

## Campaña de Monitoreo N°13 – abril de 2019

Informe de Seguimiento Ambiental Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama Región de Antofagasta



Preparado para SQM Salar S.A Diciembre 2020

### **CONTENIDO**

1	RESUMEN1				
	1.1	Vegetació	ón del Borde Este mediante imágenes satelitales	1	
	1.2	Vegetació	ón en zona de conexión con acuífero	2	
	1.3		os en sector Camar 2		
	1.4	Flora		3	
	1.5	Fauna		5	
	1.5.1	Reptil	es	6	
	1.5.2	Aves .		6	
	1.5.3	Mamít	feros	6	
	1.6	Biota Acu	iática	7	
	1.6.1	Medio	Abiótico	7	
	1.6.2	Medio	Biótico	8	
2	INTRODU	JCCIÓN		1	
3	OBJETIV	OS		2	
4			TODOS		
4					
	4.1		estudio		
	4.2		o de la vegetación del Borde Este mediante imágenes satelitales		
	4.2.1		ción de los puntos de monitoreo		
	4.2.2		netros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales		
	4.2.3		dología de muestreo, medición y análisis		
	4	4.2.3.1	Prospección vegetacional de terreno		
	4	4.2.3.2	Análisis de la imagen satelital	11	
	4	4.2.3.3	Segmentación, clasificación y atributación de la vegetación		
	4	4.2.3.4	Mosaicos de vegetación		
	4.2.4		iales y equipos utilizados		
	4.2.5		as de muestreo de cada parámetro		
	4.3	Monitored	o de vegetación en zona de conexión vegetación-acuífero	14	
	4.3.1	Ubica	ción de los puntos de monitoreo	14	
	4.3.2	Parán	netros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	15	
	4.3.3	Metod	dología de muestreo, medición y análisis	15	
	4.3.4	Mater	iales y equipos utilizados	17	
	4.3.5	Fecha	as de campaña de terreno	17	
	4.4	Monitored	o de algarrobos en el sector Camar-2	18	
	4.4.1	Ubica	ción de ejemplares monitoreados	18	
	4.4.2	Parán	netros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	19	
	4.4.3	Metoc	dología de muestreo, medición y análisis	19	
	4	4.4.3.1	Vitalidad	19	



	4.4.3.2		3.2	Copa viva (Follaje verde)	20
	4.4.3.3		3.3	Fenología	20
	4.4.3.4		3.4	Daño por agentes externos	21
	4.4.4	4	Materi	ales y equipos utilizados	21
	4.4.5	5	Fecha	s de muestreo de cada parámetro	21
4.5	5	Flo	ora		22
	4.5.1	1	Ubica	ción de los puntos de monitoreo	22
	4.5.2	2	Parám	netros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	23
	4.5.3	3	Metod	ología de muestreo, medición y análisis	23
		4.5.3	3.1	Protocolo de evaluación de tendencias	25
	4.5.4	1	Materi	ales y equipos utilizados	26
	4.5.5	5	Fecha	s de muestreo de cada parámetro	26
4.6	3	Fa	una		26
	4.6.1	1	Ubica	ción de los puntos de monitoreo	26
		4.6.1	1.1	Monitoreo de reptiles, aves terrestres y mamíferos	26
		4.6.1	1.2	Monitoreo de aves en ambientes acuáticos	30
	4.6.2	2	Parán	netros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	32
	4.6.3	3	Metod	ología de muestreo, medición y análisis	32
		4.6.3	3.1	Solicitud del Permiso Sectorial de Captura de Fauna Silvestre	32
		4.6.3	3.2	Técnicas de muestreo aplicadas	32
		4.6.3	3.3	Reptiles	33
		4.6.3	3.4	Aves en ambientes terrestres	33
		4.6.3	3.5	Aves en ambientes acuáticos	33
		4.6.3	3.6	Micromamíferos	34
		4.6.3	3.7	Macromamíferos	34
		4.6.3	3.8	Identificación, origen biogeográfico y singularidad de las especies	35
	4.6.4	4	Materi	ales y equipos utilizados	36
	4.6.5	5	Fecha	s de muestreo de cada parámetro	36
4.7	7	Bio	ota Acu	ática	37
	4.7.1	1	Ubica	ción de los puntos de monitoreo	37
	4.7.2	2	Parán	netros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	41
	4.7.3	3	Metod	ología de muestreo, medición y análisis	41
		4.7.3	3.1	Medio abiótico	41
		4.7.3	3.2	Medio biótico	43
	4.7.4	1	Materi	ales y equipos utilizados	44
		4.7.4	1.1	Medio Abiótico	44
		4.7.4	1.2	Medio biótico	44
	4.7.5	5	Fecha	s de muestreo de cada parámetro	46
RE	SUL	TADO	s		47



5

5.1		Monitore	eo de la vegetación del Borde Este mediante imágenes satelitales	47
	5.1.1	Anál	lisis de las caracterizaciones en terreno	47
		5.1.1.1	Estado vital	47
		5.1.1.2	Porcentaje de copa viva	48
		5.1.1.3	Fenología	49
	5.1.2	Distr	ribución y abundancia de la vegetación mediante imágenes satelitales	50
5.2	<u> </u>	Monitore	eo de la vegetación en Zona de Conexión vegetación- acuífero	53
	5.2.1	Cob	ertura vegetacional	53
	5.2.2	Esta	do vital	54
	5.2.3	Porc	centaje de copa viva	55
	5.2.4	Esta	do fenológico	55
5.3	3	Monitore	eo de algarrobos en el sector Pozo Camar-2	57
	5.3.1	Vital	idad	59
	5.3.2	Cop	a Viva	59
	5.3.3	Fend	ología	60
	5.3.4	Dañ	o por efectos de tercero	61
5.4	ļ	Flora		63
	5.4.1	Riqu	ieza florística	63
	5.4.2	Fred	cuencia y abundancia de la flora	65
	5.4.3	Cara	acterización del pH del sustrato	66
		5.4.3.1	ALS Life Sciences Chile S.A. (ETFA)	66
	į	5.4.3.2	Agroanálisis UC (complementario)	67
	5.4.4	Cara	acterización de la salinidad del sustrato	68
	į	5.4.4.1	ALS Life Sciences Chile S.A. (ETFA)	69
		5.4.4.2	Agroanálisis UC (Complementario)	70
5.5	j	Fauna		71
	5.5.1	Riqu	eza y caracterización de especies	71
	5.5.2	Abu	ndancia de Reptiles	71
	5.5.3	Abui	ndancia de avifauna	72
		5.5.3.1	Abundancia de aves en ambientes terrestres	72
		5.5.3.2	Abundancia de aves en ambientes acuáticos	73
	5.5.4	Abu	ndancia de mamíferos	78
		5.5.4.1	Abundancia de micromamíferos	78
		5.5.4.2	Abundancia de macromamíferos	79
5.6	6	Biota ac	cuática	81
	5.6.1	Med	io Abiótico	81
	į	5.6.1.1	Temperatura	82
		5.6.1.2	pH	83
	Ę	5.6.1.3	Conductividad del agua	85



