023 (año 2020 no censado).

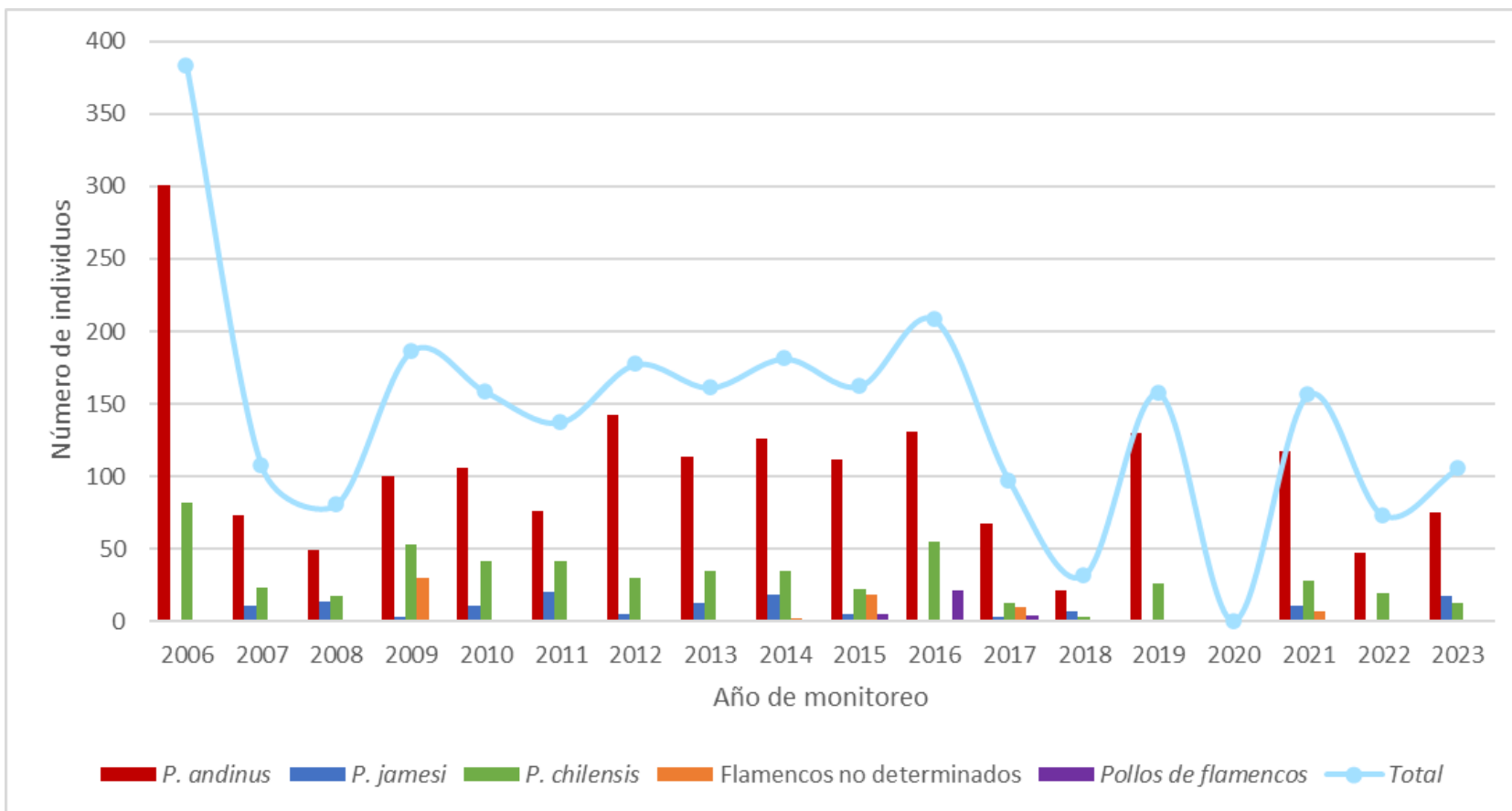


Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Los resultados obtenidos durante la presente campaña en el Sistema lacustre de Aguas de Quelana (Figura 6-41) demuestra que la abundancia de flamencos tiende a la oscilación. Durante todas las campañas de monitoreo, la especie que siempre ha mantenido las mayores abundancias corresponde a la parina grande (*P. andinus*), alcanzando en la actual campaña, la cantidad de 75 individuos (Figura 6-41). Con respecto al resto de las especies de aves presentes en Aguas de Quelana (Figura 6-42), se puede observar que durante los últimos siete años existe una tendencia a la disminución de estas especies en el sistema lacustre Aguas de Quelana.

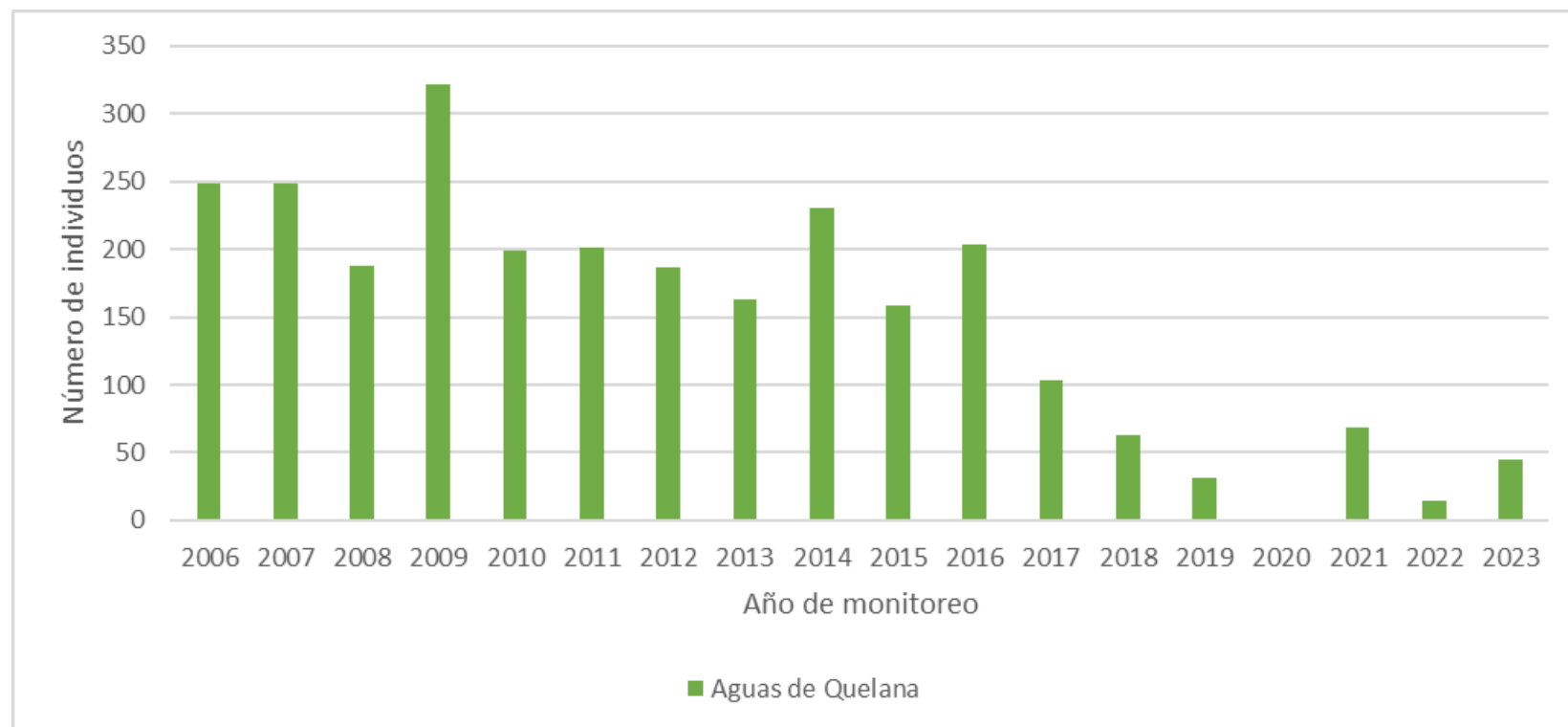
Es importante mencionar que el comportamiento de las oscilaciones en relación con la variabilidad del número de individuos responde a variaciones en la dinámica de desplazamientos entre algunos y/o salares dentro de su rango de distribución.

Figura 6-41. Abundancia de flamencos en el sistema lacustre Aguas de Quelana. Campañas 2006 - 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-42. Abundancia de aves acuáticas (no flamencos) en el sistema lacustre Aguas de Quelana. Campañas 2006 - 2023

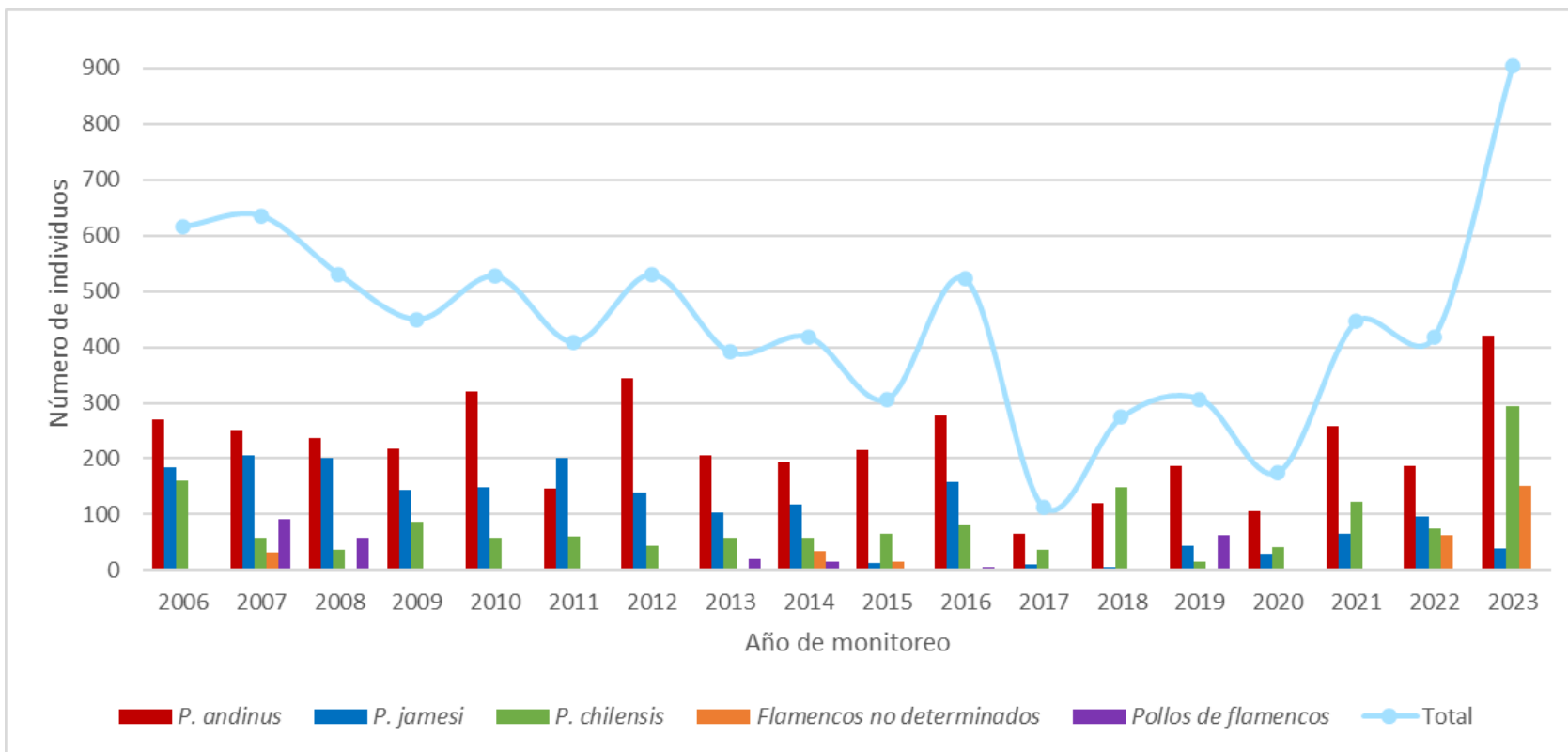


Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Finalmente, en el Sistema lacustre de Peine, la tendencia de los datos históricos disponibles muestra una oscilación en la abundancia de flamencos, con una disminución hasta el año 2017. Posteriormente a este año, el número de flamencos ha ido en aumento, evidenciándose en la campaña 2023, la mayor abundancia histórica con 905 individuos avistados en el Sistema lacustre Peine (Figura 6-43). La especie con mayor abundancia a través de los monitoreos corresponde a la parina grande (*P. andinus*), seguida desde el 2017 por el flamenco chileno (*P. chilensis*).

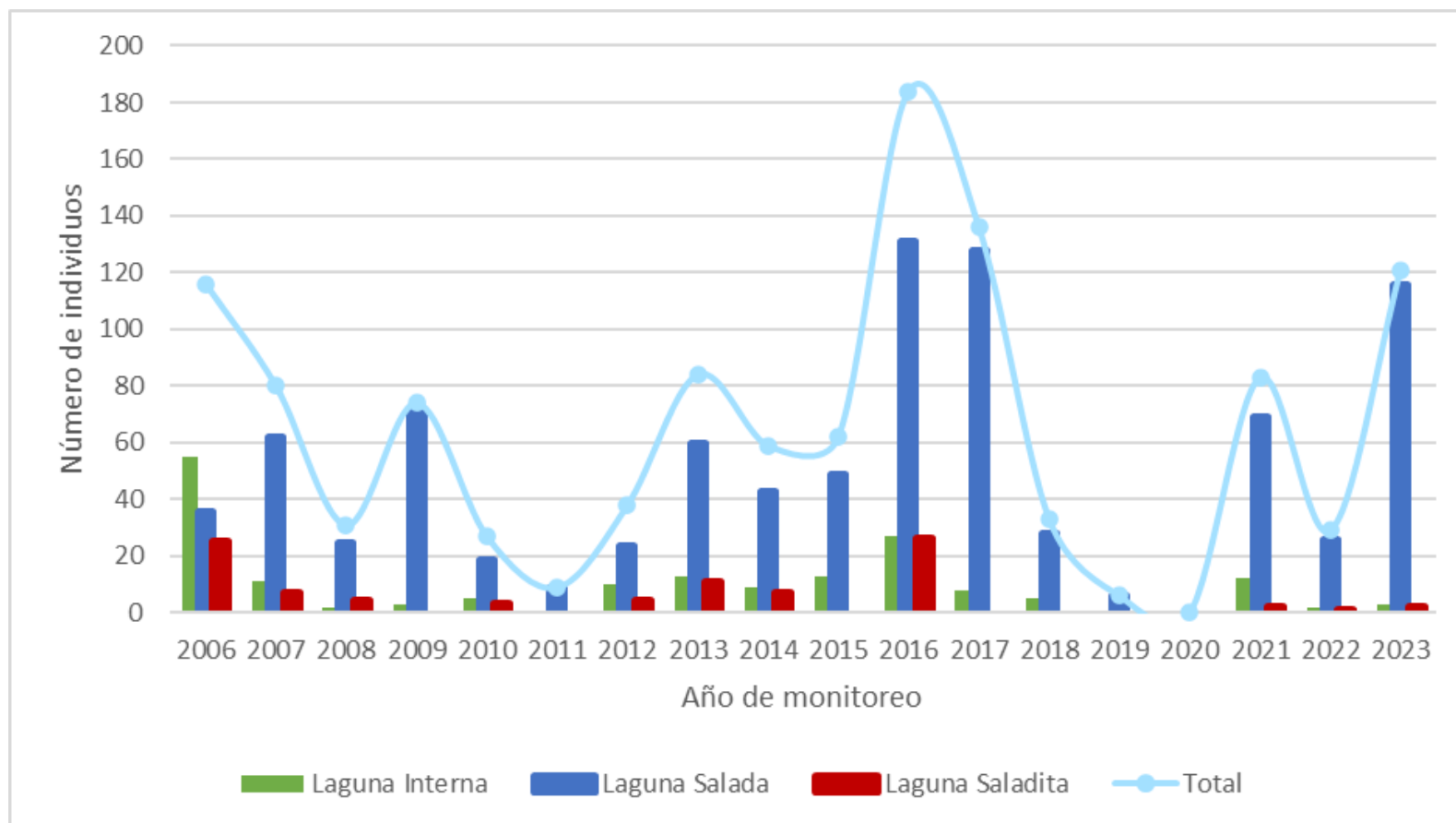
Con respecto al resto de las especies de aves presentes en los Sistemas lacustres de Peine (Figura 6-44), al igual que en el caso de los flamencos, evidencian una oscilación en su abundancia. Se puede observar que históricamente, la laguna Salada es el sector que ha congregado el mayor número de individuos, seguido por laguna Interna y finalmente laguna Saladita (Figura 6-44). Los datos de la campaña actual mantienen esta misma dinámica histórica. Cabe destacar que los datos bibliográficos del año 2020 no fueron incorporados al gráfico, dado que no se cuenta con la información por laguna, sino de todo el sistema.

Figura 6-43. Abundancia de flamencos en Sistema lacustre Peine. Campañas 2006 - 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-44. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023



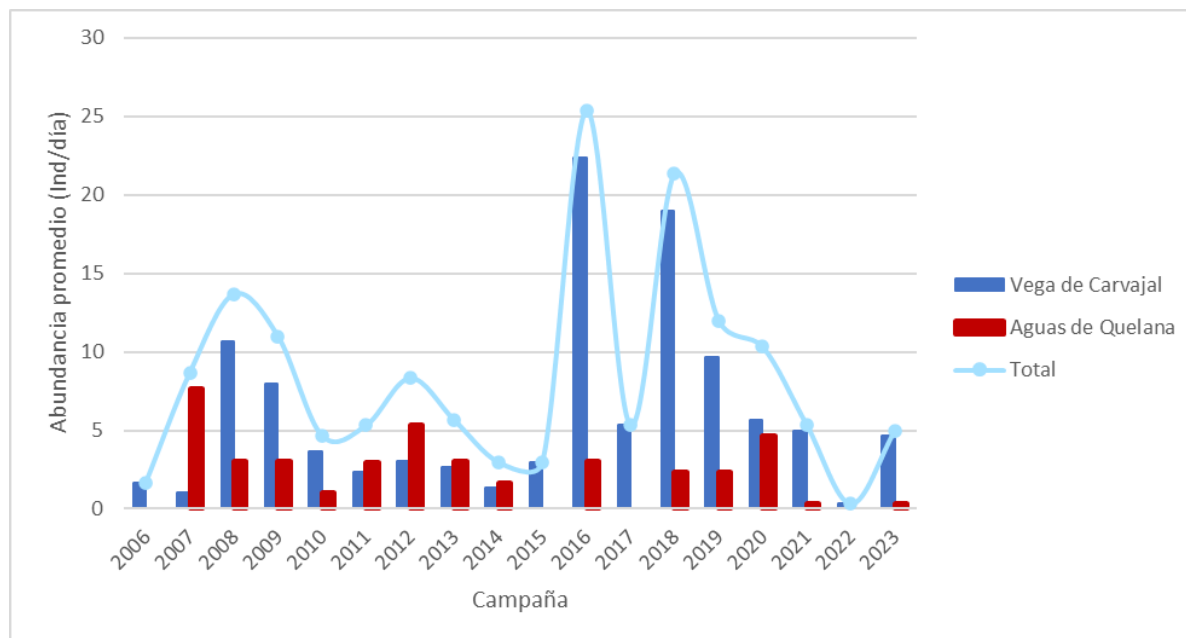
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.2.4 Abundancia de micromamíferos

En la campaña de monitoreo del periodo 2023, se obtuvo registro de micromamíferos en el sector Vegas de Carvajal (11 individuos de *Eligmodontia puerulus* y 2 individuos de *Abrothrix andinus*) y Aguas de Quelana (1 individuo de *E. puerulus* y 1 individuo de *Phyllotis xantophygus*). Este año se observa un aumento en la abundancia promedio con respecto al año pasado, sin embargo, desde el 2019 se evidencia una disminución en las abundancias de micromamíferos (Figura 6-45), esto puede explicarse, por las fluctuaciones naturales en la dinámica poblacional de cada especie.

Al comparar los valores de abundancia promedio según sector, es posible observar que las mayores abundancias tienden a registrarse en Vegas de Carvajal, registrando su máximo durante el año 2016, con 22,34 individuos capturados por día de trampeo; mientras que el sector Aguas de Quelana registró su máximo durante el año 2007 con 7,67 individuos/sector (Figura 6-45). Con respecto a la abundancia total, los monitoreos de los años 2016 y 2018 muestran un incremento de la abundancia respecto a las campañas anteriores, esto se atribuye a las fluctuaciones naturales en la dinámica poblacional de cada especie o a un aumento de la oferta trófica en el ambiente. Esta situación se puede relacionar con un desfase en el aumento de la oferta trófica en el ambiente, aspecto propio de las poblaciones de roedores donde se aprecia este tipo de fluctuaciones en función de la disponibilidad de recursos, producción primaria y precipitaciones, entre otros factores (Brown & Zeng, 1989).

Figura 6-45. Abundancia de micromamíferos en los sectores de estudio. Campañas 2006 - 2023

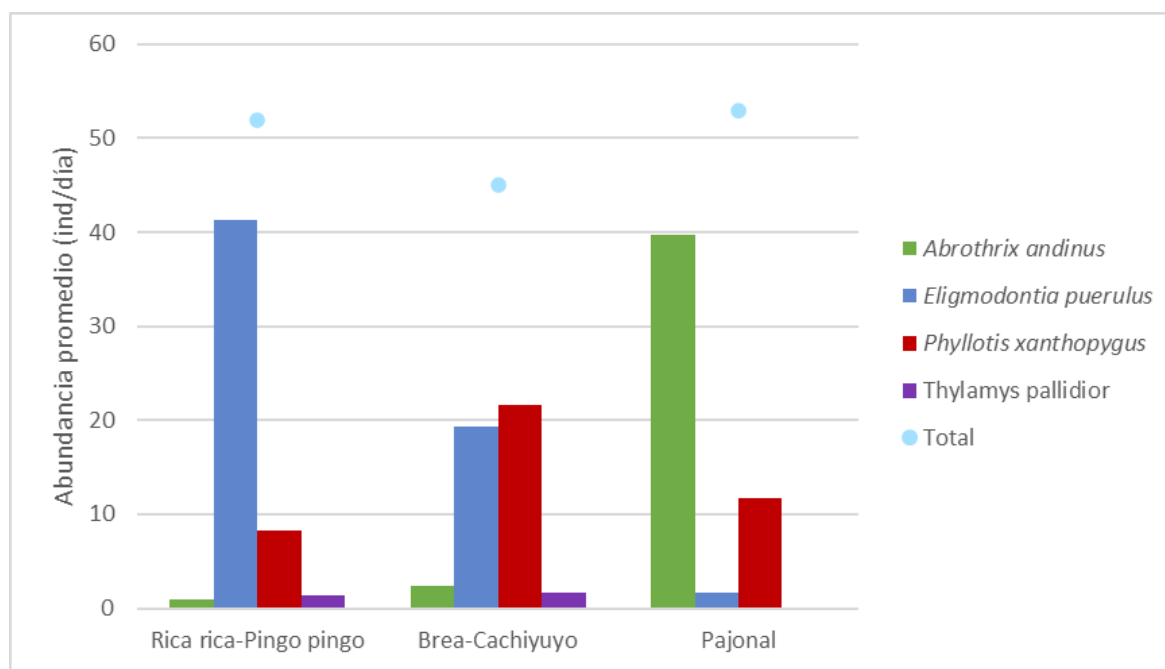


Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

El análisis de los registros históricos del seguimiento ambiental desde el año 2006-2023 en el borde este del Salar de Atacama, muestra un predominio de tres especies de clase Mammalia, las que se distribuyen en

función del ambiente en que viven (Figura 6-46): la especie *A. andinus* se encuentra predominantemente en ambientes de Pajonal (39,66 ind/hábitat), mientras que *Eligmodontia puerulus* se encuentra predominantemente en ambientes de Rica rica-Pingo pingo (41,32 ind/hábitat), por otra parte *Phyllotis xanthopygus* ha presentado una abundancia homogénea en los tres ambientes, pero con una predominancia en el ambiente de Brea-Cachiyuyo (21,67 ind/hábitat), seguido por *E. puerulus* (19,34 ind/hábitat). Por último, *Thylamys pallidior*, ha presentado los menores valores de captura, dando cuenta de sus bajas densidades poblacionales, así como su difícil captura. De esta forma, el ensamble de roedores varía en los distintos ambientes prospectados, en función de sus características, en donde el ratón andino (*A. andinus*) se encuentra asociado principalmente a sectores con humedad, en tanto que la lauchita de pie sedoso (*E. puerulus*) presenta preferencia por sitios de arbustos bajos y sectores más abiertos. En el caso del ambiente de características intermedias presenta una simpatria entre *P. xanthopygus* y *E. puerulus*.