	5.6.1.4	Salinidad	86
	5.6.1.5	Oxígeno Disuelto	87
	5.6.1.6	Conductividad del Sedimento y del Agua intersticial	89
	5.6.2 N	Medio Biótico	92
	5.6.2.1	Clorofila-a	92
	5.6.2.2	2 Fitobentos	95
	5.6.2.3	B Fitoplancton	105
	5.6.2.4	Zoobentos	112
	5.6.2.5	5 Zooplancton	122
	5.6.2.6	Plantas Acuáticas (Macrófitas)	129
6	DISCUSIONES	S	131
	6.1 Ante	cedentes	131
	6.2 Mon	itoreo de la vegetación del Borde Este mediante imágenes satelitales	134
	6.2.1 A	Análisis de las caracterizaciones en terreno	134
	6.2.1.1	Estado vital	134
	6.2.1.2	Porcentaje de copa viva	135
	6.2.1.3	B Fenología	136
	6.2.2	Distribución y abundancia de la vegetación mediante imágenes satelitales	136
	6.3 Mon	itoreo de la vegetación en Zona de Conexión vegetación-acuífero	142
	6.3.1 \	/italidad	142
	6.3.2 F	Porcentaje de copa viva	144
	6.3.3 F	Fenología	146
	6.4 Mon	itoreo de Algarrobos en el sector pozo Camar-2	149
	6.4.1 A	nálisis de variables medidas	149
	6.4.1.1	l Vitalidad	149
	6.4.1.2	Porcentaje de copa Viva	153
	6.4.1.3	B Fenología	156
	6.4.1.4	Daño por agentes externos	158
	6.4.2 A	Análisis de la dinámica de los algarrobos	159
	6.5 Mon	itoreo de Flora	162
	6.5.1 F	Riqueza y frecuencia de Flora	162
	6.5.1.1	Riqueza de especies de flora	162
	6.5.1.2	2 Frecuencia de especies de flora	167
	6.5.1.3	Protocolo de análisis de tendencias de variables ambientales	174
	6.5.2 p	H del sustrato	176
	6.5.2.1	pH del sustrato según Agroanálisis UC (2012 – 2019)	176
	6.5.2.2	pH del sustrato según ETFA ALS Life Sciences (2018 y 2019)	178
	6.5.2.3	Comparación de las mediciones de pH entre laboratorios	180
	6.5.2.4	Protocolo de análisis de tendencias de variables ambientales	180



	6.5.3	Cond	luctividad eléctrica del sustrato	187
	6	5.5.3.1	Conductividad eléctrica del sustrato según Agroanálisis UC (2012 y	2019) .187
	6	5.5.3.2	Conductividad eléctrica del sustrato según ALS Life Sciences (2018	
	6	5.5.3.3	Comparación de las mediciones de la conductividad eléctrica entre laboratorios	191
	6	3.5.3.4	Análisis de tendencias	191
6.6	5	Fauna		198
	6.6.1	Repti	iles	198
	6.6.2	Aves	en ambientes terrestres	201
	6.6.3	Aves	en ambientes acuáticos	206
	6	5.6.3.1	Abundancia de aves en ambientes acuáticos en el Borde Este del Sa Atacama	
	6	6.6.3.3	Abundancias de aves acuáticas en el Sistema Lacustre Aguas de Qu	uelana 214
	6.6.4	Mam	íferos	219
	6	5.6.4.1	Micromamíferos	219
	6	6.6.4.2	Macromamíferos	222
6.7	•	Biota acu	uática	224
	6.7.1	Medi	o Abiótico	224
	6	5.7.1.1	Temperatura	224
	6	5.7.1.2	pH	229
	6	5.7.1.3	Conductividad eléctrica del agua	236
	6	5.7.1.4	Salinidad	242
	6	5.7.1.5	Oxígeno disuelto	247
	6	5.7.1.6	Conductividad eléctrica del sedimento	253
	6	5.7.1.7	Conductividad del Agua intersticial en Sedimentos	258
	6	5.7.1.8	Consideraciones	264
	6.7.2	Medi	o Biótico	264
	6	5.7.2.1	Clorofila-a de la Fracción Planctónica	264
	6	5.7.2.2	Clorofila-a de la Fracción Bentónica	270
	6	5.7.2.3	Fitoplancton	276
	6	5.7.2.4	Fitobentos	287
	6	5.7.2.5	Zooplancton	298
	6	5.7.2.6	Zoobentos	308
	6	5.7.2.7	Consideraciones	319
CC	)NCLU	SIONES		320
7.1		Monitore	o de la vegetación del Borde Este mediante imágenes satelitales	320
7.2	2	Monitore	o de vegetación en Zona de Conexión vegetación-acuífero	321
7.3	3	Monitore	o de Algarrobos en el pozo Camar-2	321
7.4	ļ	Flora		322



7

	7.5	Fauna	323
	7.6	Biota Acuática	325
	7.6.1	Medio Abiótico	325
	7.6.2	Medio Biótico	326
8	BIBLIOG	RAFÍA	328
	8.1	Vegetación, Flora y Algarrobos	328
	8.2	Fauna Terrestre	329
	8.3	Biota Acuática	333