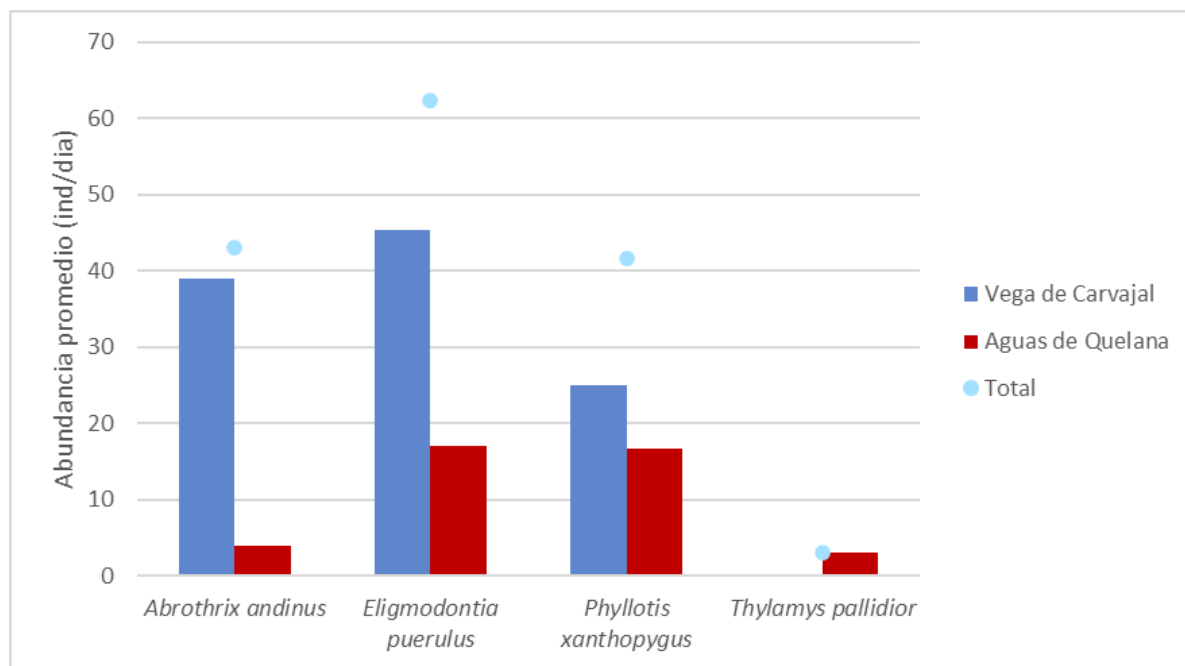
Figura 6-46. Abundancia de micromamíferos por tipo de hábitat. Campañas 2006 - 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

En cuanto a los sectores Aguas de Quelana y Vega de Carvajal correspondientes al estudio (Figura 6-47), la riqueza de especies es mayor en Aguas de Quelana en donde, hasta la fecha se han registrado cuatro especies capturadas durante los monitoreos, mientras que en Vega de Carvajal solo se han registrado tres de las cuatro especies que se han detectado históricamente en el borde Este del Salar de Atacama a través de trampas Sherman, no existiendo a la fecha registros de *T. pallidior* en el sector de Vegas de Carvajal (Figura 6-47).

Figura 6-47. Abundancia de micromamíferos en los sectores de estudio. Campañas 2006 - 2023



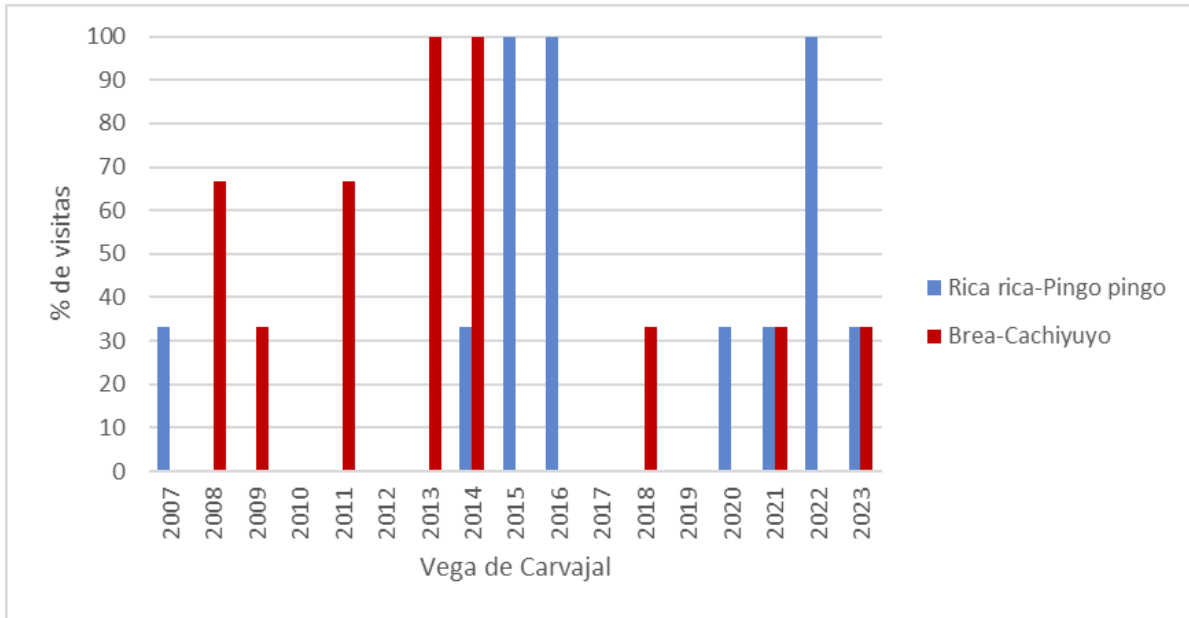
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.2.5 Abundancia de macromamíferos

En el presente monitoreo, hubo registro en tres [3] de las cuatro [4] estaciones olfativas, esto fue complementado con la metodología de trampas cámara en las mismas estaciones, a través de las cuales fue posible identificar la presencia de las dos especies presentes en el área de estudio, el zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*) y el zorro chilla (*Lycalopex griseus*). Así mismo, la presencia de zorro se pudo verificar mediante el registro de evidencia indirecta (huellas y fecas) en otros ambientes y sectores dentro del área de estudio.

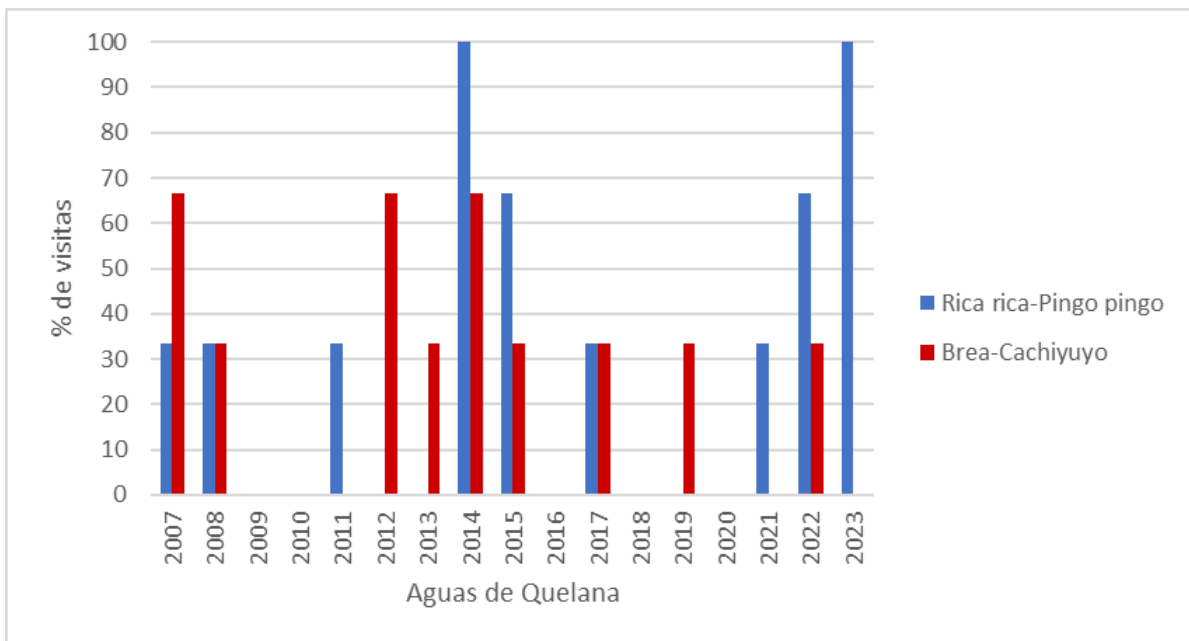
Durante los años de monitoreo (Figura 6-48, Figura 6-49), ha sido posible determinar la presencia de zorros en todos los años de monitoreo, a excepción de la campaña 2010, donde no hubo registros para estas especies, el resto de los años la detección ha sido en al menos uno de los dos sectores prospectados (Vega de Carvajal y Aguas de Quelana). Al comparar la cantidad de registros positivos acumulados hasta la fecha (Figura 6-50), hay una leve diferencia entre ambientes (29 registros en el ambiente Rica rica – Pingo pingo, y 26 registros en el ambiente de Brea - Cachiyuyo), sin embargo, la comparación entre sectores evidencia que ambos sectores poseen un similar número de registros positivos, con 28 registros en el sector Vega de Carvajal y 27 registros positivos en el sector de Aguas de Quelana. La ocupación regular de ambos ambientes y ambos sectores dan cuenta del amplio ámbito de hogar de estas especies.

Figura 6-48. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023



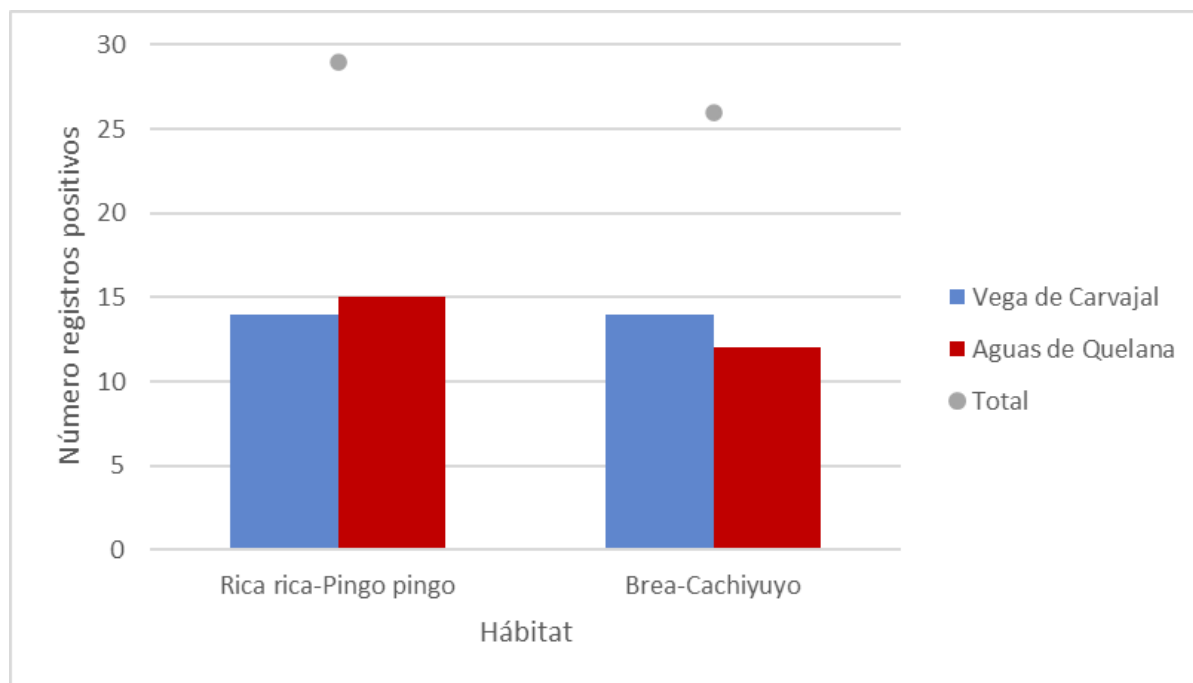
Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-49. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

Figura 6-50. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2023



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2023

6.3 Biota acuática

6.3.1 Medio abiótico

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ* en las matrices de agua y sedimento para cada sistema lagunar mostraron variaciones espaciales y temporales. Estas variaciones están influenciadas por las condiciones ambientales dominantes en cada periodo estacional como la escasa precipitación y la evaporación, que se estima entre 2 y 8 mm/día (Muñoz et al., 2004) influida por las precipitaciones estivales (enero a marzo) en la alta cordillera andina, cuya intensidad muestra ciclos de variación de 10 a 15 años con periodos de precipitación máxima (Cornellá et al., 2009). Las precipitaciones en la alta cordillera favorecen el aumento del volumen de agua de las lagunas, propiciando la formación de áreas de inundación circundantes a los cuerpos de agua superficiales permanentes.

Las características fisicoquímicas e hidrogeológicas de las lagunas difieren según su ubicación espacial y el origen de las aguas de abastecimiento. Las lagunas localizadas en el margen norte-este del salar de Atacama (Sistema Soncor) presentan una tipología de carácter permanente y de gran extensión (varias hectáreas), alimentadas por el canal Burro Muerto principalmente, el cual se nutre de manera subterránea a partir del abanico fluvial del tramo terminal del río San Pedro (Fernández-Turiel et al., 2005). En este sistema el aporte de procesos de afloramiento de aguas subterráneas desempeña un papel menor en el soporte de los cuerpos de agua. Los sistemas Puilar, Aguas de Quelana y Peine presentan una tipología lacustre de menor extensión,

y que son originados principalmente por la presencia de afloramientos de agua subterránea inducido por la presencia de la cuña salina asociada al acuífero del salar de Atacama (Cornellá et al., 2009). Estos afloramientos no obstante son soportados por sistemas hidrográficos independientes lo cual le otorga características fisicoquímicas independientes a los cuerpos de agua asociada a la orografía y recorrido subterráneo que realiza el agua previo a su afloramiento, las que son potenciadas por los procesos de evaporación y precipitación local. Como consecuencia, cada sistema lagunar se caracteriza por variabilidades espaciales y temporales en sus rasgos fisicoquímicos como temperatura, pH, Oxígeno disuelto, salinidad y conductividad de la columna de agua (estos dos últimos parámetros relacionados directamente con la concentración de iones disueltos en el agua) propios. Como consecuencia de las diferencias en la tipología y origen de los sistemas lagunares descritos, las diferencias observadas en las características fisicoquímicas medidas *in situ* en las lagunas es un rasgo esperado en los cuerpos de agua permanentes que se encuentran a lo largo del margen este del salar de Atacama (Cornella et al., 2009; Muñoz et al., 2004).

Por otra parte, los valores y concentraciones de los parámetros fisicoquímicos pueden variar debido al horario de la medición, en donde, la fluctuación diaria de la temperatura en la zona de estudio, que puede alcanzar grandes diferencias entre el día y la noche, llegando diferencias en ordenes de magnitud. Esta variabilidad térmica, puede ser ejemplificada en los valores de medición efectuados entre la estación BM-1 (4,90 °C) y las estaciones: CH-1 (26,15 °C), BN-3 (25,95 °C) y BN-2 (24,94 °C) con valores por sobre los 20 °C, y una media global de $17,57 \pm 7,66$ °C. Esto afecta la solubilidad del oxígeno, lo cual podría explicar las bajas concentraciones de oxígeno disuelto medidas en la presente campaña en las lagunas ($6,38 \pm 3,35$ mg/L). No obstante, los registros históricos han determinado bajas concentraciones de oxígeno disuelto en las distintas lagunas, con variaciones espaciales y temporales, al igual que el resto de los parámetros fisicoquímicos medidos, pero registrando las menores concentraciones en el año 2015.

La salinidad y conductividad eléctrica en la columna de agua se relacionan tanto a nivel puntual como histórico, con variaciones estacionales que pueden estar influenciadas con la tipología por la cual se nutren y alimentan las aguas de los distintos sistemas lagunares (Cornellá et al., 2009). Así mismo, la variabilidad de sus concentraciones pudiesen estar afectadas por la ciclicidad estacional e interanual de las precipitación y evaporación, factores que sumados a condiciones locales podrían ser parte de las tendencias observadas hacia un aumento de las concentraciones de iones en algunos sistemas lagunares, como Peine, así como al mantenimientos de comportamientos sinusoidales en otros sistemas como Aguas de Quelana con ciclos de salinidad y conductividad cada 20 años aproximadamente. En el caso del sedimento, sus características son consecuencia principalmente de procesos a muy largo plazo, dado que se encuentran bajo la acción erosiva constante del agua. Es en este sentido que observar diferencias en los descriptores fisicoquímicos de la columna de agua y el sedimento es esperable. Por ejemplo, en el sedimento, la conductividad registra concentraciones significativamente menores a los exhibidos en la columna de agua.

Respecto al pH, este describió una tendencia más estable que el resto de los parámetros fisicoquímicos evaluados de manera *in situ*, con concentraciones mayormente neutras o levemente alcalinas, con ciertas variaciones entre las distintas lagunas. Este patrón es esperable dada la alta concentración de sales que caracterizan los sistemas de humedales altoandinos hipersalinos.

6.3.1.1 Variabilidad interanual de las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua, Salar de Atacama

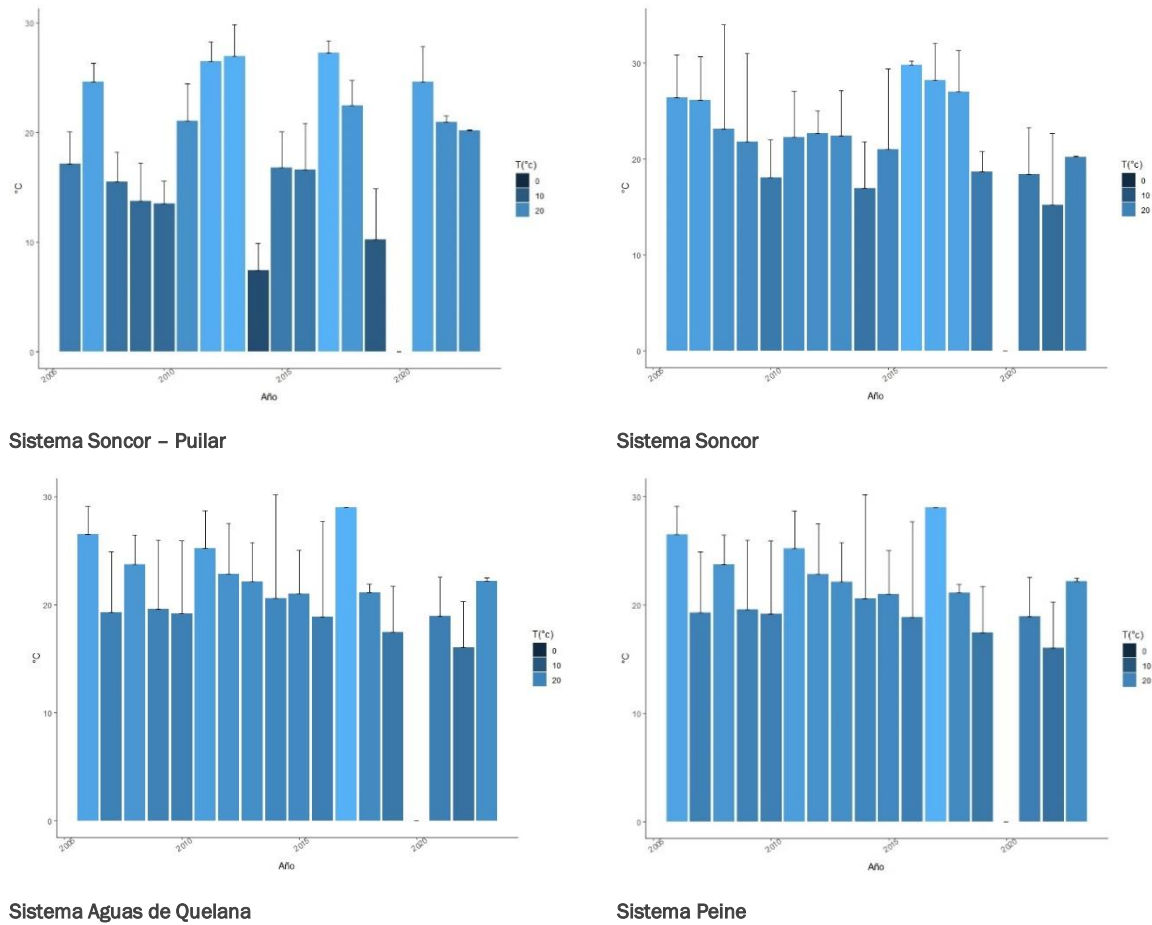
Integrando los resultados obtenidos en el presente Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) con los presentados en el monitoreo histórico denominado “Monitoreo Físico, Químico y Biológico (2022)” la geoquímica de las distintas lagunas describieron una composición iónica determinada por la concentración específica de ciertos cationes y aniones, que siguieron la siguiente ordenación decreciente: Cloruro > Sodio > Magnesio > Sulfato > Potasio, clasificación las lagunas, según el diagrama de Piper en aguas de tipo cloruro-sódicas, con excepciones temporales en la laguna Burro Muerto, por una composición de aguas cálcicas-magnésicas, con una codominancia con sulfatos. Lo que podría estar relacionados a la tipología por la cual se nutriría esta laguna (Fernández-Turiel et al., 2005).

Cabe indicar que en la comparación interanual no se incluyó el año 2020 debido a que no se realizaron muestreos durante dicho año, esto debido a la situación generada por la pandemia por Covid-19, donde las cuarentenas sanitarias impuestas por la autoridad no permitieron el monitoreo del año 2020 y por consiguiente no se pudieron obtener datos.

6.3.1.2 Temperatura

Los valores promedio históricos de temperatura en el sedimento para cada sistema lagunar exhibieron diferencias significativas (Student $t = 15,63$; $p < 0,05$), registrándose de forma decreciente los siguientes promedios por complejo lagunar: Soncor ($22,26 \pm 4,77$ °C), Aguas de Quelana ($21,38 \pm 4,20$ °C), Puilar ($19,17 \pm 2,51$ °C) y Peine ($16,42 \pm 3,50$ °C). Los valores máximos y mínimos promedio de temperatura para cada sistema hidrológico, mostraron una variabilidad tanto espacial (estación/laguna de muestreo) como temporal (año del registro), según las condiciones intrínsecas y ambientales de cada cuerpo de agua; sistema Puilar valores máximos en el año 2017 ($27,26 \pm 1,14$ °C) y mínimos en el año 2014 ($7,45 \pm 2,47$ °C). Sistema Soncor, valores máximos en el año 2016 ($29,83 \pm 0,35$ °C) y mínimos en el año 2022 ($15,24 \pm 7,42$ °C). Sistema Aguas de Quelana, valores máximos en el año 2017 ($29,01 \pm 0,0$ °C) y mínimos en el año 2022 ($16,03 \pm 4,26$ °C). Sistema Peine, valores máximos en el año 2013 ($9,20 \pm 3,93$ °C) y mínimos en el año 2017 ($29,23 \pm 3,66$ °C) (Figura 6-51).

Figura 6-51. Concentraciones históricas de temperatura en el sedimento para cada sistema hidrológico

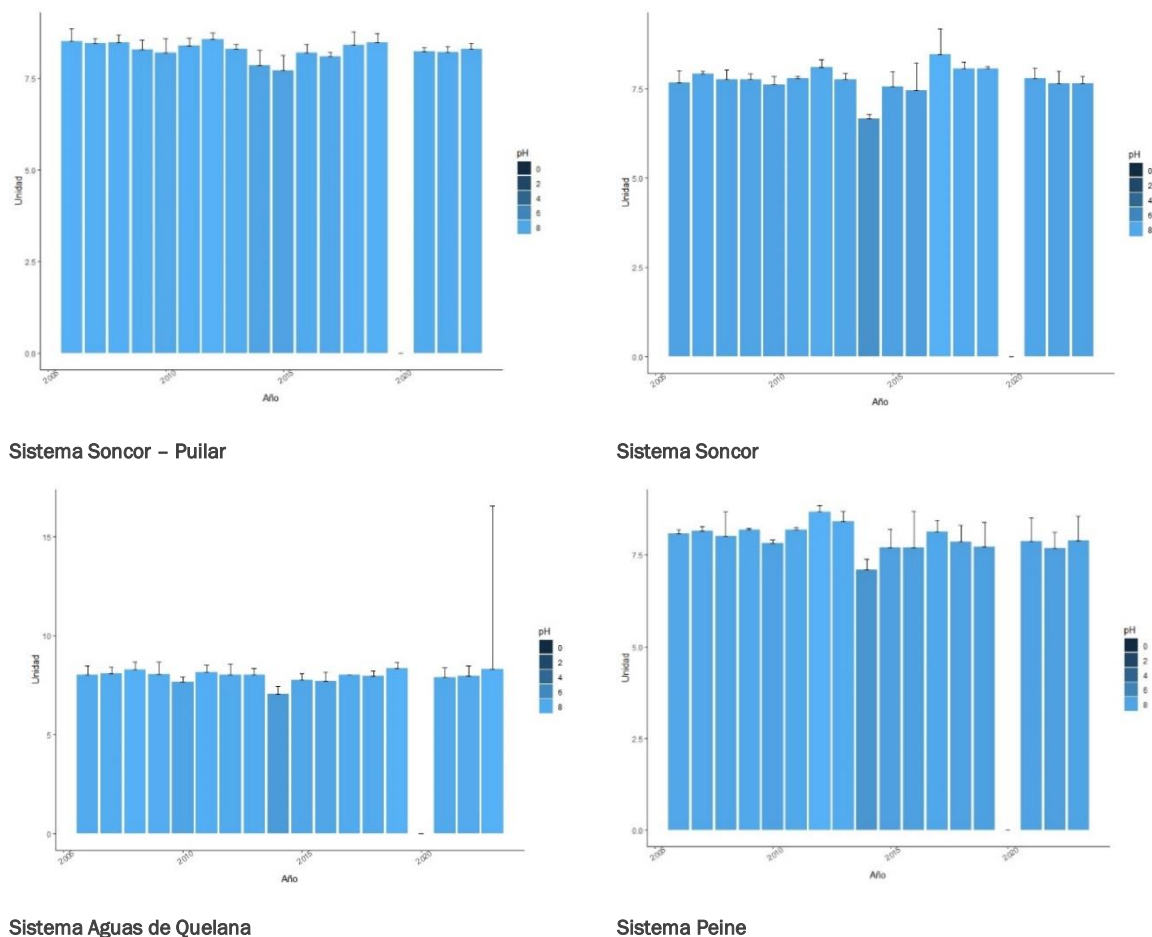


Fuente: Elaboración propia

6.3.1.3 pH

A nivel histórico, el pH mostró diferencias significativas temporales en los sistemas lagunares: Puillar ($t = 16,89$; $p < 0,05$), Aguas de Quelana ($t = 16,79$; $p < 0,05$), Soncor ($t = 16,67$; $p < 0,05$) y Peine ($t = 16,72$; $p < 0,05$), registrando los valores promedio históricos más altos en el sistema Puillar ($7,80 \pm 1,96$), seguido por Aguas de Quelana ($7,51 \pm 1,89$), Peine ($7,50 \pm 1,90$) y Soncor ($7,30 \pm 1,85$) (Figura 5 5). En el sistema Puillar, los valores fluctuaron entre 7,71 y 8,55, registrando los mayores y menores valores en los años 2012 y 2015, respectivamente (Figura 5 5). Un comportamiento más homogéneo a lo largo del tiempo fue reportado para los complejos lagunares de Soncor y Peine, los valores más bajos se reportaron en el año 2014 (Soncor = 6,66 unidades. Peine = 7,09 unidades) y los máximos en los años 2012 (Peine = 8,67 unidades) y 2017 (Soncor = 8,45 unidades) (Figura 5 5). Por otra parte, Aguas de Quelana mostró una mayor oscilación temporal en el pH, con valores neutros en el año 2014 (7,04 unidades) y más alcalinos en los años 2008 (8,29 unidades), 2019 (8,33 unidades) y 2023 (8,31 unidades) (Figura 6-52).

Figura 6-52. Concentraciones históricas de pH en la columna de agua para cada sistema hidrológico



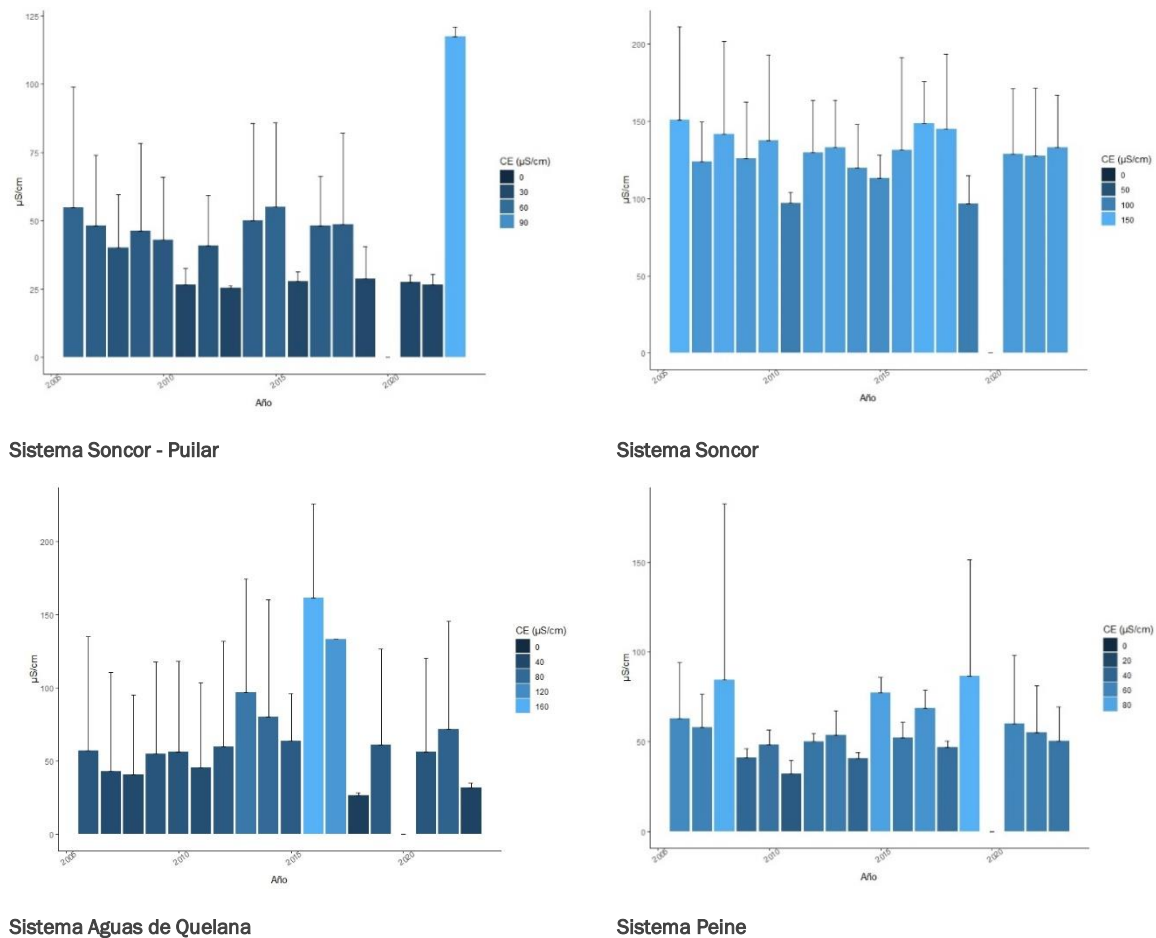
Fuente: Elaboración propia

6.3.1.4 Conductividad eléctrica en agua y sedimento

Los promedios históricos de conductividad eléctrica en la columna de agua de cada sistema lagunar (Puilar, Soncor, Aguas de Quelana y Peine) no exhibieron diferencias significativas (Wilcoxon, $W = 10$; $p = 0,07$), pero si describieron variaciones espaciales en sus promedios, registrando los mayores valores en el sistema Soncor ($128,48 \pm 36,80 \mu\text{s/cm}$), seguido por Aguas de Quelana ($67,14 \pm 53,85 \mu\text{s/cm}$), Peine ($57,04 \pm 21,66 \mu\text{s/cm}$) y Puilar ($44, 44 \pm 18,35 \mu\text{s/cm}$). Los promedios máximos y mínimos de conductividad para cada sistema hidrológico exhibieron una variabilidad tanto espacial (estación/laguna de muestreo) como temporal (año del registro), según las condiciones intrínsecas y microambientales de cada complejo lagunar; Puilar mostró promedios máximos en el año 2013 ($117,31 \pm 3,48 \mu\text{s/cm}$) y mínimos en el año 2023 ($25,50 \pm 0,57 \mu\text{s/cm}$). Soncor, promedios máximos en el año 2006 ($150,96 \pm 60,14 \mu\text{s/cm}$) y mínimos en el año 2019 ($96,69 \pm 18,20 \mu\text{s/cm}$). Aguas de Quelana, promedios máximos en el año 2016 ($161,70 \pm 63,75 \mu\text{s/cm}$) y mínimos en el año 2018 ($26,69 \pm 1,59 \mu\text{s/cm}$). Peine, promedios máximos en el año 2019 ($86,47 \pm 64,68 \mu\text{s/cm}$) y mínimos en el año 2011 ($32,28 \pm 7,65 \mu\text{s/cm}$) (Figura 6-53).

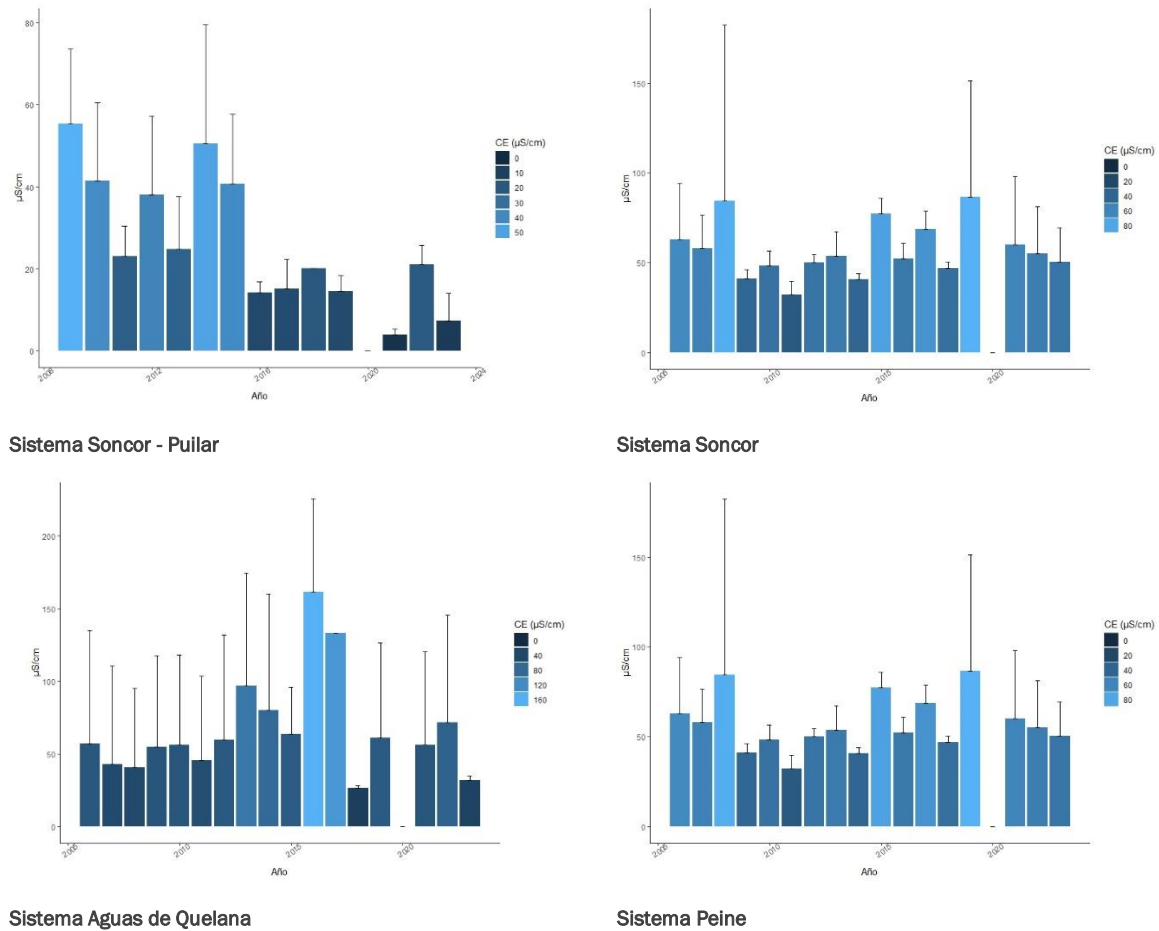
En el sedimento, los promedios históricos mostraron diferencias significativas entre los sistemas hidrológicos (Student t = 4,21; p < 0,05), exhibiendo la misma tendencia descrita por la conductividad en la columna de agua: Soncor (77,37 ± 22,39 μS/cm), Aguas de Quelana (53,59 ± 41,17 μS/cm), Peine (34,23 ± 10,33 μS/cm) y Puilar (26,47 ± 10,63 μS/cm). Por otra parte, a nivel de sistema, los promedios máximos y mínimos oscilaron temporalmente, no evidenciando algún patrón o tendencia en el tiempo. En el sistema Puilar, el promedio más alto fue reportado en el año 2009 (55,36 ± 18,24 μS/cm), mientras que el menor valor fue registrado en el año 2021 (3,98 ± 1,37 μS/cm). En Soncor, la media máxima fue presentada en el año 2012 (150,82 ± 27,02 μS/cm) y la menor en el año 2009 (13,18 ± 8,07 μS/cm). Aguas de Quelana, sus máximos y mínimos fueron exhibidos en los años 2016 (155,37 ± 51,81 μS/cm) y 2023 (5,07 ± 0,84 μS/cm), respectivamente. Sistema Peine, los promedios máximos y mínimos fueron reportados en los años 2015 (53,24 ± 13,68 μS/cm) y 2023 (12,70 ± 8,85 μS/cm), correspondientemente (Figura 6-54).

Figura 6-53. Concentraciones históricas de conductividad del agua para cada sistema hidrológico



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-54. Concentraciones históricas de conductividad en el sedimento para cada sistema hidrológico

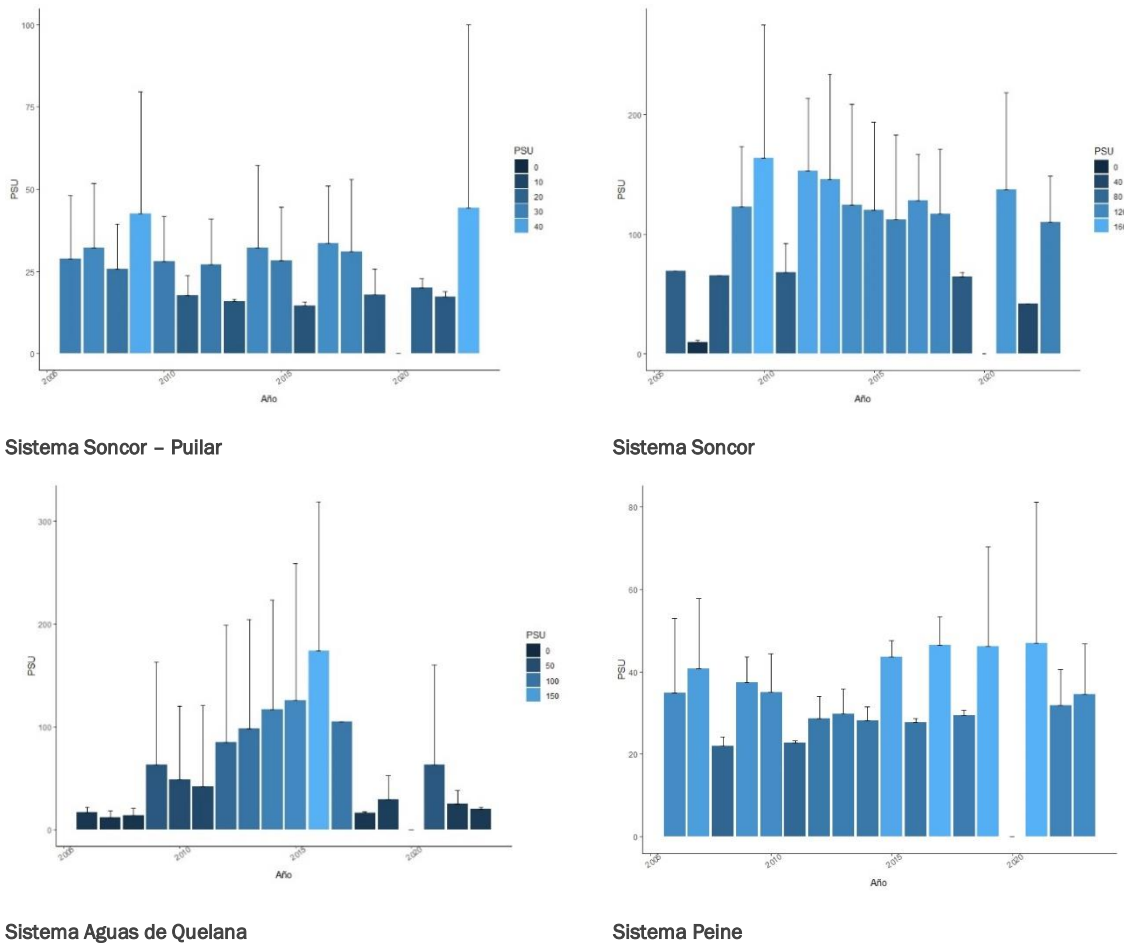


Fuente: Elaboración propia

6.3.1.5 Salinidad

Un patrón recurrente entre las lagunas presentes en el Salar de Atacama son las diferencias en los niveles de salinidad, hecho que es coincidente con lo observado para la conductividad eléctrica. Al respecto a lo largo de las campañas de seguimiento los valores dentro de cada sistema se han mantenido dentro de los rangos observados históricamente. Entre los sistemas Aguas de Quelana es el sistema que presenta la mayor variabilidad temporal, hecho que pudiese estar vinculado a que este sistema corresponde a un sistema alimentado por afloramientos provenientes de una red hídrica difusa, en donde se ha observado una variación temporal en la ocurrencia y extensión de los cuerpos de agua, lo que incide en los niveles de concentración de iones y consecuentemente salinidad. Incluye que sitios de observación secos.

Figura 6-55. Concentraciones históricas de salinidad del agua para cada sistema hidrológico

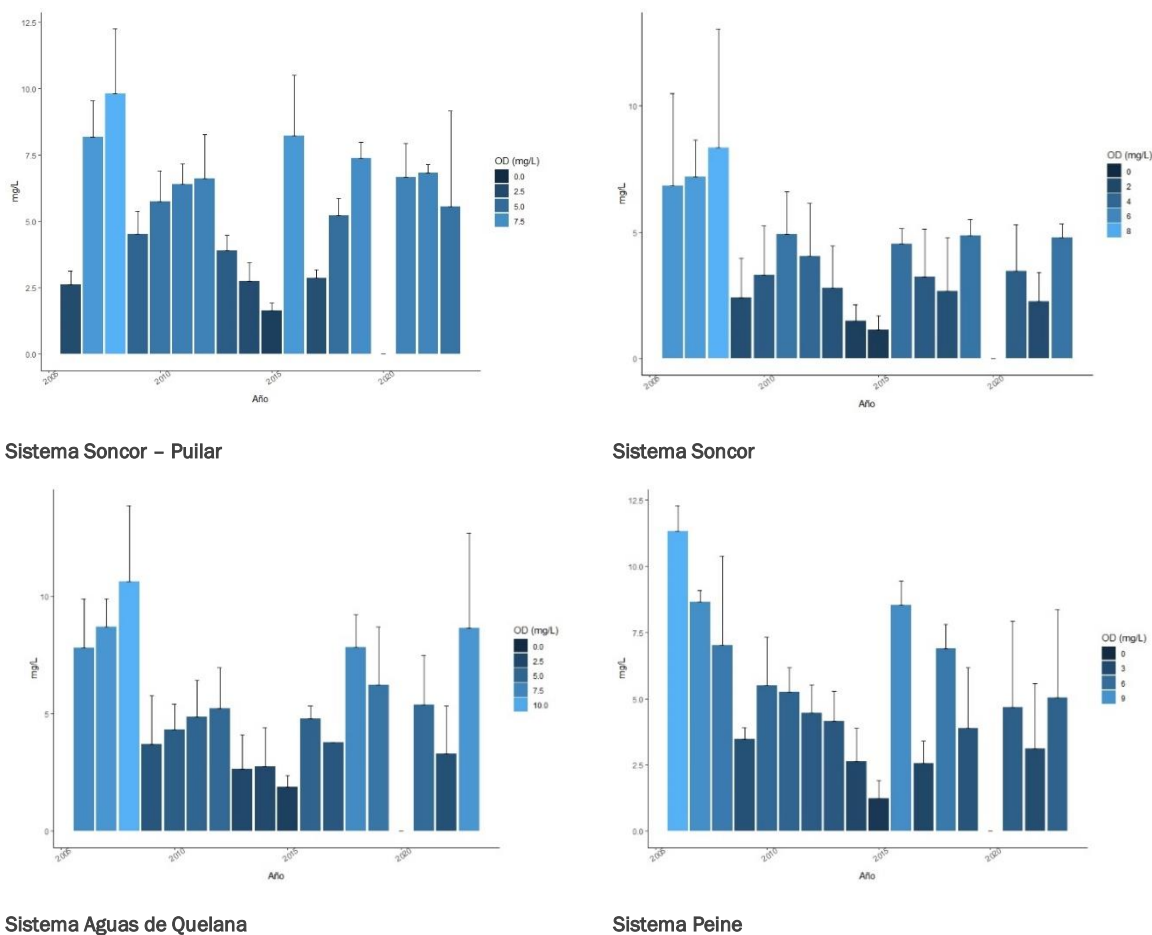


Fuente: Elaboración propia

6.3.1.6 Oxígeno Disuelto

Los registros históricos de oxígeno disuelto (OD) entre los distintos sistemas hidrológicos, no muestran diferencias estadísticas significativas (Wilcoxon, $W = 10$; $p = 0,12$). Los mayores valores de OD fueron observados en el sistema Puilar ($5,58 \pm 1,14$ mg/L), seguido por Aguas de Quelana ($5,44 \pm 1,71$ mg/L), Peine ($5,20 \pm 1,53$ mg/L) y Soncor ($4,02 \pm 1,69$ mg/L). En todos los sistemas se observa una amplia variabilidad temporal en el nivel de OD, registrándose valores que oscilan entre 9 mg/l a 1 mg/l. Si bien la magnitud de las oscilaciones difiere entre los sistemas, se observa un alto grado de concordancia en las oscilaciones entre los sistemas (Figura 6-56).