### **TABLAS**

Tabla 2-1. Parámetros establecidos según RCA 226/06 y responsables de la ejecución del presente Pla	ın
de Seguimiento Ambiental.	1
Tabla 4-1. Vértices del Área de estudio	5
Tabla 4-2. Ubicación de los puntos de monitoreo de vegetación en el Borde Este del Salar de Atacam	ıa
(Datum WGS84, 19S)	7
Tabla 4-3. Rangos de cobertura utilizados en las descripciones vegetacionales	9
Tabla 4-4. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas	0
Tabla 4-5. Escalas utilizadas para clasificar el porcentaje de copa viva de las plantas1	0
Tabla 4-6. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico1	0
Tabla 4-7. Fechas de muestreo vegetación.	3
Tabla 4-8 Ubicación de los puntos de monitoreo de vegetación en la zona de conexión (Datum WGS84, 1	9
S)1	4
Tabla 4-9. Rangos de cobertura utilizados en las descripciones vegetacionales1	6
Tabla 4-10. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas	6
Tabla 4-11. Escalas utilizadas para clasificar el porcentaje de copa viva de las plantas1	6
Tabla 4-12. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico1	7
Tabla 4-13. Fechas de monitoreo de la vegetación	7
Tabla 4-14. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 19S)1	8
Tabla 4-15. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas2	0.
Tabla 4-16. Escalas utilizadas para clasificar el porcentaje de copa viva de las plantas2	0.
Tabla 4-17. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico2	0
Tabla 4-18. Categorías de daño para la evaluación de individuos de algarrobo2	!1
Tabla 4-19. Fechas de muestreo de ejemplares de Algarrobo.	!1
Tabla 4-20. Ubicación de los puntos de monitoreo de flora (Datum WGS84 19S)2	2
Tabla 4-21. Fechas de muestreo Flora	:6
Tabla 4-22. Ubicación de puntos de muestreo para la prospección de fauna terrestre en el Borde Este de	
Salar de Atacama (Datum WGS84 19S).	:7
Tabla 4-23. Ubicación de puntos de observación de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacam	ıa
(Datum WGS84 19S)	
Tabla 4-24. Fechas de muestreo Fauna	6
Tabla 4-25. Sectores evaluados en monitoreo biota acuática Borde Este del Salar de Atacama – Campañ	ia
abril 2019 (Datum WGS84,19K)	7
Tabla 4-26. Parámetros utilizados en la caracterización y evolución de las variables ambientales4	.1
Tabla 4-27. Fechas de muestreo Biota acuática	.6
Tabla 5-1. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama5	1
Tabla 5-2. Total de puntos de monitoreo por categoría de cobertura de la vegetación. Zona de conexión	'n
vegetación-acuífero. Mediciones de enero y abril de 20195	3
Tabla 5-3. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías o	le
vitalidad5	5
Tabla 5-4. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación - acuífero. Porcentaje o	
copa viva. Campañas enero-abril de 20195	5
Tabla 5-5. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Etapa fenológica	
Campañas enero-abril de 2019.	6
Tabla 5-6. Individuos desaparecidos o desprendidos en el periodo de monitoreo	7



Tabla 5-7. Vitalidad de los ejemplares de Algarrobos en el área del pozo Camar 2	59
Tabla 5-8. Proporción (%) de copa viva de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2	60
Tabla 5-9. Fenología en ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2	61
Tabla 5-10. Proporción (%) del tipo de daño en ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2	62
Tabla 5-11. Riqueza de especies durante la campaña 2019.	63
Tabla 5-12. Hábito de crecimiento de la flora del Borde Este del Salar de Atacama	64
Tabla 5-13. Origen biogeográfico de la flora del Borde Este del Salar de Atacama	65
Tabla 5-14. Frecuencia de las especies durante la campaña 2019	65
Tabla 5-15. Rangos de pH del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio ALS Life Sciences.	.66
Tabla 5-16. Distribución de rangos de pH en los transectos de muestreo de flora. Laboratorio ALS L	_ife
Sciences.	67
Tabla 5-17. Rangos de pH del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio Agroanálisis UC	68
Tabla 5-18. Distribución de rangos de pH en los transectos de muestreo de flora. Laboratorio Agroanáli	sis
UC	68
Tabla 5-19. Rangos de conductividad eléctrica del suelo en transectos de muestreo de flora. Laborato	orio
ALS Life Sciences	
Tabla 5-20. Conductividad eléctrica obtenida en cada punto de muestreo de flora. Laboratorio ALS L	_ife
Sciences	69
Tabla 5-21. Rangos de conductividad eléctrica del suelo en transectos de muestreo de flora	70
Tabla 5-22. Conductividad eléctrica obtenida en cada punto de muestreo de flora	
Tabla 5-23. Abundancias de reptiles en el Borde Este del Salar de Atacama	
Tabla 5-24. Abundancia de aves en ambientes terrestres en el Salar de Atacama	
Tabla 5-25. Abundancia de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama	
Tabla 5-26. Abundancia de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama Campaña 2019	75
Tabla 5-27. Abundancia de flamencos en Sistema Lacustre Soncor	
Tabla 5-28. Abundancia de otras especies de aves en Sistema Lacustre Soncor.	76
Tabla 5-29. Abundancia de flamencos en Sistema Lacustre Aguas de Quelana. En la campa	
complementaria de junio de 2019	
Tabla 5-30. Abundancia de otras especies de aves en Sistema Lacustre Aguas de Quelana. En la campa	
complementaria de junio de 2019	
Tabla 5-31. Abundancia de flamencos en las Lagunas Salada y Saladita	
Tabla 5-32. Abundancia de otras especies de aves en las Lagunas Salada y Saladita. Campaña 2019	
Tabla 5-33. Abundancias de micromamíferos en el Borde Este del Salar de Atacama	
Tabla 5-34. Índice de visitas de <i>Pseudalopex sp</i> (zorro) y observaciones de improntas en estaciones	
atracción olfativa	
Tabla 5-35. Índice de visitas de <i>Pseudalopex sp</i> (zorro) mediante uso de Trampas Cámara.y observacion	
de improntas en estaciones de atracción olfativa.	
Tabla 5-36. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua de importancia limnológica medidos en	
distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.	
Tabla 5-37. Estadígrafos de la Temperatura medida en los distintos sistemas hidrológicos presentes en	
área de estudio	
Tabla 5-38 Estadígrafos de la variable pH medido en los distintos sistemas hidrológicos presentes en	
área de estudio	
Tabla 5-39. Estadígrafos de la Conductividad eléctrica del agua medida en los distintos sistem	
hidrológicos presentes en el área de estudio	85