Figura 6-56. Concentraciones históricas de salinidad del agua para cada sistema hidrológico



Fuente: Elaboración propia

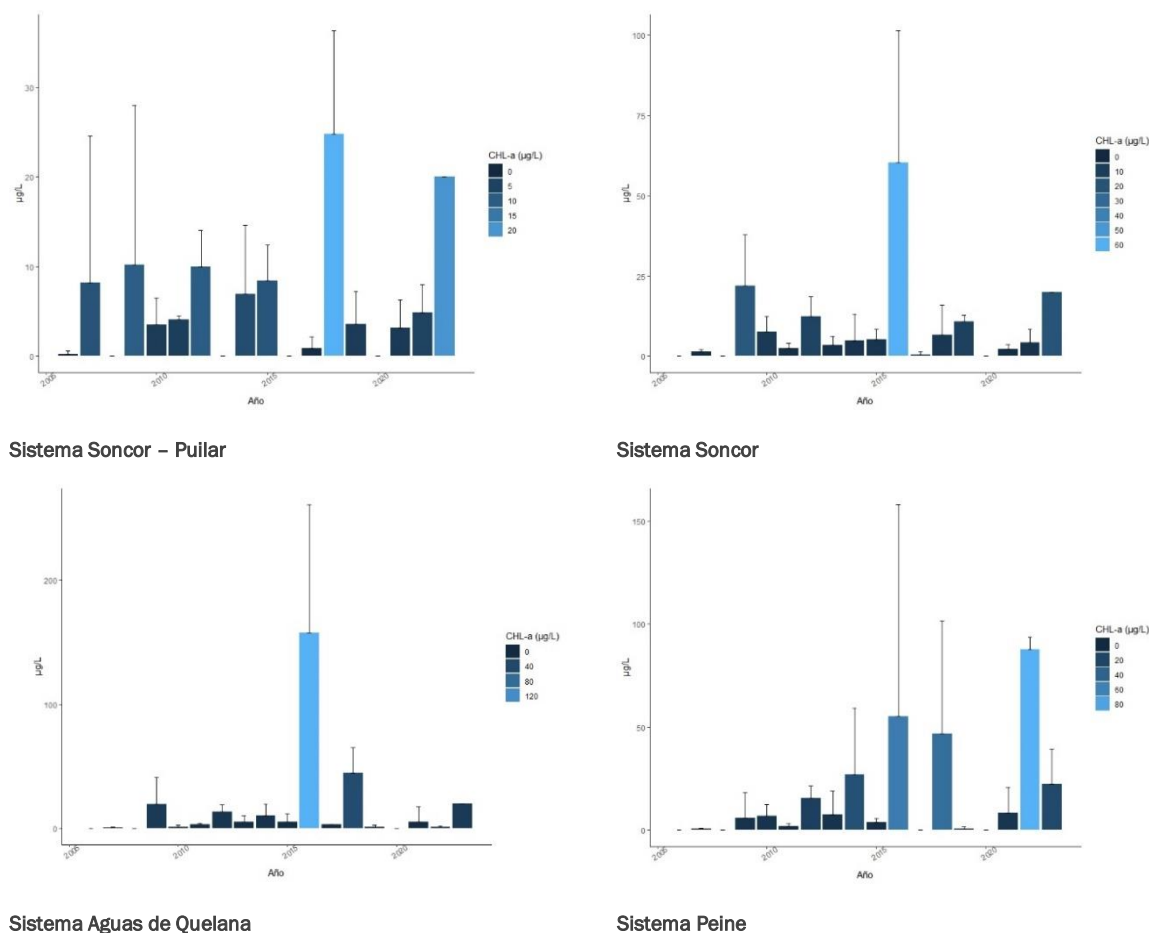
6.3.1.7 Clorofila-a fracción planctónica

A través del registro histórico, los valores más altos de clorofila fueron observados en los sistemas Aguas de Quelana y Peine (Aguas de Quelana = $16,24 \pm 10,53 \mu\text{g/L}$. Peine = $16,13 \pm 14,74 \mu\text{g/L}$). Las magnitudes registradas fueron significativamente mayores a las observadas en los otros sistemas hidrológicos (Student t = 4,64; $p < 0,05$) (Puilar = $6,05 \pm 4,24 \mu\text{g/L}$. Soncor = $9,13 \pm 5,68 \mu\text{g/L}$).

A nivel de sistema, se observaron diferencias significativas entre campañas. En el sistema Puilar, los mayores valores promedio de concentración de clorofila fracción planctónica en el año 2008 ($24,79 \pm 11,49 \mu\text{g/L}$), en contraste, a lo registrado en los años 2008, 2013 y 2016, donde prácticamente la productividad fitoplanctónica fue nula (Student t = 3,64; $p < 0,05$) (Figura 6-57). En el sistema Soncor, también reportó una fluctuación significativa de la concentraciones promedio de clorofila a nivel temporal. Las mayores concentraciones fueron registradas en el año 2016 ($60,33 \pm 41,02 \mu\text{g/L}$), mientras que los años 2006 y 2008, la productividad fitoplanctónica fue de $0,02 \mu\text{g/L}$, (Student t = 2,73; $p < 0,05$) (Figura 6-57). En Aguas de Quelana no se registró diferencias significativas entre campañas para la concentración de clorofila (Student t = 1,87; $p =$

0,07). Sin embargo, también se registró una oscilación similar a lo registrado para el sistema Soncor (Figura 6-57). Finalmente, en el complejo lagunar de Peine, también se registró una variación significativa en la concentración promedio de clorofila (Student t = 2,42; p < 0,05), en particular, el valor estimado en la campaña 2022 fue significativamente más alto al registrado en las campañas 2006 al 2008 (Figura 6-57).

Figura 6-57. Concentraciones históricas de clorofila planctónica para cada sistema hidrológico



Fuente: Elaboración propia

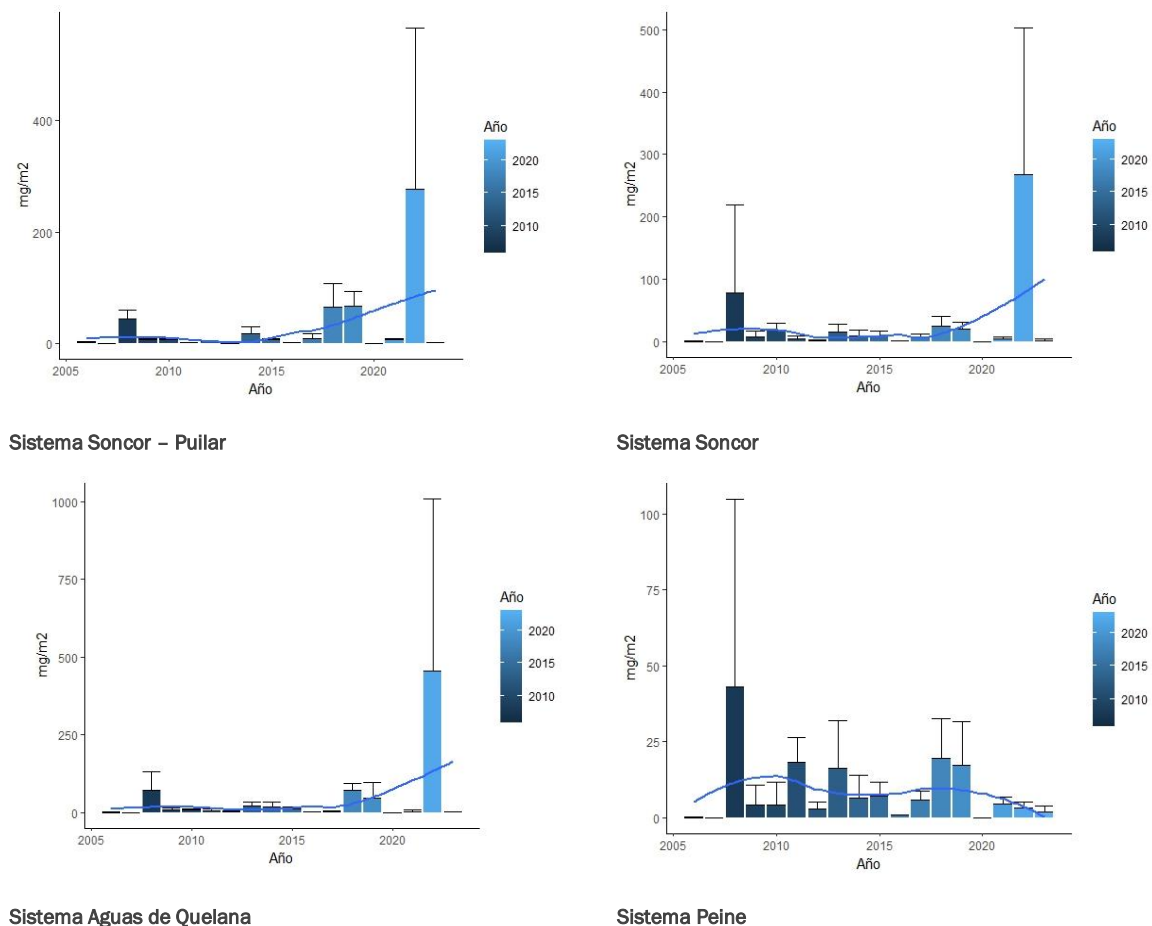
6.3.1.8 Clorofila-a fracción bentónica

A lo largo del registro histórico, la concentración de clorofila bentónica mostró variaciones estadísticamente significativas en el sistema Peine (Wilcoxon W = 136; p < 0,05). El valor estimado para la campaña 2008 fue significativamente mayor al observado en el resto de las campañas ($43,11 \pm 61,77 \text{ mg/m}^2$). Entre el resto de los monitoreos no se identificó variaciones significativas (Figura 6-58). En el sistema de Aguas de Quelana, también se registró variaciones significativas entre campañas describe una variabilidad temporal de sus estadísticos (Wilcoxon W = 136; p < 0,05). El valor estimado el año 2022 ($453,71 \pm 555,38 \text{ mg/m}^2$), fue significativamente mayor al observado en el resto de las campañas (Figura 6-58). En el sistema de Soncor, al igual que los casos anteriores, se ha registrado diferencias significativas en la concentraciones promedio de

clorofila a nivel temporal (Wilcoxon $W = 136$; $p < 0,05$). El valor registrado el año 2022 ($267,97 \pm 235,01$ mg/m²), fue significativamente mayor al observado en el resto de las campañas (Figura 6-58). Finalmente, para el sistema Puilar, también se registró variaciones significativas entre campañas (Wilcoxon $W = 136$; $p < 0,05$), el valor estimado en la campaña realizada el año 2022 ($267,97 \pm 235,01$ mg/m²), fue significativamente mayor al observado en el resto de las campañas (Figura 6-58).

Al contrastar entre los sistemas, los valores promedio global histórico de clorofila bentónica en se registraron diferencias significativas (Student $t = 3,96$; $p < 0,05$), destacando el sistema Aguas de Quelana con el mayor valor promedio ($40,02 \pm 105,78$ mg/m²), seguido por Puilar ($28,13 \pm 65,82$ mg/m²), Soncor ($25,85 \pm 63,09$ mg/m²) y Peine ($8,60 \pm 10,62$ mg/m²) (Figura 6-58).

Figura 6-58. Concentraciones históricas de clorofila bentónica para cada sistema hidrológico



Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Medio biótico

En ambientes hipersalinos, las comunidades biológicas muestran dinámicas de bento-pelágicas altamente cohesionadas (Albarracín et al., 2015). Entre los diferentes sistemas, términos globales, se observaron

diferencias en la estructura y composición de los ensamblajes de microalgas (fitobentos y fitoplancton), mientras que en el caso de la fauna plantónica y béntica la estructura comunitaria fue mayormente homogénea entre los distintos sistemas hidrológicos.

Se identificó la presencia exclusiva de la especie *Ruppia filifolia* en tres sistemas lagunares: Puilar, Aguas de Quelana y Peine. Esta especie ofrece la oportunidad de crear praderas acuáticas y nuevos hábitats que pueden servir como refugio, áreas de alimentación y reproducción para las especies residentes en los sistemas de salares, como se ha evidenciado en estudios previos (CEA, 2020; Jara et al., 1995).

6.3.2.1 Fitobentos

En general, para el fitobentos se observó una alta heterogeneidad entre los sistemas hidrológicos para los diferentes descriptores ecológicos. En Aguas de Quelana y Soncor, se registraron altos valores de riqueza y diversidad específica para las comunidades presentes, mientras que Peine exhibió una comunidad de baja diversidad y dominada por un número reducido de especies, en donde el taxón *Diatoma* sp. fue el dominante. Esta observación también se ve reflejada en términos de la serie de tiempo, observándose una alta variabilidad tanto en la riqueza como en la abundancia. Al evaluar estadísticamente los registros históricos (2006 – a la fecha) de abundancia y riqueza específica para el sistema hidrológico de Puilar, se observó diferencias significativas en las densidades promedio de abundancia (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$), las mayores abundancias fueron registradas en el año 2007 ($15.025.600 \pm 33.271.928$ cel/cm³), la cual se destaca muy por encima de la densidad promedio global del sistema ($1.159.658 \pm 3.500.141,16$ cel/cm³). Las menores concentraciones de abundancia, exceptuando el año 2020 por el escenario de pandemia, fueron registradas en el año (2023), con una media de $1.483,50 \pm 687$ cel/cm³ (Figura 6-59). La riqueza específica también describió diferencias significativas entre los distintos años de registro (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$), con los mayores valores de riqueza de taxa exhibidos entre los años 2013 ($62 \pm 7,8$ taxa) y 2014 ($68 \pm 2,1$ taxa), ambos años por sobre la media global de registros ($21,66 \pm 20,98$ taxa). En contraste, el año 2023, mostró la menor riqueza de taxa de la comunidad de fitobentos, con una media de $4,83 \pm 3,01$ taxa (Figura 6-60).

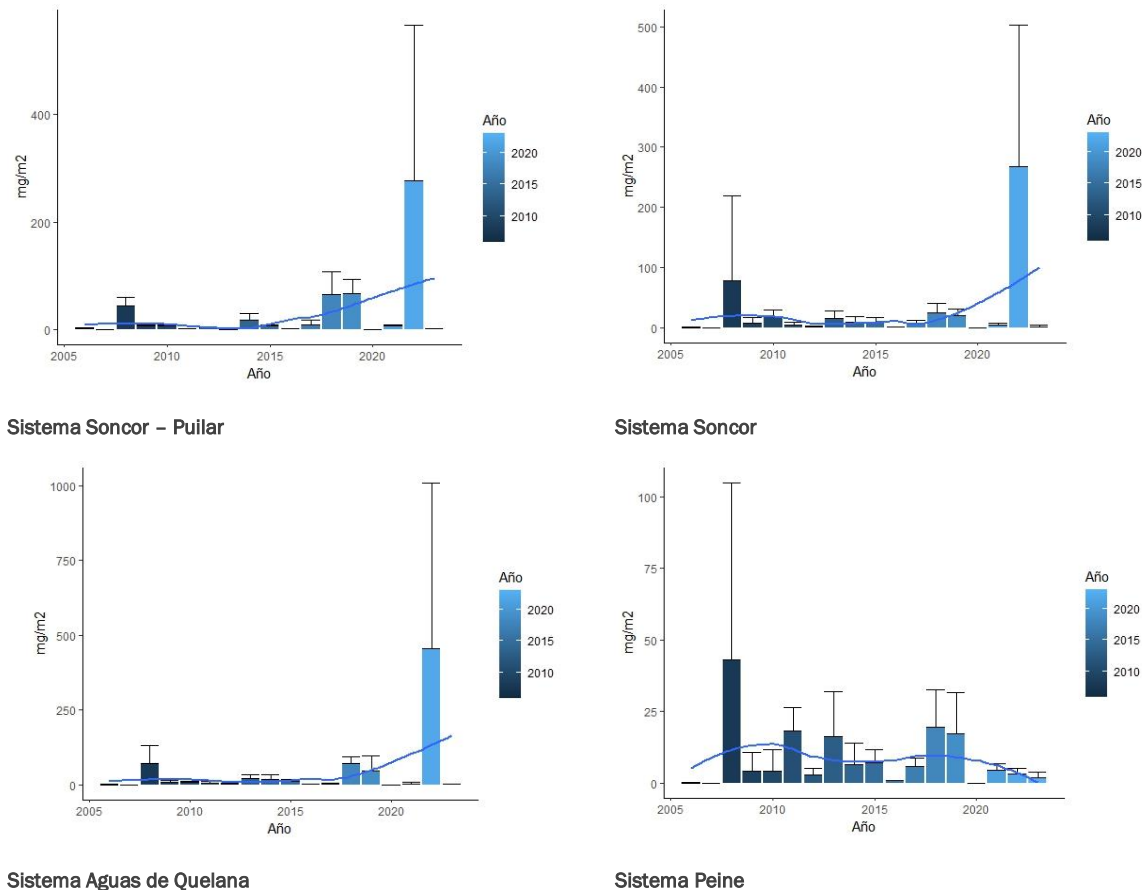
En el sistema hidrológico de Soncor se observaron diferencias significativas en las abundancia promedio a nivel histórico (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$). Las mayores concentraciones de fitobentos promedio fueron observadas en el año 2022 ($4.892.737,90 \pm 7.149.721,70$ cel/cm³) y las menores concentraciones promedio en el año 2023 ($4761,2 \pm 6075,2$ cel/cm³) (Figura 6-59). La riqueza específica, también reportó diferencias significativas a lo largo de los años de registro (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$) con los mayores valores de riqueza entre los años 2013 ($65 \pm 5,0$ taxa) y 2014 ($67 \pm 2,2$ taxa), y los menores registro en el año 2007 ($4,0 \pm 2,5$ taxa) (Figura 6-60).

En Aguas de Quelana también se registraron diferencias significativas a lo largo del tiempo (Wilcoxon $W = 153$, $p < 0,05$), con un pico de abundancia promedio en el año 2019 ($9.643.846,40 \pm 10.590.637,40$ cel/cm³), el cual se encuentra muy por encima del promedio global de abundancia ($1.271.881,0 \pm 2.488.275,24$ cel/cm³). Mientras que, el valor promedio menor fue reportado en el año 2023 ($2.794 \pm 63,64$ cel/cm³) (Figura 6-59). La riqueza específica, también exhibió diferencias significativas entre los valores promedio históricos (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$), con el mayor número de taxa determinado en el año 2014 ($68 \pm 16,3$ taxa), y el menor valor descrito en el año 2007 ($4 \pm 2,4$ taxa) (Figura 6-60).

El sistema de Peine describió diferencias significativas (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$) en los valores promedio de abundancia de fitobentos, a lo largo de la serie de tiempo, pero con picos de abundancia en los años 2019 ($9.562.037,50 \pm 11.354.927,80$ cel/cm³) y 2021 ($6.575.122,80 \pm 6.324.369,70$ cel/cm³), y los menores valores promedio registrados en el año 2008 ($4.004,40 \pm 5.293,10$ cel/cm³) (Figura 6-59). La riqueza específica, también mostró variaciones temporales significativas (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$), con alzas de riqueza en los años 2013 ($65 \pm 9,1$ taxa) y 2014 ($76,0 \pm 5,8$ taxa), y los menores valores en el año 2007 ($3,0 \pm 1,9$ taxa) (Figura 6-60).

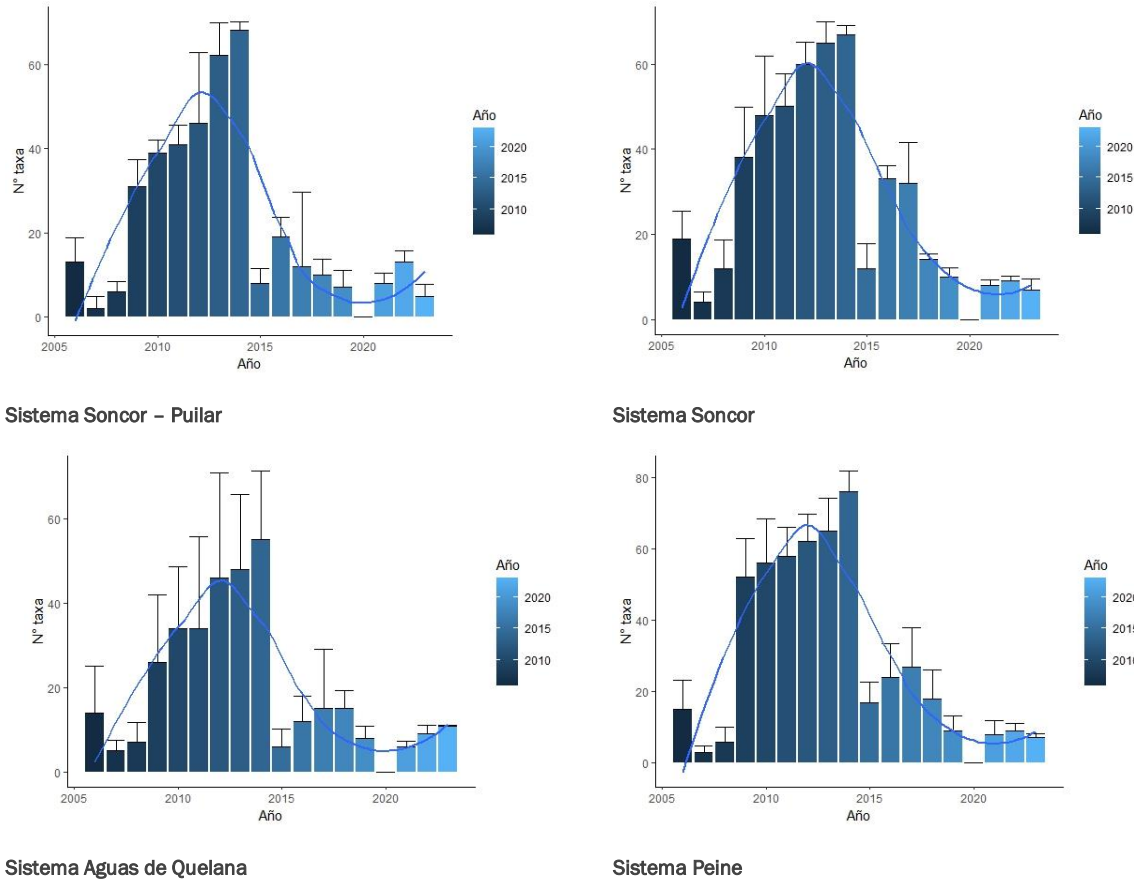
Para este ensamble de organismos, la concentración de la clorofila bentónica es un indicador de la productividad primaria y de biomasa del componente. Y como fue señalado, se registró en el año 2022 las mayores concentraciones del fitopigmento, posiblemente debido a afloraciones masivas de microalgas.