Tabia 5-40. Estadigrafos de la Salinidad del agua medida en los distintos sistemas nidrológicos presentes
en el área de estudio
Tabla 5-41. Estadígrafos de la Oxígeno disuelto del agua medida en los distintos sistemas hidrológicos
presentes en el área de estudio.
Tabla 5-42. Estadígrafos de la Conductividad eléctrica del sedimento medida en los distintos sistemas
hidrológicos presentes en el área de estudio90
Tabla 5-43. Estadígrafos de la Conductividad eléctrica del agua intersticial en los distintos sistemas
hidrológicos presentes en el área de estudio
Tabla 5-44. Estadígrafos de la concentración de Clorofila-a de la fracción planctónica medida en los
distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio93
Tabla 5-45. Estadígrafos de la concentración de Clorofila-a de la fracción bentónica medida en los distintos
sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio94
Tabla 5-46. Estadígrafos de la Abundancia total del Fitobentos registradas en los distintos sistemas
hidrológicos presentes en el área de estudio96
Tabla 5-47. Estadígrafos de la Riqueza total del Fitobentos registradas en los distintos sistemas hidrológicos
presentes en el área de estudio
Tabla 5-48: Estadígrafos de la Riqueza total del Fitobentos registradas en los distintos sistemas hidrológicos
presentes en el área de estudio
Tabla 5-49. Estadígrafos de la Abundancia total del Fitoplancton registradas en los distintos sistemas
hidrológicos presentes en el área de estudio
Tabla 5-50. Estadígrafos de la Riqueza total del Fitoplancton registradas en los distintos sistemas
hidrológicos presentes en el área de estudio
Tabla 5-51. Estadígrafos de la Abundancia total del Zoobentos registradas en los distintos sistemas
hidrológicos presentes en el área de estudio113
Tabla 5-52. Estadígrafos de la Riqueza total del Zoobentos registradas en los distintos sistemas
hidrológicos presentes en el área de estudio
Tabla 5-53. Estadígrafos de la variación de los valores del índice de Shannon - Weiner (diversidad
biológica) del Zoobentos registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.
Tabla 5-54: Estadígrafos de la variación de los valores de Abundancia total del Zooplancton registradas en
los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio
Tabla 5-55. Estadígrafos de la variación de los valores de Riqueza total del Zooplancton registradas en los
distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio
Tabla 5-56: Presencia de Vegetación acuática (Macrófitas) presentes en el área de estudio129
Tabla 6-1. Precipitaciones mensuales (mm) registradas en la estación meteorológica Camar (DGA)132
Tabla 6-2: Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas
2006 a 2019
Tabla 6-3. Superficie de los Tipos Vegetacionales del Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 -
2019 según cada informe de monitoreo.
Tabla 6-4. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de
vitalidad. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019
Tabla 6-5. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Porcentaje de
copa viva. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019
Tabla 6-6: Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación - acuífero. Etapas
fenológicas. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019
Tabla 6-7. Vitalidad de la población de Algarrobos. Campañas 2006 – 2019



Tabla 6-8. Copa viva de la población de Algarrobo. Campanas 2006 – 2019154
Tabla 6-9. Fenología de los ejemplares de <i>Algarrobo</i> en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2019
Tabla 6-10. Proporción (%) del tipo de daño en ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2 Campaña 2017, 2018 – 2019
Tabla 6-11. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio. Campañas 2006 – 2019
Tabla 6-12. Frecuencia de especies en el Salar de Atacama durante los años 2006 – 2019, para los transectos 1 y 2
Tabla 6-13. Frecuencia de especies en el Salar de Atacama durante los años 2006 – 2019, para los transectos 3 y 4.
Tabla 6-14. Frecuencia de especies en el Salar de Atacama durante los años 2006 – 2019, para los transectos 5 y 6
Tabla 6-15. Frecuencia de especies en el Salar de Atacama durante los años 2006 – 2019, para el transecto 7
Tabla 6-16. Prueba de Kolmogorov-Smirnov sobre dos muestras para las variables Riqueza y Frecuencia de flora
Tabla 6-17. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para Riqueza y Abundancia de flora
Tabla 6-18. pH según ALS Life Sciences S.A para los años 2018 y 2019
Tabla 6-20. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la comparación de distribuciones de la pH de 2019 con cada año anterior
Tabla 6-21. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para el ph
Tabla 6-22. Comparación de las varianzas de las 18 muestras con significancia estadística
Tabla 6-25. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la comparación de distribuciones de la CE de 2019 con cada año anterior
Tabla 6-26. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para la Salinidad (CE)
Tabla 6-27: Abundancia total de reptiles en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2019
Tabla 6-28. Abundancia total de aves en ambientes terrestres en el Borde Este del Salar de Atacama Campañas 2006 – 2019
Tabla 6-29. Indicadores generales de aves en ambientes terrestres por sector. Campañas 2006-2019. 204 Tabla 6-30. Indicadores generales de aves en ambientes terrestres por ambiente. Campañas 2006 – 2019
Tabla 6-31. Indicadores generales de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2019
Tabla 6-32. Indicadores generales de aves en ambientes acuáticos por cuerpo de agua en el Sistema Soncor. Campañas 2006 – 2019
Tabla 6-33: Indicadores generales de aves en ambientes acuáticos en el Sistema Aguas de Quelana



Tabla 6-34. Indicadores generales de aves en ambientes acuáticos por cuerpo de agua en el Sistema
Peine. Campañas 2006 – 2019
Tabla 6-35. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Temperatura registradas entre los años
2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-36. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Temperatura registradas entre los años
2006 - 2019 en el sector de Soncor
Tabla 6-37. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Temperatura registradas entre los años
2006 – 2019, en el sector de Aguas de Quelana.
Tabla 6-38. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Temperatura registradas entre los años
2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-39. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de pH registrados entre los años 2006 -
2019, en el sector de Puilar.
Tabla 6-40. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de pH registrados entre los años 2006
2019 en el sector de Soncor
Tabla 6-41. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de pH registrados entre los años 2006 -
2019, en el sector de Aguas de Quelana.
Tabla 6-42. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de pH registrados entre los años 2006
2019 en el sector de Peine.
Tabla 6-43. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-44. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor
Tabla 6-45. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana
Tabla 6-46. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-47. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Salinidad registrados entre los años
2006 – 2019, en el sector de Puilar
Tabla 6-48. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Salinidad registradas entre los años
2006 - 2019 en el sector de Soncor
Tabla 6-49. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Salinidad registradas entre los años
2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana245
Tabla 6-50. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Salinidad registradas entre los años
2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-51. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Oxígeno disuelto registraos entre los
años 2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-52. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Oxígeno disuelto registrados entre los
años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.
Tabla 6-53. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Oxígeno disuelto registradas entre los
años 2006 – 2019, en el sector de Aguas de Quelana251
Tabla 6-54. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Oxígeno disuelto registrados entre los
años 2006 – 2019, en el sector de Peine.
Tabla 6-55. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del sedimento
registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Puilar254
Tabla 6-56. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del sedimento
registradas entre los años 2000 - 2010 en el sector de Sencer



l abla 6-57. Estadigrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad electrica del sedimento
registradas entre los años 2009 - 2019, en el sector de Aguas de Quelana256
Tabla 6-58. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del sedimento
registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-59. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua
intersticial registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Puilar259
Tabla 6-60. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua
intersticial registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Soncor
Tabla 6-61. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua
intersticial registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana
Tabla 6-62. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua
intersticial registradas entre los años 2009 - 2019, en el sector de Peine
Tabla 6-63. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a del Fitoplancton registradas
entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-64. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de clorofila-a planctónica registradas
entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor
Tabla 6-65. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a planctónica registradas
entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana
Tabla 6-66. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a planctónica registradas
entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-67. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónica registradas entre
los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-68. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónica registradas entre
los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.
Tabla 6-69. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónica registradas entre
los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana
Tabla 6-70. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a Bentónica registradas entre
los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.
Tabla 6-71. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitoplancton (cél/L)
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-72. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitoplancton (cél/L)
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor
Tabla 6-73. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitoplancton (cél/L)
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana279
Tabla 6-74. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitoplancton (cél/L)
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-75. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitoplancton (S, N
taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-76. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitoplancton (cél/L)
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.
Tabla 6-77. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitoplancton (S, N'
taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana
Tabla 6-78. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitoplanctor
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-79. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitobentos
(cél/cm³) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar



Tabla 6-80. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitobentos
(cél/cm³) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor289
Tabla 6-81. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitobentos
(cél/cm³) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana290
Tabla 6-82. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitobentos
(cél/cm³) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-83. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitobentos (S, N° taxa)
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-84. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitobentos (S, N° taxa)
registradas entre los años 2006 y 2019 en el sector de Soncor
Tabla 6-85. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitobentos (S, N° taxa)
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana296
Tabla 6-86. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitobentos (S, N° taxa)
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-87. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del Zooplancton
(ind/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-88. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del Zooplancton
(ind/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor299
Tabla 6-89. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del Zooplancton
(ind/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana301
Tabla 6-90. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del Zooplancton
(ind/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-91. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del Zooplancton (S, N°
taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-92. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del Zooplancton
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor
Tabla 6-93. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del Zooplancton
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana306
$Tabla \ 6-94. \ Estad{\'igrafos} \ de \ la \ variaci{\'o}n \ interanual \ de \ los \ valores \ de \ Riqueza \ total \ del \ Zooplancton \ (S, \ N^\circ)$
taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-95. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del zoobentos
(ind/m²) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar
Tabla 6-96. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del zoobentos
(ind/m²) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor310
Tabla 6-97. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del zoobentos
registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana312
Tabla 6-98. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del zoobentos
(ind/m²) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine
Tabla 6-99. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del zoobentos (S, N°
taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar314
Tabla 6-100. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del zoobentos (S, N°
taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor
Tabla 6-101. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del zoobentos (S, N°
taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana317
Tabla 6-102. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del zoobentos (S, N°
taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine



Tabla 7-1: Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atac	cama. Campañas
2018-2019	320

### **FIGURAS** Figura 4-2. Ubicación de puntos de monitoreo de vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama......8 Figura 4-3. Vegetación en mosaico y su representación cartográfica. Ejemplo de pradera de grama salada Figura 4-4. Ubicación de puntos de monitoreo de vegetación en la zona de conexión. ......15 Figura 4-7. Toma de muestras de suelo de la empresa ALGORITMOS SPA ......24 Figura 4-8. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio......28 Figura 4-9. Ubicación de puntos de observación de aves acuáticas Sistema Soncor......31 Figura 4-10. Ubicación de puntos de observación de aves acuáticas Sistema Aguas de Quelana......31 Figura 4-11. Ubicación de puntos de observación de aves acuáticas Sistema Peine......32 Figura 4-15. Instrumentos y muestreo monitoreo biota acuática. Campaña abril 2019. ......45 Figura 5-1. Vitalidad de las formaciones vegetacionales en el Borde este del Salar de Atacama. ..............................48 Figura 5-2. Proporción de porcentaje de copa viva de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. ......49 Figura 5-3. Fenología de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama......50 Figura 5-4. Superficie (ha) de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. ......52 Figura 5-5. Clasificación de los puntos de muestreo en la zona de conexión vegetación-acuífero, por categorías de cobertura de la unidad vegetación......53 Figura 5-6. Clasificación de los puntos de muestreo en la zona de conexión vegetación-acuífero, por categorías de vitalidad de la vegetación. Campañas de enero y abril de 2019. .....54 Figura 5-7. Clasificación de los puntos de muestreo en la zona de conexión vegetación-acuífero, por porcentaje de copa viva. Campañas de enero y abril de 2019......55 Figura 5-8. Clasificación de los puntos de muestreo en la zona de conexión vegetación-acuífero, por categorías de fenología de la vegetación. Campañas de enero y abril de 2018......56 Figura 5-9. Ejemplo de algunos árboles afectados por aluvión en quebrada Camar, Fotografía período 2018 Figura 5-11. Vitalidad de los ejemplares de Algarrobos en el área del pozo Camar 2......59 Figura 5-12. Proporción (%) de copa viva de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2......60 Figura 5-13. Fenología en los ejemplares de Algarrobos en el área del pozo Camar 2......61 Figura 5-14. Presencia de daño en los ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2...............62 Figura 5-15. Representación gráfica de los valores de Temperatura medidos en los distintos sistemas Figura 5-16. Representación gráfica de la variación de los valores de pH\* medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio......84