Figura 6-59. Comparación de valores promedio históricos de abundancia para el fitobentos en los distintos sistemas hidrológicos



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-60. Comparación de valores promedio históricos de riqueza para el fitobentos en los distintos sistemas hidrológicos



Fuente: Elaboración propia

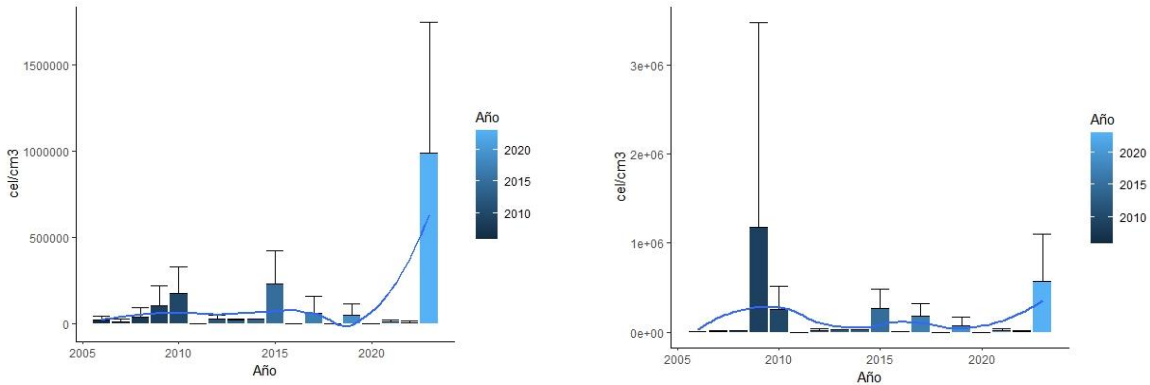
6.3.2.2 Fitoplancton

A nivel de ensambles, para el fitoplancton se registró una amplia variabilidad entre los diferentes sistemas, y lagunas, y entre las campañas de evaluación. Por ejemplo, en el sistema de Aguas de Quelana, Puilar y Saladita se registró un alto grado de diversidad en contraste a lo reportado en las lagunas Interna y Chaxa, las cuales describieron comunidades altamente dominadas por pocas especies tales como *Diatoma sp* y *Navicula sp.*. En términos del registro histórico, los sistemas hidrológicos evaluados, Aguas de Quelana, Puilar, Soncor y Peine), muestran una tendencia al alza respecto a la abundancia, y un cierto grado de estabilidad en la riqueza específica, excepto para el sistema Soncor que ha mostrado un decrecimiento continuo en sus valores promedio. En términos de la biomasa, descrita a través del nivel de clorofila planctónica, (productividad primaria) (Barocio-León et al., 2007), los resultados sugieren una importante variabilidad entre los sistemas hídricos, lo cual podría ser reflejo de las diferencia en los orígenes de las aguas, características físico-químicas de las diferentes lagunas dentro de los sistemas.

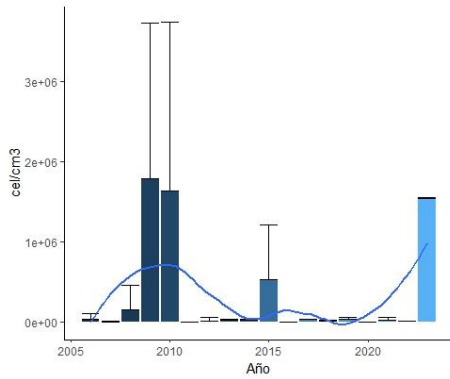
Al contrastar los registros históricos (2006 – a la fecha) de abundancia y riqueza específica para cada uno de los sistemas hidrológicos, los resultados muestran una alta variabilidad temporal, destacándose la ocurrencia de marcados incrementos de abundancia, los que no son sostenidos en el tiempo. El origen de estos picos de abundancia podría estar vinculado a procesos generalizados dentro del salar dado que se observa un grado de sincronía entre las lagunas. En el sistema hidrológico de Puilar a nivel histórico se observó diferencias significativas en las concentraciones promedio de abundancia (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$), las mayores abundancias se registraron en el año 2023 (989.500 ± 757.963 cel/L), muy por encima de la concentración promedio global ($99.305,54 \pm 3.231.167,62$ cel/L). Mientras que los menores valores de abundancia fueron registrados en los años 2011 ($714 \pm 461,9$ cel/L) y 2018 ($507,9 \pm 302,7$ cel/L) (Figura 6-61). En el caso de la riqueza específica, también se describió diferencias significativas entre los distintos años (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$), con los mayores registros de riqueza en el año 2011 ($26 \pm 11,20$ taxa) y los menores valores en los años 2012 ($2 \pm 1,10$ taxa) y 2017 ($3 \pm 3,30$ taxa), muy por debajo de la media global de registros ($7,87 \pm 5,79$ taxa) (Figura 6-62).

El sistema hidrológico de Soncor, al igual que Puilar, mostró diferencias significativas en las abundancias promedio a nivel histórico (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$), con valores máximos de abundancia promedio en el año 2009 ($1.180.000 \pm 72.296.832,10$ cel/L) y los menores valores promedio en el año 2011 ($432 \pm 160,4$ cel/L) (Figura 5 28). La riqueza específica también reportó diferencias a lo largo de los años de registro (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$) con los mayores valores en el año 2011 ($19 \pm 10,3$ taxa) y valores mínimos en el año 2012 ($1 \pm 2,1$ taxa) (Figura 6-62). En Aguas de Quelana se observaron variaciones significativas entre campañas (Wilcoxon $W = 153$, $p < 0,05$), con un pico de abundancia promedio en los años 2009 ($1.788.000 \pm 1.947.775,40$ cel/L) y 2010 ($1.632.500 \pm 2.114.895,90$ cel/L), muy por sobre el promedio global de abundancia ($326.568,99 \pm 624.812,10$ cel/L). Mientras que, el menor registro fue reportado en el año 2016 ($300 \pm 360,6$ cel/L) (Figura 6-61). La riqueza específica, también estableció diferencias significativas entre los valores promedio históricos ($t = 6,64$; $p < 0,05$), con el mayor número de taxa evaluado en el año 2011 ($24 \pm 8,1$ taxa) y los menores valores entre los años 2016 (2 ± 2 taxa) y 2017 ($2 \pm 0,0$ taxa) (Figura 6-62). Los resultados para el sistema de Peine, son similares a los descritos para los otros sistemas, destacándose variaciones significativas en los valores promedio de abundancia a lo largo de la serie de tiempo (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$). Los máximos correspondieron a alzas puntuales de abundancia en los años 2009 ($2.295.000 \pm 2.810.660,50$ cel/L) y 2023 ($3.811.833,33 \pm 4.725.975,14$ cel/L), y el menor valor promedio se observó en el año 2011 (752 ± 598 cel/L) (Figura 6-61). La riqueza específica, también mostró oscilaciones significativas a nivel temporales (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$), con picos de riqueza en el año 2011 ($30 \pm 17,4$ taxa) y valores mínimos en el año 2012 ($2 \pm 0,7$ taxa) (Figura 6-62).

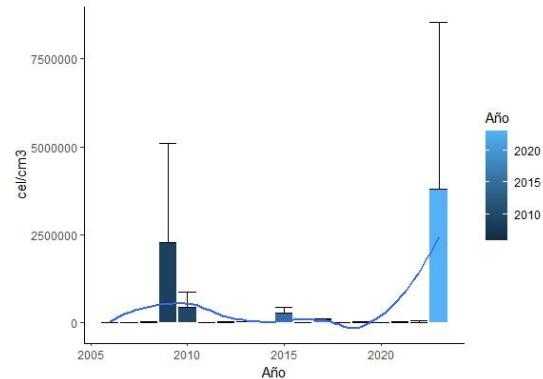
Figura 6-61. Comparación de valores promedio históricos de abundancia para el fitoplancton en los distintos sistemas hidrológicos



Sistema Soncor – Puillar



Sistema Soncor

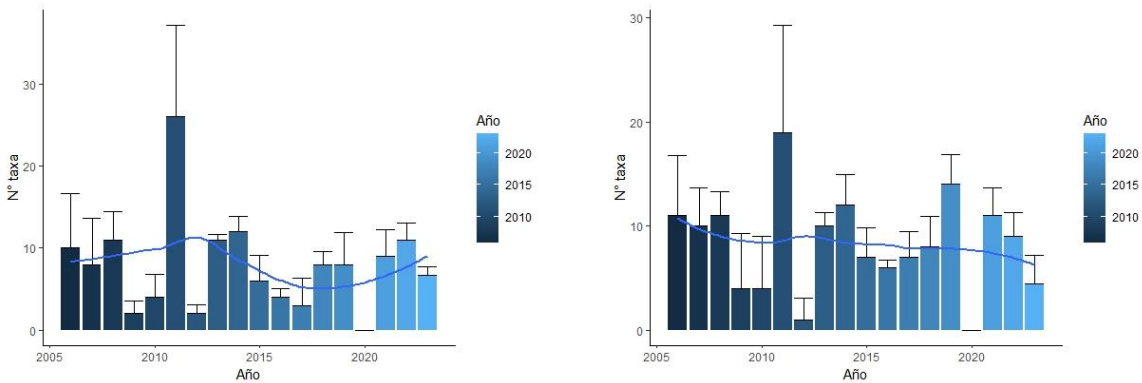


Sistema Aguas de Quelana

Sistema Peine

Fuente: Elaboración propia

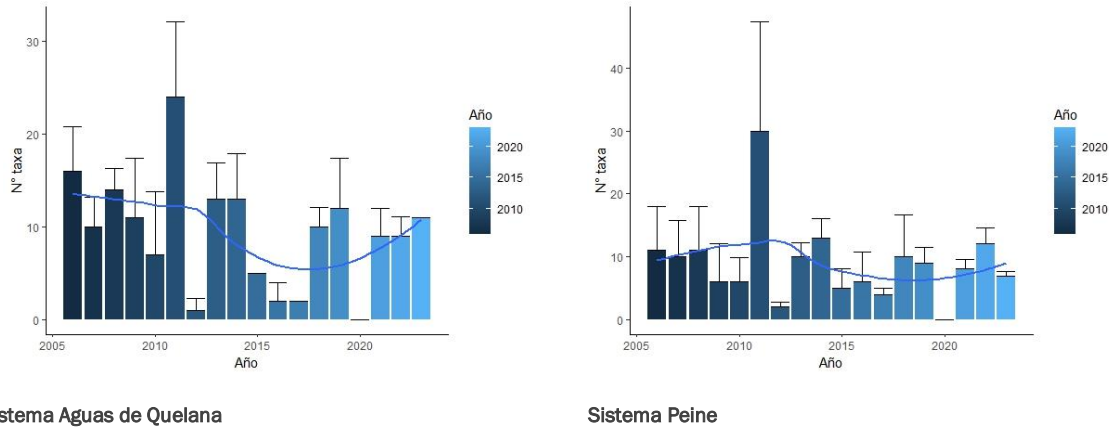
Figura 6-62. Comparación de valores promedio históricos de riqueza para el fitoplancton en los distintos sistemas hidrológicos



Sistema Soncor – Puillar

Sistema Soncor

Figura 6-62. Comparación de valores promedio históricos de riqueza para el fitoplancton en los distintos sistemas hidrológicos



Fuente: Elaboración propia

6.3.2.3 Zooplancton

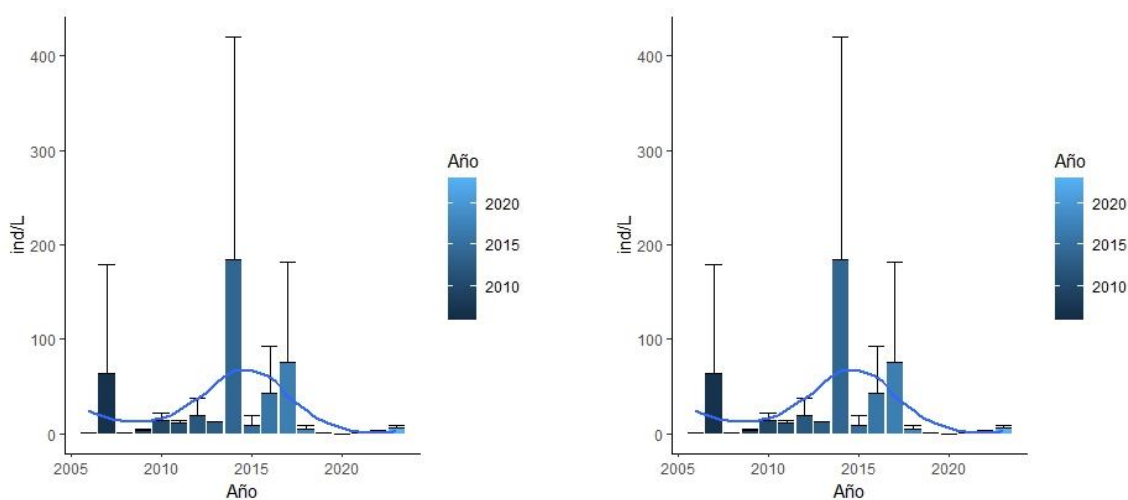
Respecto a los ensamblajes de zooplancton, estos estuvieron caracterizados por una baja diversidad, con una riqueza específica que no superó en promedio los 3 taxones. Las lagunas con mayores valores de riqueza y diversidad específica destacan Aguas de Quelana y Chaxa, en contraste con lo exhibido por Barros Negros y Burro Muerto. En términos de composición, las clases taxonómicas que co-dominaron los distintos ensamblajes fueron Copépoda y Ostrácoda, organismos que son descritos como habitantes comunes en estos ecosistemas hiperhalinos (De Los Ríos-Escalante, 2011; De Los Ríos-Escalante et al., 2023). A nivel histórico, la abundancia de las comunidades muestra una leve tendencia generalizada al incremento con excepción del sistema de Peine, mientras que la riqueza específica no presentaría una tendencia clara a lo largo del tiempo. En términos cuantitativo, los registros históricos (2006 – a la fecha) de abundancia y riqueza específica para cada uno de los sistemas hidrológicos (Puilar, Soncor, Aguas de Quelana y Peine), mostraron una alta variabilidad temporal, observándose en ciertos periodos altas densidades, las que pudiesen estar ligadas con eventos reproductivos o con un incremento en la disponibilidad de alimentos.

El sistema hidrológico de Puilar a nivel histórico mostró fluctuaciones significativas en los valores promedio de abundancia (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$), identificándose los mayores valores promedios en el año 2014 ($184,65 \pm 235,57$ ind/L), valor que se encuentra muy por encima del promedio global de abundancia ($26,43 \pm 46,68$ ind/L). Mientras que, los menores valores promedio fueron registrados en los años 2006 ($0,44 \pm 0,25$ ind/L), 2008 ($0,48 \pm 0,26$ ind/L) y 2019 ($0,49 \pm 0,67$ ind/L) (Figura 6-63). La riqueza específica, también describió diferencias significativas entre los distintos años de registro (Student $t = 8,25$; $p < 0,05$), con los mayores valores de riqueza registrados en los años 2018 ($5 \pm 1,9$ taxa) y 2021 ($4 \pm 0,0$ taxa), mientras que, los menores valores de riqueza fueron establecidos en los años 2014 ($1 \pm 0,0$ taxa) y 2017 ($1 \pm 0,7$ taxa), muy por debajo de la media global de registros ($2,42 \pm 1,06$ taxa) (Figura 6-64).

En el sistema hidrológico de Soncor también se registró diferencias significativas en la abundancia entre campañas (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$). Los mayores valores de abundancia promedio fueron observados

entre los años 2016 ($53,33 \pm 35,12$ ind/L) y 2017 ($55,01 \pm 50,66$ ind/L), en contraste a lo registrado en los años 2019 ($0,06 \pm 0,09$ ind/L) y 2022 ($0,09 \pm 0,16$ ind/L), cuya abundancia fue un orden de magnitud menor (Figura 6-63). La riqueza específica también reportó diferencias significativas a lo largo de los años de registro (Student $t = 8,24$; $p < 0,05$) con valores altos de riqueza en el año 2018 ($4 \pm 3,7$ taxa) y bajos valores en los años 2014 ($1 \pm 0,7$ taxa), 2015 ($1 \pm 1,2$ taxa), 2016 ($1 \pm 0,6$ taxa), 2019 (1 ± 1 taxa) y 2022 ($1 \pm 0,8$ taxa) (Figura 6-64). Para Aguas de Quelana, el registro de la serie de tiempo también mostro diferencias significativas de abundancia a lo largo del tiempo (Wilcoxon $W = 153$, $p < 0,05$). El máximo valor promedio fue estimado en los años 2014 ($41,43 \pm 48,38$ ind/L) y 2016 ($36,67 \pm 20,82$ ind/L), muy por encima del promedio global de abundancia ($13,84 \pm 13,84$ ind/L). Mientras que, los menores registros fueron reportados en los años 2007 ($0,23 \pm 0,35$ ind/L) y 2022 ($0,25 \pm 0,34$ ind/L) (Figura 6-63). La riqueza específica, también reporto diferencias significativas entre los valores promedio históricos (Student $t = 7,68$; $p < 0,05$), con el mayor número de taxa determinados en los años 2019 ($4 \pm 1,5$ taxa) y 2021 ($4 \pm 1,6$ taxa), y los menores valores establecidos en los años 2014 ($1 \pm 0,8$ taxa), 2015 ($1 \pm 1,5$ taxa), 2016 ($1 \pm 0,6$ taxa), 2017 ($1 \pm 0,0$ taxa) y 2022 ($1 \pm 1,3$ taxa) (Figura 6-64). Finalmente, para el sistema de Peine, al igual que el resto de los sistemas hidrológicos, se determinó diferencias significativas en la abundancia y riqueza específica (Wilcoxon $W = 153$; $p < 0,05$). La abundancia promedio de zooplancton a lo largo de la serie de tiempo mostró picos de abundancia en los años 2016 ($277,5 \pm 161,53$ ind/L) y 2017 ($115 \pm 62,45$ ind/L). Los valores menores se registraron en el año 2019 ($0,01 \pm 0,02$ ind/L) (Figura 6-63). La riqueza específica, exhibió altos valores de riqueza durante el año 2018 ($5 \pm 3,5$ taxa) y los valores más bajos en el año 2019 ($0,1 \pm 0,5$ taxa) (Figura 6-64).

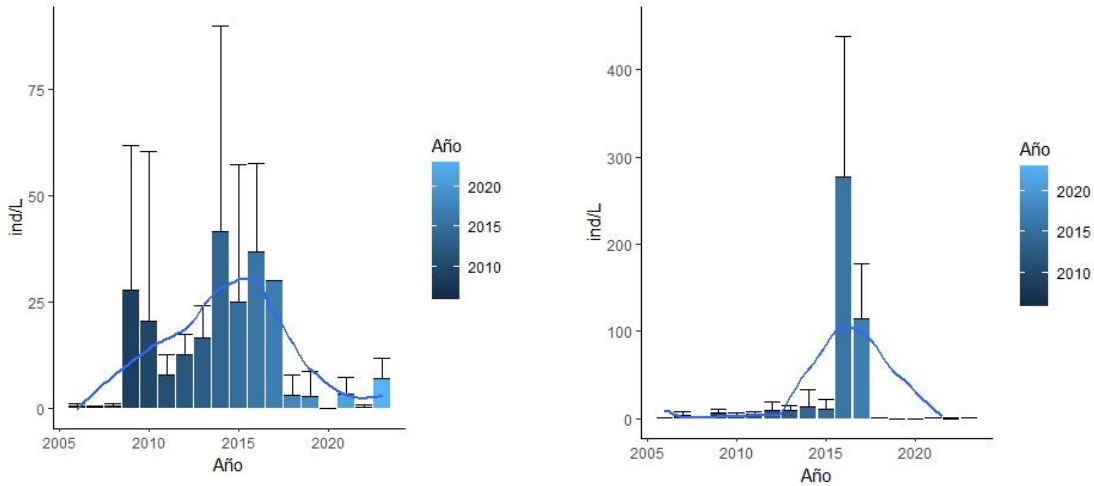
Figura 6-63. Comparación de valores promedio históricos de abundancia para el zooplancton en los distintos sistemas hidrológicos



Sistema Soncor – Puilar

Sistema Soncor

Figura 6-63. Comparación de valores promedio históricos de abundancia para el zooplancton en los distintos sistemas hidrológicos

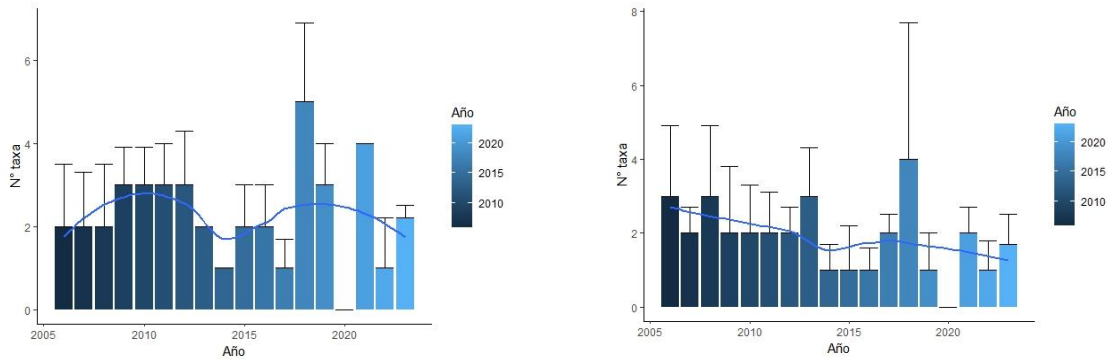


Sistema Aguas de Quelana

Sistema Peine

Fuente: Elaboración propia

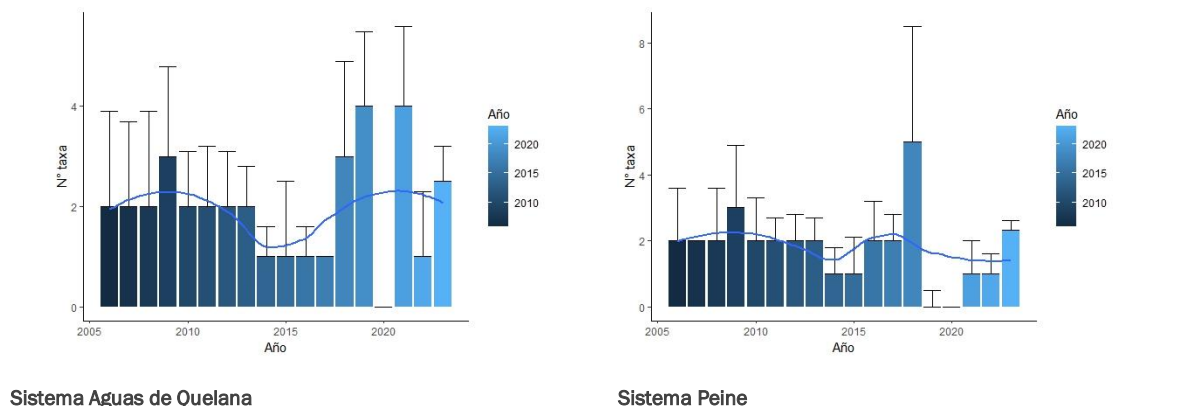
Figura 6-64. Comparación de valores promedio históricos de riqueza para el zooplancton en los distintos sistemas hidrológicos



Sistema Soncor - Puillar

Sistema Soncor

Figura 6-64. Comparación de valores promedio históricos de riqueza para el zooplancton en los distintos sistemas hidrológicos



Fuente: Elaboración propia

6.3.2.4 Zoobentos o invertebrados bentónicos

El ensamble zoobentónico está caracterizado por una baja riqueza de especies, y dominado el género *Heleobia* sp., y la branquiopodo *Artemia franciscana* (Collado et al., 2011; De Los Ríos-Escalante et al., 2023). Para el género *Heleobia* se han descrito 10 especies y 7 subespecies en el desierto de Atacama (Collado et al., 2011), entre ellas destaca *Heleobia atacamensis* (Philippi, 1860) categorizada como En Peligro Crítico (CR) por el Ministerio del Medio Ambiente, debido principalmente al grado de endemismo de la especie y el deterioro de la calidad de su hábitat (Collado, 2013), y que solo ha sido identificada en el sector de Tilopozo, al sur del sistema Peine (CEA, 2020). *Artemia franciscana*, por su parte, sería una especie clave en la trama trófica de las lagunas hipersalinas al regular la presencia de otros ítems alimentarios, tales como bacterias y microalgas (planctónicas y bentónicas), mientras que sustentaría la dieta de algunas aves acuáticas presentes en estos ecosistemas (Gajardo & Redón, 2019). Los resultados obtenidos (2023) en base a los parámetros comunitarios a nivel de sistema hidrológico y lagunar, describen una comunidad limitada y solo representada por cuatro taxa, siendo dominante *Heleobia* sp, presente en Aguas de Quelana, Puillar y Salada. A nivel histórico, la abundancia y riqueza de taxa de los ensambles en los distintos sistemas hidrológicos describen una variabilidad, al parecer cíclica, en el caso de la abundancia, mientras que la riqueza específica presentaría un declive continuo en sus valores promedio, según los resultados de últimos tres años de seguimiento (2021-2023).