Figura 5-17. Representación gráfica de la variación de los valores de Conductividad eléctrica* del agua
medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio86
Figura 5-18. Representación gráfica de la variación de los valores de Salinidad* del agua medidos en los
distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio
Figura 5-19. Representación gráfica de la variación de los valores de Oxígeno disuelto* medidos en los
distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.
Figura 5-20. Representación gráfica de la variación de los valores de Conductividad eléctrica del
Sedimento medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio90
Figura 5-21. Representación gráfica de la variación de los valores de Conductividad eléctrica* del agua
intersticial medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio92
Figura 5-22. Representación gráfica de la variación de los valores de Clorofila-a de la fracción planctónica
medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio93
Figura 5-23. Representación gráfica de la variación de los valores de Clorofila-a de la fracción bentónica
medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio95
Figura 5-24. Representación gráfica de la variación de los valores de Abundancia total del Fitobentos
medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio96
Figura 5-25. Abundancia total del fitobentos medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes
en el área de estudio
Figura 5-26. Abundancia relativa del fitobentos medida en el Sector Puilar98
Figura 5-27. Abundancia relativa del fitobentos medida en el Sector Soncor99
Figura 5-28. Abundancia relativa del fitobentos medida en el Sector Aguas de Quelana100
Figura 5-29. Abundancia relativa del fitobentos medida en el Sector Peine
Figura 5-30. Representación gráfica de la variación de los valores de Riqueza del Fitobentos medidos en
los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio
Figura 5-31. Riqueza total del fitobentos medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en
el área de estudio
Figura 5-32. Representación gráfica de la variación de los valores de Riqueza del Fitobentos medidos en
los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio104
Figura 5-33. Riqueza total del fitobentos medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en
el área de estudio
Figura 5-34. Representación gráfica de la variación de los valores Abundancia total del Fitoplancton
medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio106
Figura 5-35. Densidad total del fitoplancton medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes
en el área de estudio
Figura 5-36. Abundancia relativa del fitoplancton medida en el Sector Pullar
Figura 5-37. Abundancia relativa del fitoplancton medida en el Sector Soncor
Figura 5-38. Abundancia relativa del fitoplancton medida en el Sector Aguas de Quelana109
Figura 5-39. Abundancia relativa del fitoplancton medida en el Sector Peine
Figura 5-40. Representación gráfica de la variación de los valores de Riqueza del Fitoplancton medidos en
los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio
Figura 5-41. Riqueza total del fitoplancton medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes
en el área de estudio.
Figura 5-42. Representación gráfica de la variación de los valores de Abundancia del Zoobentos medidos
en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio113
Figura 5-43. Densidad total del zoobentos medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes
en el área de estudio



Figura 5-44. Abundancia relativa del zoobentos medida en el sector Puilar	115
Figura 5-45. Abundancia relativa del zoobentos medida en el sector Soncor	116
Figura 5-46. Abundancia relativa del zoobentos medida en el sector Aguas de Quelana	
Figura 5-47. Abundancia relativa del zoobentos medida en el sector Peine	
Figura 5-48. Representación gráfica de la variación de los valores Riqueza del Zoobentos med	
distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.	
Figura 5-49. Riqueza total del zoobentos medida en los en los distintos sistemas hidrológicos pr	
el área de estudio.	
Figura 5-50. Representación gráfica de la variación de los valores del índice de Shanno	
(diversidad biológica) del Zoobentos medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes	
de estudio	
Figura 5-51. Índice de Shannon Weiner determinado en los en los distintos sistemas hidrológicos	
en el área de estudio.	•
Figura 5-52. Representación gráfica de la variación de los valores Abundancia total del Z	
medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio	
Figura 5-53. Densidad total del zooplancton medida en los en los distintos sistemas hidrológicos	
en el área de estudio.	
Figura 5-54. Abundancia relativa del zooplancton medida en el sector Puilar	
Figura 5-55. Abundancia relativa del zooplancton medida en el sector Soncor	
Figura 5-56. Abundancia relativa del zooplancton medida en el sector Aguas de Quelana	
Figura 5-57. Abundancia relativa del zooplancton medida en el sector Peine	
Figura 5-58. Representación gráfica de la variación de los valores Riqueza del Zooplancton med	
distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.	
Figura 5-59. Riqueza total del zooplancton medida en los en los distintos sistemas hidrológicos	
en el área de estudio.	
Figura 6-1. Precipitaciones acumuladas anuales en el Borde Este del Salar de Atacama	
Figura 6-2. Temperatura media anual	
Figura 6-3. Categorías de vitalidad de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama	
temporal campañas 2006 - 2019.	
Figura 6-4. Proporción del porcentaje de copa viva de la vegetación del Borde Este del Salar de	
Campañas abril 2006 – 2019	
Figura 6-5. Fenología de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Resultados	
Campañas 2006 – 2019	
Figura 6-6. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama.	
2006 a 2019	
Figura 6-7. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Ca	
vitalidad. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 - 2019	0
Figura 6-8. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Ca	
porcentaje de copa viva. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019	
Figura 6-9. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Ca	
fenología. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019	
Figura 6-10. Tendencia de la Vitalidad de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2.	
2006 – 2019.	
Figura 6-11. Precipitaciones anuales y Número de ejemplares de Algarrobos según vitalidad en	
pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2019	
Figura 6-12. Individuos secos por año de monitoreo y su relación con las precipitaciones en la	