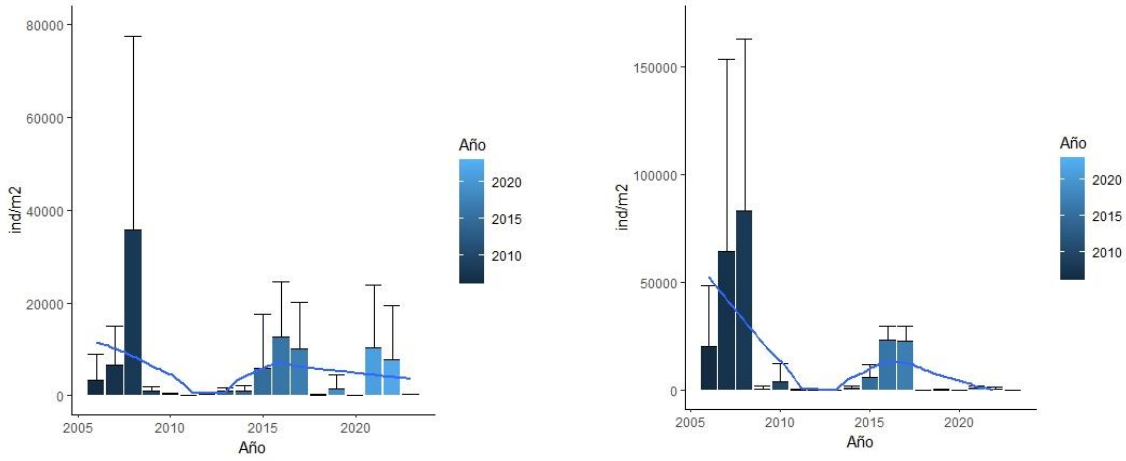
Los resultados del análisis de la serie histórica (2006 – a la fecha) de valores promedio de abundancia y riqueza específica en los sistemas hidrológicos mostraron una amplia variabilidad temporal, mostrando importantes oscilaciones en la abundancia. En términos generales, la abundancia de zoobentos, describió aumentos considerables en años específicos (2008) en la mayoría de los sistemas hidrológicos, En el complejo de Puillar se observó fluctuaciones temporales significativas de abundancia (Student t = 2,73; p < 0,05), con una media histórica de $6.139,42 \pm 8.993,73$ ind/m². Las mayores variaciones de abundancia fueron identificadas en el año 2008 ($35.858,60 \pm 41.658,70$ ind/m²), superando 5,8 veces la media histórica, mientras que los menores valores promedio se reportaron en el año 2011 ($79,40 \pm 84,40$ ind/m²), muy por debajo de

la media global (77,32 veces). A partir de la serie se distinguen oscilaciones de abundancia con una periodicidad entre 3 a 6 años (Figura 6-65). La riqueza específica, también mostró diferencias significativas a nivel temporal (Wilcoxon $W = 136$; $p < 0,05$), pero con una oscilación más estable en sus valores, los mayores valores promedios se registraron en los años 2006 ($4,2 \pm 1,6$ taxa) y 2008 ($4,2 \pm 1,9$ taxa), mientras que los menores promedios fueron determinados en los años 2009 ($1,6 \pm 0,9$ taxa), 2019 ($1,6 \pm 0,8$ taxa) y 2022 ($1,7 \pm 0,6$ taxa) (Figura 6-66).

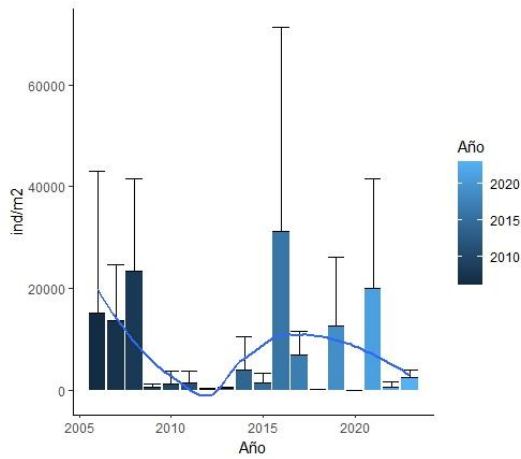
El sistema de Soncor mostró variabilidades significativas en la abundancia promedio a nivel histórico (Student $t = 2,30$; $p < 0,05$), con un comportamiento similar a lo reportado por el sistema Puillar, con un incremento importante de abundancia en el año 2008 ($83.232,30 \pm 79.909,20$ ind/m²), seguido por un segundo incremento de menor magnitud entre los años 2016 ($23.314,20 \pm 6.498,30$ ind/m²) y 2017 ($23.179,50 \pm 21.967,50$ ind/m²). A partir del 2018, a la fecha los valores han disminuido en un orden de magnitud (Figura 6-65). Por su parte, la riqueza específica, también mostró diferencias estadísticas significativas entre campañas (Wilcoxon $W = 136$; $p < 0,05$), distinguiéndose el valor promedio máximo en el año 2014 ($3,2 \pm 1,3$ taxa) y el menor en el año 2022 ($0,8 \pm 0,8$ taxa) (Figura 6-66).

Entre los sistemas evaluados, Aguas de Quelana, ha sido el que ha mostrado las mayores fluctuaciones de abundancia en comparación al resto de los sistemas hidrológicos (Student $t = 3,33$; $p < 0,05$), distinguiéndose periodos dentro de la serie de tiempo. Entre los años 2005 al 2008 los valores promedio estimados se encontraron por sobre la media global ($8.271,43 \pm 9.914,59$ ind/m²), entre los años 2009 al 2015 los valores promedios no superaron 4.000 ind/m². A partir del año 2016 las variaciones mostraron intensas oscilaciones registrándose tanto los máximos y mínimos para el sistema (2016 = $31.310,20 \pm 40.100,10$ ind/m²; 2018 = $85,6 \pm 69,50$ ind/m²) (Figura 6-65). La riqueza específica, mostró variaciones significativas entre campañas (Student $t = 3,43$; $p < 0,05$). El valor promedio máximo se registró en el año 2021 ($4,7 \pm 1,8$ taxa) (Figura 6-66). Al igual que el resto de los sistemas, en Peine, se registró diferencias temporales significativas en la abundancia (Student $t = 2,48$; $p < 0,05$) y en la riqueza específica (Wilcoxon $W = 136$; $p < 0,05$)., Los valores promedio de abundancia registrados en este sistema, no obstante, son inferiores a los observados en los otros sistemas lagunares, con una media global de $3.615,07 \pm 5.819,33$ ind/m². No obstante este resultado, el valor máximo promedio fue similar a lo reportado en Aguas de Quelana (2008 = $23.674,20 \pm 27.336,90$ ind/m²) (Figura 6-65). Por otra parte, la riqueza específica presentó un comportamiento unimodal, similar a lo reportado por el sistema Soncor, con un valor máximo en el año 2015 ($4,0 \pm 2,3$ taxa) y una tendencia al declive desde el año 2016 a la fecha (Figura 6-66).

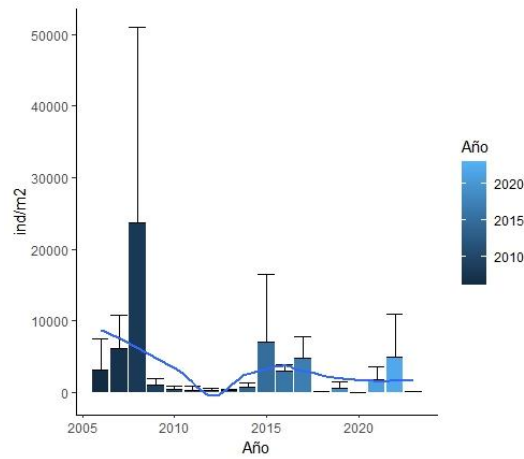
Figura 6-65. Comparación de valores promedio históricos de abundancia para el zoobentos en los distintos sistemas hidrológicos



Sistema Soncor – Puillar



Sistema Soncor

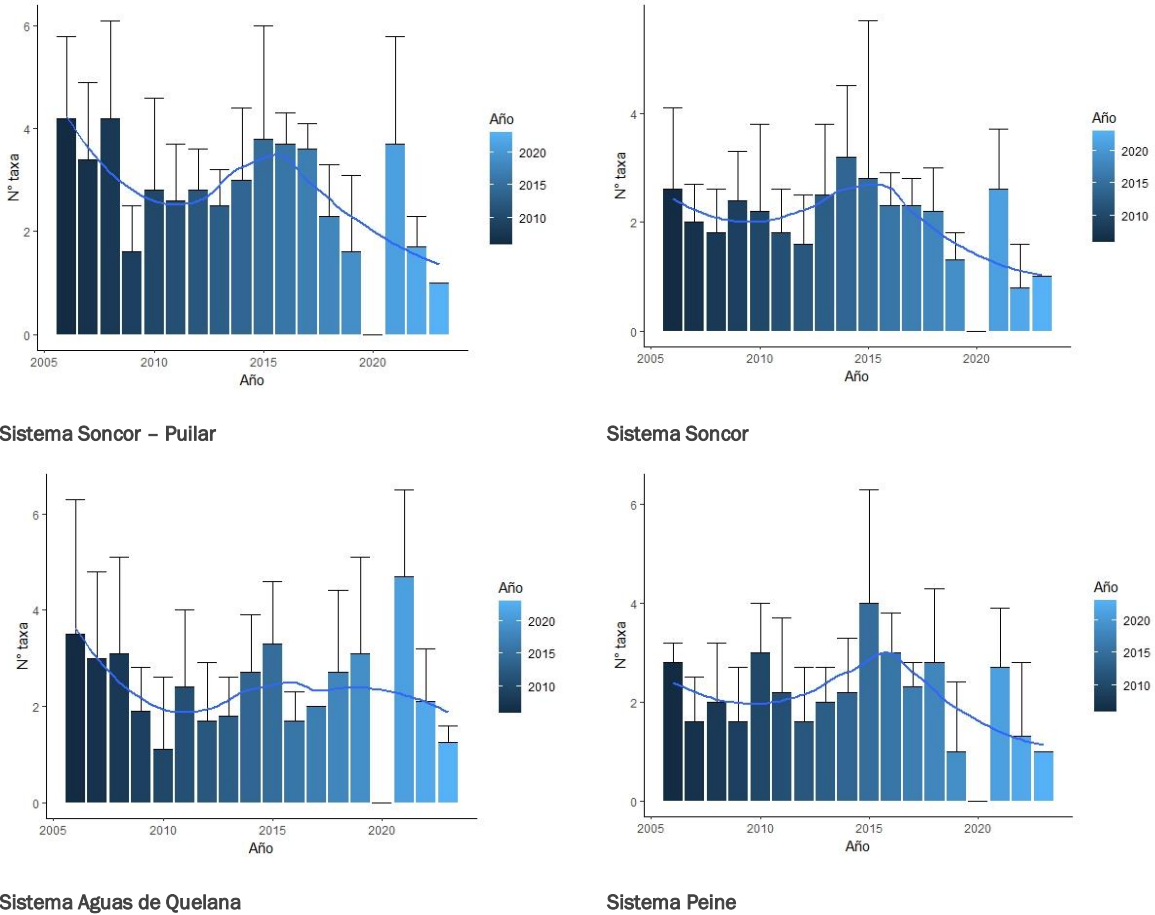


Sistema Aguas de Quelana

Sistema Peine

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-66. Comparación de valores promedio históricos de riqueza para el zoobentos en los distintos sistemas hidrológicos



Fuente: Elaboración propia

7 Conclusiones

7.1 Monitoreo de la vegetación mediante imágenes satelitales

Los resultados obtenidos en 2023 indican que la superficie cubierta con vegetación en el área de estudio alcanza 14.100,73 ha, lo que se encuentra dentro de los rangos observados en los periodos previos.

El matorral de *Tessaria absinthioides* (brea), continúa siendo la formación vegetacional predominante en el área, ocupando el 52,2% de la superficie cubierta por vegetación (equivalente a 7.359,40 ha), seguido por la pradera de *Distichlis spicata* (Gramma salada), ocupando el 16% y el matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata* (Cachiyuyo – Ojalar) ocupando un 12,8% de la superficie con vegetación (2.251,66 ha y 1.801,89 ha respectivamente). En cuarto lugar, se ubica la pradera de *Juncus balticus* - *Schoenoplectus americanus* - *Baccharis juncea* (Junquillo – Totora – Suncho), ocupando el 9,9% del área con vegetación (1.392,25 ha).

En el análisis por tipo vegetacional en relación con el periodo anterior, se observa una disminución del matorral de Brea (0,55 ha) y el Pajonal (11,21 ha), mientras que se observó un aumento de la superficie de matorral de Cachiyuyo Ojalar (21,02 ha), pradera de Gramma salada (14,46 ha), matorral de Rica rica – Pingo pingo (0,17 ha) y matorral de Káuchal (0,41 ha).

La dinámica de la vegetación del periodo reportado se encuentra dentro de las variaciones normales verificadas en todo el monitoreo. Al comparar las observaciones de vitalidad, copa verde y fenología en terreno para la construcción del [mapa del Borde Este](#) de abril 2023 con la temporada anterior, se evidencia:

- La vitalidad muestra una disminución del 3,9% en la categoría crecimiento normal y un 1,2% en la categoría débil, mientras que la categoría Excepcionalmente vigoroso aumentó en un 7% respecto al periodo anterior.
- Respecto al porcentaje de copa verde, se observa un aumento de 6,9 puntos porcentuales en la categoría 75-100% y de 4,8% en la categoría 25-50%. Mientras que la categoría 50-75% disminuyó en 8,8 puntos porcentuales respecto al año anterior y la categoría 5-25% en un 1%.
- En el periodo reportado, la etapa de fructificación fue la etapa fenológica más abundante, aumentando en 9,8 puntos porcentuales respecto al año anterior. la etapa de floración también registro un alza de 4,6% respecto al año anterior. Por otra parte, y en relación con los resultados anteriores, la cantidad de registros con crecimiento vegetativo disminuyeron en 11,5 puntos porcentuales respecto al 2022.

A partir de las variables medidas en este monitoreo es posible indicar que la vegetación del Borde Este se encuentra dentro de los rangos históricos y no se aprecian efectos no esperados sobre la vegetación.

7.2 Monitoreo trimestral de la vegetación

Adicionalmente, de acuerdo con lo estipulado en la acción 14 del Plan de Cumplimiento de SQM Salar S.A., aprobado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) mediante la Res. 38/Rol F-041-2016 en agosto 2022. Se aumenta el periodo de análisis de la vegetación mediante imágenes satelitales, a una frecuencia trimestral, con la finalidad de dar cuenta de los cambios interanuales que pudiera presentar la vegetación.

El monitoreo trimestral de la vegetación del Borde Este muestra la evolución del estado vital de las unidades de vegetación durante el año. Se observa que, en las muestras de vegetación las categorías “vigoroso” y “normal” descienden, teniendo sus valores máximos en el primer semestre del año 2023. Mientras que, los valores de las categorías “débil” y “muy débil” ascienden con el paso de los monitoreos durante el año registrando sus valores máximos durante el segundo semestre. Los valores de la categoría “seco o sin vegetación” disminuyó levemente hacia el segundo semestre. Esto es posible de visualizar también en los monitoreos realizados en abril, julio y octubre de 2022.

El porcentaje de copa viva, durante el período 2023, descienden de manera regular conforme avanzan las estaciones del año, esto se puede visualizar en las categorías “75-100%” y “50-75%”, salvo por el segundo trimestre (abril), donde ambas categorías tuvieron valores superiores a los registrados en el primer trimestre (enero). Contrariamente, las categorías “25-50%” y “5-25%” aumentaron considerablemente durante el segundo semestre, registrando ambas, su máximo valor en el cuarto trimestre (octubre). Sucede de manera similar con la categoría “<5%”, que sólo se registró en una estación de muestreo durante el primer trimestre, y tuvo su mayor expresión durante el tercer trimestre (julio). La categoría “0% o sin vegetación” disminuye levemente conforme avanza el año.

Respecto a la fenología para el período 2023, se puede ver que, conforme avanzan las estaciones del año, las categorías “floración” y “fructificación” descienden de manera abrupta. Sucede de manera contraria con la categoría “crecimiento vegetativo”, que aumenta de manera regular conforme avanzan las estaciones del año. La categoría “senescente o sin vegetación” fluctúa en cada trimestre, sin presentar una tendencia clara.

7.3 Monitoreo de la vegetación en la zona de conexión vegetación – acuífero

Del monitoreo de la vegetación presente en la zona de conexión vegetación – acuífero, correspondientes a sectores cubiertos principalmente por matorral de *Tessaria absinthioides* (brea), realizado en enero y abril de 2023, se evidenció lo siguiente:

- De acuerdo con los datos obtenidos de las campañas 2007 al 2023, las especies dominantes en los puntos de monitoreo corresponden a *Tessaria absinthioides*, *Distichlis spicata* y *Atriplex atacamensis* para ambos meses. *T. absinthioides* es la más frecuente, registrándose en la mayor parte de los puntos de monitoreo, seguido por *D. spicata* y, en menos proporción, *A. atacamensis*.
- Se observa que, desde los primeros monitoreos, la cobertura se ha distribuido mayoritariamente en las categorías muy abierto y abierto. Los resultados históricos indican que la mayoría de las unidades

vegetacionales mantienen o disminuyen levemente su cobertura en el mes de abril, respecto al monitoreo de enero. En el presente año (2023), predomina la categoría de cobertura muy abierta (10 – 25%) en ambos periodos, seguida en menor proporción por la categoría de cobertura semidensa (50 – 75%).

- La categoría de vitalidad dominante para ambos meses de monitoreo (enero y abril) corresponde a la vitalidad normal, seguida de la categoría débil con una muy baja frecuencia. En la campaña 2023, los valores se encuentran dentro de los rangos históricos.
- Respecto al porcentaje de copa viva, los registros históricos indican que el mes de enero posee una mayor expresión de copa viva al observarse mayores proporciones en las categorías más altas (50 – 75% y 75 – 100%). Los valores de la campaña 2023 se encuentran dentro de los rangos históricos.
- En cuanto a la fenología, los registros históricos dan cuenta de una mayor proporción de muestras en etapa de floración durante el mes de enero y, consecuentemente, en abril hay una mayor proporción de puntos en fructificación. En la campaña del 2023, se observó una gran proporción de muestras en etapa de floración en enero, coincidente con los máximos históricos registrados en dos años anteriores (2008 y 2011).

Basado en los resultados y discusiones de este informe, la vegetación en la zona de conexión con el acuífero se encuentra dentro de los rangos observados históricamente, verificándose que no existen efectos del proyecto sobre esta componente.

7.4 Monitoreo de la flora vascular

La riqueza florística identificada durante las prospecciones de terreno se ha mostrado relativamente estable entre las campañas 2006 – 2023, registrándose aumentos, principalmente de especies herbáceas, debido a episodios de lluvia en el altiplano. Esta condición se pudo observar en el monitoreo 2019, periodo en el que registró un total de 35 especies, correspondiente al máximo histórico. Esta situación estaría directamente relacionada con las intensas precipitaciones estivales, que representan a la máxima precipitación desde que se realiza el Plan de Seguimiento (212 mm según la estación Camar de la DGA).

En la presente campaña se detectó una riqueza de 23 taxa, de las que 15 se observaron dentro de los puntos de monitoreo y dos (6) se registraron fuera de ellos, a través de colectas libres. Estos 23 taxa se agruparon en 13 familias donde Chenopodiaceae presenta la mayor cantidad de registros. Según hábito de crecimiento, se observa que predomina, el hábito arbustivo y hierba perenne, mientras que el origen biogeográfico de las especies fue mayoritariamente nativo (en 12 taxa) y endémico (en 3 taxa).

Cabe destacar que, se detectó en los transectos a *Nitrophila atacamensis*, especie bajo la categoría de amenaza “En Peligro” conforme con el D.S. N° 23/2015 del Ministerio de Medio Ambiente, de acuerdo con el proceso de Clasificación de Especies Silvestres (RCE).

Las especies más frecuentes en los puntos de muestreo corresponden a *Tessaria absinthioides* registrada en 34 puntos de muestreo (45,3% del total), *Distichlis spicata*, presente en 24 puntos de muestreo (32% del total) y *Atriplex atacamensis* registrado en 8 puntos de monitoreo (10,7% del total).

La caracterización química del sustrato según la entidad ETFA para el periodo 2023 indica que el pH en los puntos de muestreo varía entre las categorías Moderadamente alcalino a Fuertemente alcalino, con mayor frecuencia en el rango Fuertemente alcalino. En cuanto a la salinidad (conductividad eléctrica), se observan suelos Ligeramente salinos hasta suelos Fuertemente salinos, concentrándose en esta última categoría.

De acuerdo con los antecedentes recopilados históricamente, y considerando que en la campaña 2023 no se pudo estudiarlas la totalidad de puntos respecto a los parámetros del suelo (pH y salinidad), estas variables no parecen tener una relación estrecha con la riqueza y frecuencia de la flora vascular, dado que las especies que componen el borde este del salar de Atacama se encontrarían adaptadas a las condiciones de extrema salinidad. Los resultados de ese monitoreo sugieren que la vegetación está ligada principalmente a la disponibilidad hídrica en cada sitio.

Considerando que en las campañas de monitoreo 2006 – 2023 la riqueza y frecuencia de la flora vascular se presentan estables y no muestran cambios relacionados a las variaciones del pH y conductividad eléctrica, es que se puede afirmar que no se verifican efectos del Proyecto sobre la flora vascular del área de estudio.

7.5 Monitoreo de algarrobos

7.5.1 Ejemplares de algarrobo ubicados en el área del pozo Camar 2

De los 71 algarrobos ubicados en el área del pozo Camar 2, se identificaron 57 ejemplares en pie y en condiciones de ser analizados para el periodo 2023. De los 14 individuos restantes, 12 fueron notificados como

como desaparecidos (desprendidos) en periodos anteriores a este, principalmente debido a los efectos de las escorrentías provenientes del sector alto de la quebrada de Camar en épocas estivales, siendo el evento más grande el ocurrido en 2019 (desprendimiento de 8 ejemplares producto de precipitaciones estivales de 212 mm). En el monitoreo actual, se registraron dos nuevos individuos desprendidos, notificándose como desaparecidos en el presente informe. Estos individuos se encontraban secos desde hace más de 10 años, por lo que, si bien se desconoce la causa del desprendimiento, es posible aludirla a la acción antrópica o animal dentro de la quebrada.

En términos de vitalidad, durante el monitoreo del 2023, el 50,88% de los individuos presentó algún grado de vitalidad, predominando los individuos con vitalidad normal con el 42,11% del total, seguido de las categorías de vitalidad débil (7,02%) y excepcionalmente vigoroso (1,75%). El resto de los ejemplares se registraron como secos (49,12%). Los resultados son similares a lo registrado en temporadas previas.

Concordante con la vitalidad, el 50,88% de los individuos presentaron follaje verde, destacando las categorías medias de porcentaje de copa verde (33,34% de los individuos concentrados en las categorías de 25 – 50% y 50 – 75% de copa verde). El 8,77% de los individuos se presentó con 75 – 100% de copa viva y, una proporción menor de individuos se registró dentro de las categorías de menor porcentaje de copa viva; 7,02% en la categoría 5 – 25% y 1,75% en la categoría de <5%. Igualmente se registró un 49,12% de individuos sin presencia de copa viva, correspondiente a los individuos secos de la categoría anterior.

En cuanto a la fenología, la totalidad de individuos en pie y que presentó algún grado de vitalidad se encontró en la etapa fenológica de crecimiento vegetativo, correspondiente al 50,88% del total. No se presentaron individuos en las etapas fenológicas de floración ni fructificación, coincidentemente con el ciclo fenológico de la especie (floración y fructificación en primavera y verano, respectivamente).

Además, todos los individuos en pie y con algún grado de vitalidad presentaron daños por animales, asociados específicamente al ramoneo por parte de burros asilvestrados (50,88%) y un individuo presentó además signos de daño antrópico (correspondiente al 1,75% del total), asociado al corte de ramas.

Respecto al análisis de la dinámica de la población de algarrobo de la quebrada de Camar, CRICYT (2018) detectó que estos árboles aprovecharían el agua subsuperficial almacenada en el horizonte arcilloso del suelo, independizándose de los aportes directos de las precipitaciones y de la napa freática, ya que esta última en el sector de Camar se ubica a más de 50 m de profundidad, según estimaciones realizadas previo al inicio del Proyecto, descartándose efectos de la extracción de agua industrial desde el pozo Camar 2.

El análisis temporal indica que, la variación de la vitalidad de los ejemplares de algarrobos podría explicarse por múltiples factores; como los años de sequía observados entre el 2006 y el 2010, la ocurrencia de aluviones en los periodos 2012, 2017 y 2019, la modificación de la red de drenaje, la cual fue analizada a través de distintos estudios realizados en el marco del Plan de Cumplimiento y otros factores como el ramoneo de burros asilvestrados. Si bien este último efecto, no se emplea para generar relaciones de causalidad directa, desde su evaluación en terreno en 2017, se observa en la mayor parte de los árboles que conforman el estudio (entre 51,7% y el 100% de los individuos vivos). Los efectos del ramoneo pueden ser significativos ya que muchos de los árboles monitoreados alcanzan bajas alturas, siendo de fácil acceso para los burros silvestres, gatillando la reducción de cobertura fotosintéticamente activa en ellos. Asimismo, cabe destacar que

los daños sobre ejemplares adultos pueden ser acumulados en el tiempo, pudiendo ser considerables en el futuro.

7.5.2 Fisiología de algarrobos

Considerando los resultados de potencial hídrico y conductancia estomática registrados en el primer y segundo semestre del 2023, se evidencia que:

- Los algarrobos de la serie A muestran un mejor estado hídrico que los algarrobos de las series B-C, sin embargo, esta situación no provoca diferencias en la conductancia estomática de estos árboles.
- Los algarrobos ubicados aguas arriba de la tubería evidencian una mayor tensión de la columna de agua a mediodía que los algarrobos ubicados aguas abajo, sin embargo, esto no provoca cambios en el potencial hídrico de pre-alba ni en la conductancia estomática.
- Los algarrobos regados muestran un mejor estado hídrico que los no regados, sin embargo, esta situación no provoca cambios en la conductancia estomática de estos árboles.

En relación con las mediciones anteriores, se evidencia que:

- Los valores de potencial de la campaña de abril 2023 son más altos que los registrados en los meses de julio, lo que es una respuesta a la variación estacional, en el que se observan los valores más negativos en invierno.
- Los valores de potencial de la campaña de julio 2023 son más bajos que los registrados en los meses de octubre, lo que es una respuesta a la variación estacional, en el que se observan los valores más negativos en invierno.
- Se observa un efecto de la aplicación del riego en los árboles de la serie A, donde alcanzan valores superiores a los de la serie B en todas las variables medidas desde enero de 2023.

7.5.3 Biomasa de algarrobos

La estructura de la población estaría constituida mayoritariamente por individuos vivos (sólo un 30,3% se registró seco en enero de 2023 v/s un 27,0% en abril de 2023, mientras que un 30,70% se registró seco en julio de 2023 v/s un 30,60% en octubre de 2023), jóvenes o de poco desarrollo, la mayor parte de los individuos en las clases diamétricas de menor tamaño (< 7,5 cm) con alturas medias que no superan los 50 cm con alturas medias que no superan los 50 cm y sólo entre un 7% y 7,4% de los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) que pueden alcanzar hasta los 7,0 m de altura. Además, la población presentaría una alta capacidad de retoñación, tratándose en su mayoría de individuos de hábito arbóreo-arbustivo, con más de un fuste (plurifustales) y varias ramas principales, estructura que se ha mantenido constante en el período analizado.

La biomasa aérea total de la población enero de 2023 alcanzó 4.689,3 kg, mientras que en abril de 2023 la biomasa aérea total aumentó a 4.963,1 kg. Los individuos vivos concentraron la mayor proporción (94,3% en enero de 2023 y 95,1% en abril de 2023), acumulándose, en un bajo número de individuos, (cinco árboles) de grandes dimensiones (>47 cm de diámetro), los cuales representan el 72,5% de la biomasa aérea total de la población. Con respecto a las componentes, la biomasa aérea se acumula en forma decreciente en las ramas (62,4%), el fuste (29,6%) y las hojas (8,0%), en particular, la biomasa de frutos acumulada para la población resultó de 58,8 kg, valor que podría estar sobrestimado. Para su ajuste se requiere una mayor acumulación de información en el tiempo y la posibilidad de obtener muestras de los frutos producidos por la población.

Por su parte, la biomasa aérea total de la población julio de 2023 alcanzó 5.205,4 kg, mientras que en octubre de 2023 la biomasa aérea total aumentó a 5.588,0 kg. Los individuos vivos concentraron la mayor proporción (92,6% en julio de 2023 y 91,6% en octubre de 2023), acumulándose, en un bajo número de individuos, (cinco árboles) de grandes dimensiones (>47 cm de diámetro), los cuales representan el más del 60% de la biomasa aérea total de la población en el segundo semestre. Con respecto a las componentes, en julio la biomasa aérea se acumula en forma decreciente en las ramas (60,2%), el fuste (32,2%) y las hojas (7,6%). En octubre, biomasa aérea total de los individuos se distribuye porcentualmente de la siguiente forma: un 30,3% corresponde al fuste, 61,8% a ramas, 7,9% a hojas.

7.6 Fauna

Los resultados del monitoreo de fauna del periodo 2023, indican una riqueza de 26 especies, las que corresponden a tres [3] especies de reptiles, diecisiete [17] aves y seis [6] mamíferos.

Todas las especies registradas son nativas, de ellas una es endémica y pertenece a la clase Reptilia (*L. fabiani*). Por su parte, doce de estas especies se encuentran clasificadas en categoría de conservación según el Reglamento de Clasificación de Especies (RCE; D.S N°10/2023), de las cuales, 6 se encuentran en categoría de conservación de amenaza o casi amenazadas.

Respecto a los reptiles, los datos registrados en la presente campaña se encuentran dentro de lo registrado históricamente, donde las especies con mayor abundancia y predominancia corresponden a *L. constanzae* y *L. fabiani*. Este predominio viene de la mano con una marcada diferenciación en las preferencias del ambiente que utiliza cada especie: *L. constanzae* es la especie dominante en ambientes con vegetación y baja humedad (hábitat de Rica rica – Pingo pingo y Brea – Cachiyuyo), mientras que *L. fabiani* predomina en los ambientes con alta salinidad y cercanos a los cuerpos de agua (ambiente Salar, Marginal de Salar y Pajonal). Por otro lado, *L. puna* se encuentra asociada a los ambientes de Brea – Cachiyuyo, Marginal Salar y Pajonal.

En cuanto a las aves en ambientes terrestres, similar a lo observado en campañas previas, existe un bajo registro de ejemplares y riqueza en estos sectores. Considerando los años de seguimiento, las especies con mayor abundancia corresponden al chorlo de la puna (*Charadrius alticola*), el cual se encuentra en todos los sectores, asociado principalmente a ambientes con cuerpos de agua cercanos, como los de Salar o Marginal de Salar, y la tortolita de la puna (*Metriopelia aymara*), la cual se distribuye en casi todos los sectores de estudio y en casi todos los ambientes.

En relación con los flamencos, para el sistema lacustre Soncor, los resultados 2023 se encuentran dentro de las variaciones históricas que han sido detectadas a través de los monitoreos, sin embargo, la falta de registros de pollos de flamencos es relevante, dado que corresponde a un sitio de congregación de individuos reproductivos. En el caso de Aguas de Quelana, los resultados históricos tienden a la oscilación. Para Peine, los datos históricos muestran una oscilación continua que en los últimos años de monitoreo presenta una tendencia al aumento, registrándose en la presente campaña, el registro máximo con 905 individuos de flamencos.

Con respecto al resto de las especies de aves presentes en los sistemas lacustres, para el caso de Soncor los datos de la campaña actual se encuentran dentro del rango normal histórico. Distinto es el caso para Aguas de Quelana, donde puede observar una tendencia a la disminución. Finalmente, en Peine, los resultados evidencian una oscilación histórica, donde la campaña actual presenta un comportamiento alto en comparación a la campaña 2022, pero dentro de lo normal en los registros históricos.

Adicionalmente, las distintas especies de aves migratorias presentes en la Reserva Nacional los Flamencos comienzan sus procesos de tránsito hacia el hemisferio norte al acercarse el invierno austral (desde abril), por lo que el desarrollo del monitoreo durante una fecha donde las temperaturas medias comienzan a descender puede generar un sesgo en la información recopilada debido al abandono del sector por parte de algunas de estas especies migratorias. Bajo esta misma línea, la disminución de la temperatura también podría afectar la detectabilidad de reptiles. Sin embargo, es una buena época para censar las tres especies de flamencos sin afectar el proceso reproductivo de éstos, tomando en cuenta de que son las principales especies objetivo del monitoreo.

Respecto a los mamíferos, durante la campaña 2023 fue posible capturar a tres de las cuatro especies registradas históricamente en el sector: el ratón andino (*A. andinus*), la lauchita de pie sedoso (*E. puerulus*), y el ratón orejudo amarillo (*P. xanthopygus*) obteniéndose además registros mediante evidencia directa e indirecta de la presencia de tuco tuco (*C. fulvus*). Según los registros históricos, las especies más abundantes durante los dieciocho años de seguimiento son la lauchita de pie sedoso (*E. puerulus*) y el ratón andino (*A. andinus*), mostrando una clara partición del hábitat. La lauchita de pie sedoso es la especie dominante en el ambiente de Rica rica - Pingo pingo, mientras que el ratón andino concentra el mayor número de individuos en el ambiente de Pajonal. En contra parte, el ratón orejudo amarillento (*P. xanthopygus*) registra abundancias medias en todos los ambientes prospectados, con cierta dominancia sobre el ambiente de Brea-Cachiyuyo. El análisis de los datos históricos indica una disminución en la abundancia desde el año 2019, sin embargo, el periodo anterior (2016-2018) corresponde a uno de los eventos de aumentos explosivos en el número de individuos (característicos en los roedores), por lo cual la disminución ocurrida la campaña anterior (un individuo) podría deberse a las fluctuaciones históricas naturales en la dinámica poblacional de este grupo, lo que se corrobora con el aumento de individuos capturados en la presente campaña.

Por su parte, la presencia de *Lycalopex sp.* se ha verificado a lo largo de todo el monitoreo (a excepción del año 2010) en los dos sectores y ambientes prospectados, y en prácticamente toda el área de estudio, a través de registros directos e indirectos, lo que da cuenta de la alta movilidad de esta especie generalista, que ocupa en forma extensa el Borde Este del Salar de Atacama. Cabe destacar que al complementar la metodología de estaciones olfativas con la implementación de trampas cámara ha sido posible la

identificación de ambas especies de zorros, como en la campaña actual, en la cual se registró la presencia de zorro chilla (*L. griseus*) y zorro culpeo (*L. culpaeus*).

7.7 Biota acuática

7.7.1 Medio abiótico

Coincidente con su naturaleza, los valores estimados para la caracterización fisicoquímica de la calidad del agua son concordantes con el carácter hiperhalinos de las lagunas, así como con una importante oscilación térmica diaria, y valores medios a bajos de concentraciones de oxígeno disuelto y de pH neutro a levemente alcalino. La variación observada en los valores puntuales y promedios de los distintos parámetros fisicoquímicos evaluados es coincidente con la tipología de origen y alimentación de las distintas lagunas localizadas en el sector noreste y sureste del Salar de Atacama. El sistema hidrológico de Soncor es alimentado por el canal Burro muerto, cuyo origen se establece desde el abanico fluvial del Río San Pedro, formando lagunas de carácter permanente. Los sistemas Aguas de Quelana, Puilar y Peine, son alimentados principalmente por afloramiento, no obstante, el origen de las aguas difiere. En el caso del sistema Aguas de Quelana y Puilar las aguas provienen desde quebradas dispuestas perpendicularmente sobre el borde este del salar, mientras que el sistema peine es alimentado desde el sur a partir acuíferos cordilleranos.

En términos del registro histórico, todos los parámetros fisicoquímicos evaluados exhiben fluctuaciones temporales, lo cual es esperado debido a variaciones interanuales en las tasas de evaporación y precipitaciones, ambos procesos responsables de sostener la ciclicidad del agua dentro del salar de atacama.

Así, en términos de las características fisicoquímicas, las lagunas se encuentran en condiciones esperables de acuerdo con el registro histórico.

7.7.2 Medio biótico

Los registros de composición y abundancia de especies para los diferentes componentes evaluados son similares a los observados a través del registro histórico.

Los ensambles de microalgas (fitobentos y fitoplancton) presentaron los mayores valores de diversidad alfa, en relación con los ensambles de invertebrados (zooplancton y zoobentos), los cuales estuvieron compuestos, en su mayoría, por un número limitado de taxones y una baja diversidad específica. Las diferencias entre productores y consumidores es un rasgo distintivo de los sistemas hipersalinos, en donde los altos niveles de conductividad eléctrica y bajos niveles de oxígeno disuelto limitan el desarrollo de la fauna acuática. Es en este contexto que gran parte de la fauna planctónica corresponde a larvas de dípteros, y la fauna bentónica está dominada por dos taxa especialistas en ambientes salinos, *Heleobia* y *Artemia franciscana*.

Los taxones más relevantes en el presente monitoreo (abril 2023), en base a su abundancia fueron: *Diatoma sp.* (microalga), *Navicula sp.* (microalga), Copepoda (zooplancton), Ostracoda (zooplancton) y *Heleobia sp.* (zoobentos), los que son coincidentes con lo registrado en campañas históricas.

Las macrófitas en el área de estudio solo fueron representadas por la especie *Ruppia filifolia*, hierba hidrofita perene común en ambientes salinos inundados. Esta especie es un habitante común de los sistemas lagunares: Puilar, Aguas de Quelana y Peine.

Finalmente, cabe señalar que los registros de abundancia y riqueza de taxa para los diferentes componentes de la biota acuática observados en la campaña 2023 es coincidente con lo registrado históricamente. En este sentido, es destacable si bien la ocurrencia de una amplia variabilidad temporal en ambos parámetros ecológicos, a la fecha los valores observados se han mantenido dentro un rango de variación definido propio de cada sistema lagunar. Esta observación permite considerar que a la fecha el sistema de lagunas del Salar de Atacama se mantiene en condiciones esperables y normales.

8 Referencias

8.1 Monitoreo de la vegetación mediante imágenes satelitales

Chuvieco, E. 2002. Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Ediciones Ariel. 578p.

Chavez, P. 1996. Image-Bases Atmospheric corrections – Revisited and improved. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 62, N°9 September 1996, PP 1025-1036.

SQM, 2006. Estudio de Impacto Ambiental (EIA) Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama.

Le Quesne, C. 2002. Agentes de daño en el bosque nativo. Capítulo 1: Bioecología del Bosque Nativo. Editorial Universitaria. 409 p.

Resolución de Calificación Ambiental N° 226/2006: Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”.

Rodríguez R., C. Marticorena, D. Alarcón, C. Baeza, L. Cavieres, V.L. Finot, N. Fuentes, A. Kiessling, M. Mihoc, A. Pauchard, E. Ruiz, P. Sánchez & A. Marticorena. 2018. Catálogo de las plantas vasculares de Chile. Gayana Bot. 75(1): 1-430, 2018.

Richardson, A. T. 1977. Monograph of the genus *Tiquilia* (*Coldenia*, sensu lato), Boraginaceae: Ehretioideae. Rhodora 79: 467–572.

Squeo FA, G Arancio & JR Gutiérrez. 2008. Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena. 456 pp

Squeo F. A., A. Arancio & J. R. Gutiérrez. 2008. Libro rojo de la flora nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama. Capítulo 3: Características climáticas de la región de Atacama. Ediciones Universitarias de La Serena, La Serena, Chile. 3: 25-42.

8.2 Monitoreo de la vegetación de la zona de conexión vegetación – acuífero

Box, G.E.P. & Cox, D.R. 1964. "An Analysis of Transformations", Journal of the Royal Statistical Society, Series B, Vol. 26, pp. 211-252

SQM, 2006. Estudio de Impacto Ambiental (EIA) Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama.

Resolución de Calificación Ambiental N° 226/2006: Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”.

Zar, J. H. 2009. Biostatistical Analysis. 5ta ed. New Jersey: Ediciones Pearson Prentice Hall. 449 p.

8.3 Monitoreo de la flora vascular

Carrasco. 2017. Análisis Metodologías de Monitoreo de Conductividad Eléctrica y pH. INFORME: Correlaciones pH y Salinidad, realizado.

Braun-Blanquet, J. 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Blume, Madrid, 820 p.

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 165 pp.

Luebert, F. y Plissock, P. 2018. Sinopsis bioclimática de Chile. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 384 p.

Luzio W.; Casanova M. y Seguel O. 2010. Suelos de Chile. Luzio W. (Editor). Universidad de Chile. 346 p.

Luzio y Casanova, 2006. Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Universidad de Chile- Servicio Agrícola y Ganadero. 393 p.

Rodríguez R., C. Marticorena, D. Alarcón, C. Baeza, L. Cavieres, V.L. Finot, N. Fuentes, A. Kiessling, M. Mihoc, A. Pauchard, E. Ruiz, P. Sanchez & A. Marticorena. 2018. Catálogo de las plantas vasculares de Chile. Gayana Bot. 75(1): 1-430, 2018.

Richardson, A. T. 1977. Monograph of the genus Tiquilia (Coldenia, sensu lato), Boraginaceae: Ehretioideae. Rhodora 79: 467–572.

Schoeneberger, P. J.; Wysocki, D. A.; Benham E. C. and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 300 p. Diaz y Wright, 1965.

Trivelli, M.; Huerta, J. 2014. Alcances sobre flora y vegetación de la cordillera de los Andes, Región de Antofagasta. Primera Edición. Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero, Santiago, Chile. 319 pp.

USDA NRCS. 2001. United States Department of agricultura. Natural resources consevation service.

Villagran, C. & V. Castro. 2004. Ciencia Indígena de Los Andes del Norte de Chile. Editorial Universitaria. 362 pp.

Zuloaga, F., Morrone O., Belgrano, M. 2008. Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). Volumen 3. Dicotyledonae: Fabaceae - Zygophyllaceae. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 107: 2287-3348.

8.4 Monitoreo de algarrobos

8.4.1 Monitoreo de ejemplares de algarrobo, ubicados en el área del pozo Camar 2.

Altamirano H. & C. Donoso. 2006. *Prosopis alba* Grisebach. En: Donoso, C. (Ed) Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología: 528. Marisa Cuneo, Valdivia, Chile.

Alvarez JA & PE Villagra. 2009. *Prosopis flexuosa* DC. (Fabaceae, Mimosoideae). Kurtziana (Argentina) 35(1): 49-63.

Cisneros, A.B.; Moglia, J.G. 2017. *Prosopis alba*, alternativa sustentable para zonas áridas y semiáridas. En: Giménez, A.M.; Moglia, J.G. (Ed) Los Bosques actuales del Chaco semiárido argentino. Ecoanatomía y biodiversidad. Una mirada propositiva. Facultad de ciencias forestales. UNSE. Santiago del Estero: Argentina. p.231-248.

CRICYT. 2018. Tercer informe de avance sobre estudios e investigaciones que intentan explicar el estado actual de ejemplares de algarrobo, en una población ubicada en las proximidades del pozo CAMAR 2 de SQM, en el Salar de Atacama, Chile.

Faúndez, L. 2018. Análisis taxonómico de muestras de ejemplares de *Prosopis sp.*, sector quebrada Camar, provincia de El Loa, Región de Antofagasta.

Hidroestudios. 2020. Apéndice 5-D. Modelación de la vitalidad y análisis cuantitativo de posibles causas de afectación en Algarrobos de Camar. Evaluación de Impacto Ambiental Proyecto de actualización Plan de Alerta Temprana y Seguimiento ambiental, Salar de Atacama.

Jobbágy, E. G., M. Noretto, P. Villagra & R. Jackson. 2008. Isótopos estables como trazadores de las fuentes de agua de bosques de algarrobo en un desierto arenoso. XXI Congreso Argentino de Ciencias del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis.

Le Quesne, C. 2002. Agentes de daño en el bosque nativo. Capítulo 1: Bioecología del Bosque Nativo. Editorial Universitaria. 409 p.

Luebert, F. y Pliscoff, P. 2006. Sinopsis bioclimática de Chile. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.

Resolución de Calificación Ambiental N° 226/2006: Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”.

Rodríguez, R., .1983. O. Matthei, M. Quezada. 1983. Flora Arbórea de Chile. Ed. Universidad de Concepción. 407 p.

Rosenbluth, B., H. A. Fuenzalida y P. Aceituno. 1997. Recent temperature variations in southern South America. International Journal of Climatology 17(1): 67-85. [pp. 61, 63].

SQM, 2006. Estudio de Impacto Ambiental (EIA) Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama.

Villagra, P.E., Vilela, A., Giordano, C., Alvarez, J. 2010. Ecophysiology of *Prosopis* species from the arid lands of Argentina: What do we know about adaptation to stressful environments? In: Desert Plants, Ramawat K.G. (Ed.). Springer-Verlag. 400 p.

Villagra, P. E., Giordano, C., Alvarez, J. A., Bruno Cavagnaro, J., Guevara, A., Sartor, C. Passera, C. B., & Greco, S. 2011. Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. Ecología austral, 21(1), 29-42.

XTerrae. 2019. Informe “Estudio relación morfología y escorrentía superficial abanico quebrada Camar, sector tubería agua industrial”.

8.4.2 Fisiología de algarrobos

Acevedo, E., Sotomayor, D. & Zenteno, V. 1985. Parámetros hídricos de tejidos foliares de *Prosopis tamarugo* Phil. En: Estado actual del conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*. Habit, M. (Eds). Arica, Chile. 11-15 de junio de 1984, FAO: 500.

Allen, D. & Ort, D. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends in Plant Science*, 6(1), 36–42.

Briner, C. 1985. Caracterización fenotípica de los biotipos de tamarugo en la Pampa del Tamarugal. En: Estado actual del conocimiento sobre *Prosopis tamarugo*. Habit, M. (Ed). Arica, Chile. 11-15 de junio de 1984, FAO: 500.

Bucci, S., Scholz, F., Goldstein, G., Meinzer, F., Hinojosa, J., Hoffmann, W. & Franco, A. 2004. Processes preventing nocturnal equilibration between leaf and soil water potential in tropical savanna woody species. *Tree Physiology* 24: 1119-1127.

Carevic, F. 2013. Análisis de las respuestas ecofisiológicas de progenies del género *Prosopis* con vistas a la selección temprana por su resistencia a sequías. Informe final proyecto 047/2011. Ministerio de Agricultura.

Darrah, P., Jones, D., Kirk, G. & Roose, T. 2006. Modelling the rhizosphere: a review of methods for “upscaling” to the whole-plant scale. *European Journal of Soil Science* 57(1):13-25.

Dirección General de Agua (DGA). 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Salar de Atacama.

Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Doudou, L., Ximeng, L., Benye X., Virginia H. 2020. Evaluation of method to model stomatal conductance and its use to assess biomass increase in poplar trees.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1997. *Prosopis chilensis*, especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales.

Fundación CRYCIT. 2017. Informe final sobre estudios e investigaciones que intentan explicar el estado actual de ejemplares de algarrobos, en una población ubicada en las proximidades del pozo Camar 2 de SQM, en el Salar de Atacama, Chile. Apéndice 5-C. SQM.

García, A., Cun, R., Chong, C., Duarte, C. y Montero, L. 2009. Calibration of a hydraulic pressure chamber developed in Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 18(3):24-29.

Garrido, M., Silva, H., Franck, N., Arenas, J. & Acevedo, E. 2018. Evaluation of Morpho-Physiological Traits Adjustent of *Prosopis tamarugo* Under Long-Term Groundwater Depletion in the Hyper-Arid Atacama Desert. *Frontiers in Plant Science* 9: 453. doi:10.3389/fpls.2018.00453

Giordano, C., Guevara, A., Boccalandro, H., Sartor, C. & Villagra, P. 2011. Water status, drought responses, and growth of *Prosopis flexuosa* trees with different Access to the water table in a warm South American desert. *Plant Ecol.* 212:1123-1134.