Figura 6-13. Ultima altura registrada de los individuos secos15:
Figura 6-14. Tendencia de la Copa viva de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2
Campañas 2006 – 2019
Figura 6-15. Precipitaciones anuales y Número de ejemplares de Algarrobo según % de copa viva en e
área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-16. Tendencia de la Fenología de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2
Campañas 2006 – 2019
Figura 6-17. Muestras de ramoneo en distintos ejemplares de Algarrobo158
Figura 6-18. Modificación de los escurrimientos superficiales en el sector de Camar160
Figura 6-19. Estado actual de los algarrobos (2019) y escurrimientos superficiales en el sector de Cama
16
Figura 6-20.Riqueza florística de cada transecto de monitoreo. Campañas 2006 – 2019169
Figura 6-21. Comparación del pH actual según laboratorio Agroanálisis UC con el obtenido en año
anteriores
Figura 6-22. Comparación del pH obtenida entre laboratorios
Figura 6-23. Rangos históricos de pH versus valor reportado en 2019
Figura 6-24. Rango calculado para evaluar la convergencia de las mediciones de pH en 201918
Figura 6-25. Comparación de la conductividad eléctrica (dS/m) actual con la obtenida en años anteriores
18
Figura 6-26. Comparación de la conductividad eléctrica (dS/m) obtenida entre laboratorios19
Figura 6-27. Rangos históricos de conductividad eléctrica y las mediciones reportado en 2019192
Figura 6-28. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 – 201919
Figura 6-29. Abundancia promedio de reptiles por sector de estudio. Campañas 2006 – 2019200
Figura 6-30. Abundancia promedio de reptiles por ambiente de estudio. Campañas 2006 – 2019200
Figura 6-31. Abundancia de aves en ambientes acuáticos en el Borde Este (sin considerar flamencos)
Campañas 2006 – 2019
Figura 6-32. Abundancia de flamencos en el Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2019210
Figura 6-33. Abundancia de pollos de flamencos en el Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2019210
Figura 6-34. Abundancia de aves registradas en el Sistema Soncor (sin flamencos). Campañas 2006
2019
Figura 6-35. Abundancia de pollos de flamencos registrados en el Sistema Soncor. Campañas 2006 – 2019
21:
Figura 6-36. Abundancia de flamencos registrados en el Sistema Soncor (sin pollos). Campañas 2006
2019
Figura 6-37. Abundancia de flamencos en Sistema Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 201921
Figura 6-38. Abundancia de especies de aves en Sistema Aguas de Quelana (sin flamencos). Campaña
2006 – 2019
Figura 6-39. Abundancia de flamencos en Sistema Peine. Campañas 2006 – 201921
Figura 6-40. Abundancia de flamencos por laguna en el Sistema Peine. Campañas 2006 – 201921
Figura 6-41. Abundancia de especies de aves en Sistema Peine (sin considerar flamencos). Campaña
2006 – 2019
Figura 6-42. Abundancia de micromamíferos en los sectores de estudio. Campañas 2006 – 201920
Figura 6-43. Abundancia de micromamíferos por ambiente en los sectores de estudio. Campañas 2006 - 2017
2019
Figura 6-44. Abundancia de micromamíferos por especie en los sectores de estudio. Campañas 2006
2010



Figura 6-45. Indice de visitas de <i>Pseudaiopex sp</i> en estaciones oifativas por ambiente en vega de Carvajai.
Campañas 2007 – 2019
Figura 6-46. Índice de visitas de <i>Pseudalopex sp</i> en estaciones olfativas por ambiente en Aguas de
Quelana. Campañas 2007 – 2019
Figura 6-47. Índice de visitas de <i>Pseudalopex sp</i> en estaciones olfativas. Campañas 2007 – 2019 223
Figura 6-48. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Temperatura medidos en el
sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-49. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Temperatura medidos en el
sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.
Figura 6-50. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Temperatura medidos en el
sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-51. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Temperatura medidos en el
sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.
Figura 6-52. Representación gráfica de la variación interanual de los valores pH medidos en el sector de
Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-53. Representación gráfica de la variación interanual de los valores pH medidos en el sector de
Soncor. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-54. Representación gráfica de la variación interanual de los valores pH medidos en el sector de
Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-55. Representación gráfica de la variación interanual de los valores pH medidos en el sector de
Peine. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-56. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del
agua medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-57. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del
agua medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-58. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del
agua medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019240
Figura 6-59. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del
agua medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-60. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Salinidad medidos en el sector
de Soncor. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-61. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Salinidad medidos en el sector
de Aguas de Quelana. Campañas 2006 - 2019245
Figura 6-62. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Salinidad medidos en el sector
de Peine. Campañas 2006 – 2019247
Figura 6-63. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Oxígeno disuelto medidos en
el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-64. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Oxígeno disuelto medidos en
el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019250
Figura 6-65. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Oxígeno disuelto medidos en
el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019251
Figura 6-66. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Oxígeno disuelto medidos en
el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-67. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del
sedimento medidos en el sector de Puilar. Campañas 2009 – 2019255



Figura 6-68. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica de
sedimento medidos en el sector de Soncor. Campañas 2009 – 2019
Figura 6-69. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica de
sedimento medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2009 – 201925
Figura 6-70. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica de
sedimento medidos en el sector de Peine. Campañas 2009 – 2019
Figura 6-71. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica de
agua intersticial medidos en el sector de Puilar. Campañas 2009 – 2019
Figura 6-72. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctric
del agua intersticial medidos en el sector de Soncor. Campañas 2009 – 201926
Figura 6-73. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctric
del agua intersticial medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2009– 201926.
Figura 6-74. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctric
del agua intersticial medidos en el sector de Peine
Figura 6-75. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Clorofila-a planctónic
medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-76. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Clorofila-a planctónic
medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 201926
Figura 6-77. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Temperatura medidos en el
sector de Aguas de Quelana
Figura 6-78. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Clorofila-a planctónic
medidos en el sector de Peine
Figura 6-79. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónic
medidos en el sector de Puilar
Figura 6-80. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónic
medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 201927
Figura 6-81. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Clorofila-a bentónica medido
en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-82. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónic
medidos en el sector de Peine
Figura 6-83. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total de
fitoplancton medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 201927
Figura 6-84. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total de
fitoplancton medidos en el sector de Soncor
Figura 6-85. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total de
fitoplancton medidos en el sector de Aguas de Quelana
Figura 6-86. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total d
fitoplancton medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-87. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitoplancto
medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-88. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitoplancto
medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-89. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitoplancto
medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.
Figura 6-90. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Riqueza total d
fitanlancton modidos on al soctor do Doino, Campañas 2006, 2010