Grzesiak, S., Grzesiak, M., Hura, T., Marcinska, I. & Rzepka, A. 2012. Changes in root system structure, leaf wáter potential and gas Exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. *Environmental and Experimental Botany* 88:2-10.

Hidroestudios. 2020. Modelación de la vitalidad y análisis cuantitativo de posibles causas de afectación en algarrobos de Camar. Apéndice 5-D. SQM.

Ibáñez, S. 2019. Informe taxonómico de identificación de las especies de *Prosopis* en la Quebrada de Camar. Apéndice 4.7-10. SQM.

Johnson, D., Domec, J.P., Carter, Z., Schwantes, A., Woodruff, D., McCulloh, K., et al. 2018. Co-occurring woody species have diverse hydraulic strategies and mortality rates during an extreme drought: Belowground hydraulic failure during drought. *Plant Cell and Environment* 41(3): 576-588.

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta (SAP). 2021. Informe Proyecto Pampa Hermosa Llamara 2021. SQM.

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta (SAP). 2023. Informe de estado hídrico en algarrobo de la quebrada de Camar. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 35 p.

May, C., Pérez, A., Ruiz, E., Ic, A. y García, A. 2011. Effect of moisture levels on growth and wáter potential of *Capsicum chinense* Jacq. and their relationship to the development of *Bemisia tabaci* Genn, Tropical and Subtropical Agroecosystems 14(2011):1039-1045.

Meyer, W.S. & Ritchie, J.T. 1980. Resistance to Water Flow in the Sorghum Plant. *Plant Physiology* 65: 33-39.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2012a. Ficha de antecedentes de especie 582, *Prosopis flexuosa* DC. Clasificación según estado de conservación.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2012b. Ficha de antecedentes de especie 578, *Prosopis alba* Grise. var. *alba*. Clasificación según estado de conservación.

Pérez, L. 2018. How do we proceed to violations of parametric methods assumptions? or how to work with non-normal biological variables? *Revista del Jardín Botánico Nacional* 39: 1-12.

Ramirez, E. 1972. Caracterización climatológica e hidrológica del Salar de Atacama. CORFO.

Scholander, P., Bradstreet Edda, D., Hemmingsen, E. & Hammel, H. 1965. Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148: 339–346.

Sellés, V., Ferreyra, E. y Maldonado, P. 2022. Cámara de presión, Instrumento para controlar el riego a través de mediciones del estado hídrico de las plantas. *Aconex* 76:18-22.

Taiz, L. & Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology* (Third Edition). Sinauer Associates, Inc. Sunderland.

Vernieri, P., Lenzi, A., Figaro, M., Tognoni, F. & Pardossi, A. 2001. How the roots contribute to the ability of *Phaseolus vulgaris* L. to cope with chilling-induced water stress. *J. Exp. Bot.*, 52(364): 2199-2206.

Williams, L. 2001. Irrigation of winegrapes in California. *Practical Winery & Vineyard* 23:42-55.

8.4.3 Biomasa de algarrobos

Álvarez, J. A., P. E. Villagra y R. Villalba. 2011. Factors controlling deadwood availability and branch decay in two *Prosopis* woodlands in the Central Monte, Argentina. *Forest Ecology and Management*. 262(4):637-645.

Aronson, J.; C. Ovalle; J. Avendaño; L. Longeri y A. Del Pozo. 2002. Agroforestry tree selection in central Chile: Biological nitrogen fixation and early plant growth in six dryland species. *Agroforestry Systems*. 56:155-166.

Atanasio M. 2014 Influencia de la poda en el crecimiento de *Prosopis alba* Griseb. *Quebracho* Vol.22(1,2):66-78

Baskerville, G.L., 1972. Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass. *Can. J. For. Res.* 2, 49–53. doi:10.1139/x72-009

Birhane, E.; A. C. Treydte; A. Eshete; N. Solomon y M. Hailemariam. 2017. Can rangelands gain from bush encroachment? Carbon stocks of communal grazing lands invaded by *Prosopis juliflora*. *Journal of Arid Environments*. 141:60-67.

Caron, M. y A. Ortin. 2010. Recuperación de bosques de algarrobos después de un incendio. *Ciencia* 5(14) 15 pp.

Cruz, G. y Tapia P. 2020. Estimación biomasa de población de *Prosopis alba* (algarrobo) emplazados en el Sector Camar del Borde Este del Salar de Atacama. Informe Técnico preparado para Geobiota. Santiago. 49p

De Benitez, C.; M. Pece; M. Juárez de Galíndez y M. Acosta. 2014. Modelaje de la biomasa aérea individual y otras relaciones dendrométricas de *Prosopis nigra* Gris. en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Revista de Ciencias Forestales - Quebracho*. 22:17-29.

- Felker, P.; P. P. Clark; J. F. Osborn y G. H. Cannell. 1982. Biomass Estimation in a Young Stand of Mesquite (*Prosopis* spp.), Ironwood (*Oheya tesota*), Palo Verde (*Cercidium floridum*, and *Parkinsonia aculeata*), and *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*).35(1):3.
- Felker, P.; D. Smith; C. Wiesman y R. L. Bingham. 1989. Biomass production of *Prosopis alba* clones at two non-irrigated field sites in semiarid south Texas. *Forest Ecology and Management*. 29(3):135-150.
- Felker, P., Lopez, C., Soulier, C., Ochoa, J., Abdala, R. y Ewens, M. 2001. Genetic evaluation of *Prosopis alba* (algarrobo) in Argentina for cloning elite trees. *Agroforestry Systems*. 53. 65-76. 10.1023/A:1012016319629.
- Fernandes, P. C. F. 1994. Comportamento silvicultural de especies de *Prosopis*, em Petrolina-pe, Região Semi-Árida Brasileira. Curitiba, Brasil: Universidad Federal do Parana. 126p.
- Fernandes, P. C.; E. B. de Oliveira y S. do Amaral. 1996. Equações para estimativa de biomassa de especies de *Prosopis* no semi-arido brasileiro. *Bol. Pesq. Fl. Colombo*. 32:67-79.
- Gayon, J. 2000. History of the concept of allometry. *Am. Zool.*, 40(5): 748–758.
- Geobiota 2020. Plan de Seguimiento Ambiental Biótico 2019. Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama. Región de Antofagasta. Preparado para SQM Salar. Santiago. Mayo, 2020. 21 pág.
- Hierro, J. L.; L. C. Branch; D. Villarreal y K. L. Clark. 2000. Predictive equations for biomass and fuel characteristics of Argentine shrubs. *Journal of Range Management*. 53(6):617-621.
- Husch, B., T. W. Beers and J.A. Kershaw. 2003. *Forest Mensuration*. Fourth edition. Wiley. New York, USA. 443 p.
- Huxley, J.S. 1924. Constant differential growth-ratios and their significance. *Nature*, 114: 895–896.
- Iglesias, M. D. R. y A. Haydée. 2010. Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina). *Ecología Austral*. 20:71-79.
- Karlin, U., Coirini, R. Catalan, L. y Zapata R. 1997 *Prosopis alba* En: FAO 1997 Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N° 12.
- Khan, D., and R. Ahmad 2011. Size-Phytomass Relations. In: *Prosopis juliflora* (Swartz.) DC. *Biol. Biotech.*, 8 (1): 139-154.
- Laar, A. van, Akça, A., 2007. *Forest mensuration*, 2. ed., completely and supplemented. ed, *Managing forest ecosystems*. Springer, Dordrecht.
- Landsberg, J. J. and R. H. Waring. 1997. A generalised model of forest productivity using concepts of radiation use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management*. 95: 209-228.
- Ledesma, M.; C. A. Carranza y M. Balzarini. 2010. Estimación de la biomasa foliar de *Prosopis flexuosa* mediante relaciones alométricas. *AgriScientia*. 27(2):87-96.

- Ludwig, J. A.; J. F. Reynolds y P. D. Whitson. 1975. Size-biomass Relationships of Several Chihuahuan Desert Shrubs. *The American Midland Naturalist*. 94(2):451-461. University of Notre Dame.
- Meier, A. R.; M. R. Saunders y C. H. Michler. 2012. Epicormic buds in trees: a review of bud establishment, development and dormancy release. *Tree physiology review*. *Tree Physiology Advance*
- Parresol, B. R. 2011. Additivity of nonlinear biomass equations. *Canadian Journal of Forest Research*. 31:865-878. NRC Research Press Ottawa, Canada.
- Padrón E., Y R., Navarro-Cerrillo 2004. Estimation of above-ground biomass in naturally occurring populations of *Prosopis pallida* (H. & B. ex. Willd.) H.B.K. in the north of Peru. *Journal of Arid Environments* 56: 283-292.
- Picard, N., Saint-André, L., Henry, M., 2012. Manual for building tree volume and biomass allometric equations from field measurement to prediction. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome. 215p.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., Real, P., 1997. *Mensura forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible*. IICA, BMZ/gtz. San José, Costa Rica
- Rodríguez, R.; Marticorena, C.; Alarcón, D.; Baeza, C.; Cavieres, L.; Finot, V.; Fuentes, N.; Kiessling, A.; Mihoc, M.; Pauchard, A.; Ruiz, R.; Sánchez, P. y Marticorena, A. 2018. Catálogo de las plantas vasculares de Chile. *Gayana Bot.* 75(1): 1-430.
- Rodríguez, R.; Matthei, O. y Quezada, M. 1983, *Flora arbórea de Chile*. Ed. Universidad de Concepción 408p.
- Satoo, T. y Magdwick, H.A.I. 1982. *Forest biomass*. Forestry Sciences. Martinus Nijhoff / Dr W. Junk Publishers. Netherlands. 135 p.
- Sciammaro, Leonardo; Cristina Ferrero; Cecilia Puppo. 2015. Agregado de valor al fruto de *Prosopis alba*. Estudio de la composición química y nutricional para su aplicación en bocaditos dulces saludables. *1Rev. Fac. Agron. Vol 114 (1): 115-123*.
- Sione, S., S. G. Ledesma, L. J. Rosenberger, J. D. Oszust; H. Andrade-Castañeda; G. O. Maciel, M. G. Wilson y M. C. Sasal. 2020. Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. en bosques de Entre Ríos (Argentina). *Agronomía & Ambiente*. 40(1):63-76.
- Sharifi, M. R.; E. T. Nilsen y P. W. Rundel. 1982. Biomass and Net Primary Production of *Prosopis glandulosa* (Fabaceae) in the Sonoran Desert of California. *American Journal of Botany*. 69(5):760-767.
- Villagra, P. Cony, M. y J. Álvarez. sf. Tercer informe de avance sobre estudios e investigaciones que intentan explicar el estado actual de ejemplares de algarrobo, en una población ubicada en las proximidades del pozo CAMAR 2 de SQM, en el Salar de Atacama, Chile. Estudio dendrocronológico. Centro Científico Tecnológico - CONICET-Mendoza - Argentina. 71p.
- Zuloaga, F.O.; Morrone, O. & Belgrano, M.J. (eds.) 2008. Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 107: i-xcvi + 1-3348.

8.5 Fauna

Araya, B. y Millie, G. (1998). Guía de campo de las aves de Chile. Octava edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 406 p.

Blanco, D. y Carbonell, M. (2001). El censo neotropical de aves acuáticas. Los primeros 10 años: 1990-1999. Wetlands International, Buenos Aires & Ducks Unlimited, Memphis, 96pp.

Bibby, C.J., Burgess, N.D. y Hill, D.A. (1992). Bird census techniques. Academic Press, London.

Brown, J.H. y Zeng, Z. (1989). Comparative Population Ecology of Eleven Species of Rodents in the Chihuahuan Desert. *Ecology*, 70: 1507-1525.

Caziani, S.M. y Derlindati, E.J. (1996). *Fulica cornuta* en la Laguna de Pululos y otras cercanas, Puna árida del noroeste de Argentina. *Threatened Waterfowl Specialist Group Newsletter* 9:34-39.

Cei, J.M. (1962). Los Batracios de Chile. Ediciones de la Universidad de Chile 240 pp.

CONAF (2005). Flamencos altoandinos *Phoenicopterus andinus* (Philippi, 1854), *Phoenicopterus jamesi* (Sclater, 1886) y *Phoenicopterus chilensis* (Molina, 1782), en el Norte de Chile: Estado actual y plan de conservación. Rodríguez, E. (Ed.). Corporación Nacional Forestal, CONAF. Antofagasta, Chile.

CONAMA (2009). Memorandum DJ N° 387/2008. Minuta prelación para efectos del SEIA de las clasificaciones y/o categorizaciones de las especies de flora y fauna silvestre. Comisión Nacional del Medio Ambiente. División Jurídica.

CONAMA (2009). Convenio sobre diversidad biológica. Cuarto informe nacional de biodiversidad. Chile. 137 pp.

Couve, E., Vidal, C.F. y Ruiz, J. (2016). Aves de Chile. Sus islas oceánicas y Península Antártica. Una guía de campo ilustrada. FS Editorial, Punta Arenas. 550pp.

De la Maza, M. y Bonacic, C. (2013). Manual para el monitoreo de fauna silvestre en Chile. Serie Fauna Australis. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile, 202pp.

Decreto Supremo N° 5/1998 Reglamento de Ley de Caza, Servicio Agrícola Ganadero.

Decreto Supremo N° 75/2005 Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres.

Decreto Supremo N° 151/2007. Chile. Oficializa primera clasificación de especies silvestres según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario Oficial, 24 de marzo de 2007.

Decreto Supremo N° 50/2008. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el segundo proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario oficial, 30 de junio de 2008.

Decreto Supremo N° 51/2008. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el tercer proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario oficial, 30 de junio de 2008.

Decreto Supremo N° 23/2009. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el cuarto proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario oficial, 7 de mayo de 2009.

Decreto Supremo N° 33/2011. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, quinto proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 27 de febrero de 2012.

Decreto Supremo N° 41/2011. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, sexto proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 11 de abril de 2012.

Decreto Supremo N° 42/2011. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, séptimo proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 11 de abril de 2012.

Decreto Supremo N° 19/2012. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, octavo proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 11 de febrero de 2013.

Decreto Supremo N° 13/2013. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, noveno proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 25 de julio de 2013.

Decreto Supremo N° 52/2014. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 29 de agosto de 2014.

Decreto Supremo N° 38/2015. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, undécimo proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 04 de septiembre de 2015.

Decreto Supremo N° 16/2016. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, doceavo proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 30 de septiembre de 2016.

Decreto Supremo N° 6/2017. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, treceavo proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 2 de junio de 2017.

Decreto Supremo N° 79/2018. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo cuarto proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 19 de diciembre de 2018.

Decreto Supremo N° 23/2019. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo quinto proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 10 de julio de 2020.

Decreto Supremo N° 16/2020. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo sexto proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 27 de octubre de 2020.

Decreto Supremo N° 44/2021. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo séptimo proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 20 de diciembre de 2021.

Decreto Supremo N° 10/2023. Chile. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo octavo proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario oficial, 6 de octubre de 2023.

Delany, S. (2005). Guidelines for participants in the International Waterbird Census (IWC). Wetlands International, Wageningen, 15pp.

Demangel, D. (2016). Reptiles en Chile. Fauna Nativa Ediciones, 619 pp.

Donoso-Barros, R. (1966). Reptiles de Chile. Ediciones Universidad de Chile, 458 pp.

Espinosa, L. (1998). Censo Neotropical de aves acuáticas 1997. Boletín Chileno de Ornitología 5: 34-40.

Estades, C.F., Vukasovic, M.A. y Aguirre, J. (2017). Birds in Coastal Wetlands of Chile. In: Fariña J., Camaño A. (eds) The Ecology and Natural History of Chilean Saltmarshes. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63877-5_3

Gallardo O.P. y Rodríguez, E (1992). Hábitos alimentarios y etología de flamencos en el Salar de Surire. Tesis de grado. Universidad Arturo Prat, 89 pp

Hurlbert, S.H., López, M. y Keith, J.O. (1984). Wilson's Phalarope in the Central Andes and its Interaction with the Chilean Flamingo. Revista Chilena de Historia Natural, 57: 47-57.

Iriarte, J.A. (2008). Mamíferos de Chile. Lynx Edicions. Barcelona, España. 420 pp.

Jaramillo, A. (2005). Aves de Chile. Lynx Edicions. Barcelona, España. 240 pp.

Johnson, A.W. (1965). The birds of Chile and adjacent regions of Argentina, Bolivia, and Peru. Vol. I. Platt Establecimientos Gráficos, Buenos Aires, 398 pp.

Johnson, A.W. (1967). The birds of Chile and adjacent regions of Argentina, Bolivia, and Peru. Vol. II. Platt Establecimientos Gráficos, Buenos Aires, 447 pp.

López-Lanús, B. y Blanco, D.E. (Eds.) (2005). El Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2004. Global Series No. 17. Wetlands International. Buenos Aires, 114pp.

Mann, G. (1958) Clave de determinación para las especies de mamíferos silvestres de Chile. Trabajos del Centro de Investigaciones Zoológicas 4: 1-38.

Mann, G. (1978). Los pequeños mamíferos de Chile. Gayana, Zoología 40:1-342.

Martínez, D. y González, G. (2005). Aves de Chile. Nueva guía de campo. Ediciones del Naturalista, Santiago, 620 pp.

- Mella, J. (2017). Guía de Campo de Reptiles de Chile. Tomo 1: Zona Central. Peñaloza APG (ed.) Santiago, Chile. 308 pp
- Muñoz-Pedrerros, A. (2008). Huellas y signos de mamíferos de Chile. Cea Ediciones.
- Muñoz-Pedrerros, A. y Yañez, J.L. (2000). Mamíferos de Chile. Ediciones CEA, Valdivia Chile. 464 pp.
- Muñoz-Pedrerros, A., Rau, J. y Yañez, J. (2004). Aves rapaces de Chile. Cea Ediciones.
- Muñoz-Pedrerros, A., Rau, J. R., Valdebenito, M., Quintana, V. y Martínez, D.R. (1995). Densidad relativa de pumas (*Felis concolor*) en un ecosistema forestal del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 68: 501-507.
- Nuñez, H. y Jaksic, F. (1992). Lista comentada de los reptiles terrestres de Chile continental. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 43: 63-91.
- Osgood, W. H. (1943). The Mammals of Chile. Field Museum of Natural History. Zoological Series 30: 1-268.
- Parada, M. (1990). Flamencos en el norte de Chile, distribución, abundancia y fluctuaciones estacionales del número. Pp. 52-66 en Actas I Taller Internacional de Especialistas en Flamencos Sudamericanos. Corporación Nacional Forestal, 217pp.
- Pincheira-Donoso, D. y Nuñez, H. (2005). Las especies chilenas del género *Liolaemus* Wiegmann 1843 (Iguania: Tropicoduridae: Liolaeminae). Taxonomía, sistemática y evolución. Publicación ocasional, Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 59: 1-486.
- Rau, J., Zuleta, C., Gantz, A., Sáiz, F., Cortés, A., Yates, L., Spotorno, A. y Couve, E. (1998). Biodiversidad de artrópodos y vertebrados del Norte Grande de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 71:527-554.
- Reise D. (1973). Clave para la determinación de los cráneos de marsupiales y roedores chilenos. Gayana Zoológica. Universidad de Concepción.
- Rodríguez, E. (ed.). (2005). Flamencos altoandinos *Phoenicopterus andinus* (Philippi, 1854), *Phoenicoparrus jamesi* (Sclater, 1886) y *Phoenicopterus chilensis* (Molina, 1782), en el Norte de Chile: Estado actual y plan de conservación. Corporación Nacional Forestal, CONAF. Antofagasta, Chile.
- Rodríguez, E., y Contreras, J.P. (1998). Conservación de Flamencos en el Norte de Chile. En: La Conservación de la Fauna Nativa de Chile. Logros y Perspectivas. Víctor Valverde (Ed.), Corporación Nacional Forestal. Chile.
- SAG (2004). Medidas de mitigación de impactos ambientales en fauna silvestre. Servicio Agrícola y Ganadero. División de Protección de los Recursos Naturales Renovables. Subdepartamento de Gestión Ambiental. Santiago de Chile. 180 pp.
- Skewes, O. (2009). Manual de huellas de mamíferos silvestres de Chile. Chillán, Chile. Imprenta La Discusión. 100 pp.
- Stotz, D., Fitzpatrick, J., Parker III, T. y Moskovits, D. (1997). Neotropical birds, ecology, and conservation. The University of Chicago Press, Chicago, 478pp.

Tala, C. (2006). Qué hacen aquí esas gaviotas... qué hacen aquí, tan lejos de su lugar natal. Boletín Veterinario Oficial N° 5, I semestre 2006.

Vidal M. y Labra, A. (2008). Herpetología de Chile. Science Verlag, Santiago.

8.6 Biota acuática

Albarracín V., Dib J.R., Ordoñez OF. & Farías M.E. (2010). A harsh life to indigenous proteobacteria at the Andean mountains: microbial diversity and resistance mechanisms towards extreme conditions. In: Sezenna M (ed). Phylogeny, metabolic diversity and ecological effects. Nova Science Publishers, Inc., New York, pp1-24.

Anderson M. (2001). A new method for non-parametric multivariate análisis of variance. Austral Ecology. 26: 32-46.

APHA, AWWA, WPCF. (2012). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial Díaz de Santos S.A. España.

Barocio-León O.A., Millán-Núñez R., Santamaría del Ángel E & González-Silvera A. (2007). Productividad primaria del fitoplancton en la zona eufótica del Sistema de la Corriente de California estimada mediante imágenes del CZCS. Ciencias marinas 33(1): 5972.

CEA (2020). Estudio de la historia de vida de *Heleobia atacamensis*. Compromiso Ambiental Voluntario, Albebarle, 27 pp.

Clarke K.R. & Gorley R.N. (2015). PRIMER v7: User manual/tutorial. PRIMER-E Plymouth.

Collado, G.A. (2013). *Heleobia atacamensis* (Philippi, 1860). In: 10° Proceso de Clasificación de Especies. Ministerio del Medio Ambiente, Chile. www.mma.gob.cl (accessed 07.07. 2014)

Collado G.A., Méndez M.A. Letelie, S. Veliz D. & Sabando, M.C. (2011). Morfología peniana y taxonomía del género *Heleobia* Stimpson, 1865 en Chile junto a una revisión de los ejemplares tipo del Museo Nacional de Historia Natural de Chile. *Amici Molluscarum* (Número especial): 49-58.

Cornellá O., Salas J., Aravena R., Guzmán E., Guimerá J., Tore C., Von Igel W., Henríquez A & Fock A. (2009). Hidrogeología de los sistemas lagunares del margen este del Salar de Atacama. XII Congreso Geológico Chileno. 1-4.

De Los Ríos-Escalante P. (2011). A null model to study community structure of microcrustaceans assemblages in northern Chilean shallow lakes *Crustaceana* 84(11/12): 513-321.

De Los Ríos-Escalante P., Baaloudj A., Encina-Montoya F., Vega R. & Mardones A. (2023). Null models for understand crustaceans communities in inland Waters in San Pedro de Atacama and Salar de Atacama basin, Antofagasta región, Chile. *Idesia* 41(1): 105-109.

Fernández-Turiel J.L., García M., Gimeno D., Saavedra J & Martínez S. (2005). The host spring and geyser of El Tatio, northern Chile. *Sedimentary Geology*, 180: 125-147.

Gajardo G. & Redón S. (2019). Andean hypersaline lakes in the Atacama Desert, northern Chile: Between lithium exploitation and unique biodiversity conservation. *Conservation Science and Practice*. Vol1 (9): e94.

Jara F., Soto D. & Palma R. (1995). Reproduction in captivity of the endangered Killifish *Orestias ascotanus* (Teleostei: Cyprinodontidae). *Copeia* 1:226-228.

Muñoz J.F & Ortiz C.A. (2004). Funcionamiento hidrogeológico del acuífero del núcleo del Salar de Atacama, Chile. *Ingeniería hidráulica en México*. Vol. XIX, numero 2: 69-81.