- X<u>XI</u>

Figura 6-91. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del fitobentos
medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-92. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total del
fitobentos medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019290
Figura 6-93. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del fitobentos
medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-94. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total de
fitobentos medidos en el sector de Peine. Salar de Atacama. Il Región de Chile292
Figura 6-95. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitobentos
medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-96. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitobentos
medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019295
Figura 6-97. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitobentos
medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-98. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Riqueza total de fitobentos
medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-99. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del
Zooplancton medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-100. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total del
Zooplancton medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019300
Figura 6-101. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del
Zooplancton medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019301
Figura 6-102. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total de
Zooplancton medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-103. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del Zooplancton
medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-104. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del Zooplancton
medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019305
Figura 6-105. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del Zooplancton
medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-106. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Riqueza total de
Zooplancton medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-107. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del
zoobentos medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019310
Figura 6-108. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total del
zoobentos medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-109. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del
zoobentos medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019312
Figura 6-110. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total de
zoobentos medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019314
Figura 6-111. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del zoobentos
medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019
Figura 6-112. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del zoobentos
medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019316
Figura 6-113. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del zoobentos
medidos en el sector de Aguas de Quelana Campañas 2006 – 2019 318



Figura 6-114. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Riqueza total de zoobentos medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019......319

#### **ANEXOS**

- Anexo I Cartografía de la vegetación 2019.
- Anexo II Base de datos vegetacional Borde Este 2019.
- Anexo III Base de datos vegetacional Zona de conexión vegetación-acuífero 2019.
- Anexo IV Base de datos florística 2019.
- Anexo V Certificados de análisis en Laboratorios, Monitoreo de flora.
- Anexo VI Base de datos monitoreo de Algarrobos en el sector del Pozo Camar 2019.
- Anexo VII Registro Fotográfico de Algarrobos en el sector del Pozo Camar 2019.
- Anexo VIII Permiso Sectorial de Captura de Fauna Silvestre.
- Anexo IX Fotografías de fauna silvestre 2019.
- Anexo X Catastro y Abundancia de Vertebrados en el Borde Este del Salar de Atacama.
- Anexo XI Abundancia de Flamencos en Sistemas Lacustres del Salar de Atacama.
- Anexo XII Análisis de laboratorio Biota Acuática.
- Anexo XIII Permiso de Pesca de Investigación.
- Anexo XIV Composición taxonómica y Clorofila-a. Biota acuática.
- Anexo XV Resultados Análisis Estadístico de Biota acuática
- Anexo XVI Registro fotográfico de los sitios de muestreo de biota acuática.
- Anexo XVII Certificados de Acreditación y Calibración.
- Anexo XVIII Protocolo para el análisis de tendencias de variables ambientales e informe de análisis de metodologías de monitoreo CE y pH
- Anexo XIX Responsables y participantes Seguimiento Ambiental Campaña enero abril 2019.
- Anexo XX Protocolo de Ingreso a Reserva Nacional Los Flamencos.
- Anexo XXI Documentos de aviso de incidente



#### 1 RESUMEN

El presente informe expone los resultados de la campaña N° 13 de monitoreo de los componentes Vegetación, Flora vascular, Fauna y Biota Acuática del Plan de Seguimiento Ambiental establecido en la RCA N°226/2006, correspondiente al Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama, presentado por SQM Salar S.A, según lo modificado por la Resolución Exenta N° 056/2008.

El objetivo principal del Plan de Seguimiento Ambiental es dar cuenta del estado ambiental de los componentes: Vegetación, Flora Vascular, Fauna y Biota Acuática 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.

Este monitoreo se realiza en dos campañas de terreno. La primera en el mes de enero, donde se evalúa la vegetación en la Zona de Conexión Vegetación-Acuífero del Borde Este del Salar de Atacama, y la segunda, en el mes de abril, donde se monitorea vegetación, flora, fauna y biota acuática del sector. La campaña de abril realizada entre los días 16 y 26 del mes no se ejecutó en su totalidad debido a restricciones de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos¹, por lo que el monitoreo que antecede los resultados planteados en este informe, se realizó incluyendo una campaña complementaria realizada entre el 24 y 29 de junio, oportunidad en que se obtuvieron los datos faltantes.

### 1.1 Vegetación del Borde Este mediante imágenes satelitales

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 de manera concomitante, se caracteriza la vegetación en 99 puntos fijos establecidos en el RCA 226/2006. En estos puntos se determina la cobertura por especie, además de otras mediciones, como la vitalidad, copa viva y etapa fenológica. Para la construcción del mapa, de manera complementaria se utilizan las 19 muestras utilizadas en el monitoreo de la vegetación en la zona de conexión vegetación-acuífero.

A partir de las 99 muestras de terreno establecidas en la RCA 226/2006, se determinó que, un 89,9% de las muestras fueron clasificadas en la categoría normal, un 3,0% como débil, un 1,0% como muy débil y el 6,1% restante, corresponde a zonas sin vegetación. Los resultados son consistentes con lo observado históricamente, en vista que mayoritariamente se ha mantenido en la categoría definida como normal, con una menor proporción de situaciones donde la vegetación ha sido considerada débil. Históricamente, una baja proporción de puntos de monitoreo ha presentado una vitalidad vigorosa o muy débil.

Las mediciones de terreno de copa viva mostraron una mayor proporción en categoría de mayor porcentaje de copa verde respecto al año anterior. Los cambios más importantes respecto de lo registrado en 2018 muestran un decrecimiento del 12,1% en la categoría entre 25-50% y la aparición de la categoría 75-100%. A nivel histórico, no se reconocen tendencias que indiquen una variación sostenida en el porcentaje de copa viva.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Por parte de la Comunidad Atacameña de Toconao, conforme a protocolo de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, oficializado por CONAF mediante Res. Ex. N°56/2019 de la Dirección Regional de la Corporación Nacional Forestal.





Por último, las mediciones en terreno del estado fenológico de la vegetación en el periodo 2019 indican que, se mantiene los estados de fructificación y vegetativo como los más frecuentes durante la evaluación de abril.

Los resultados del mapa 2019 indican que la superficie total cubierta con vegetación en el área de estudio alcanza las 17.495,67 ha. El matorral de *T. absinthioides* (Brea), abarca una superficie de 8.033,51 ha, equivalente al 46,0% de toda la vegetación presente en el área de estudio. Seguida por la pradera de Lukupa, Grama salada y los matorrales de Cachiyuyo-Ojalar, cuyas superficies de ocupación fueron: 2.539,64 ha, 2.197,58 ha y 2.154,80 ha, respectivamente. Cabe destacar que, el año 2019 es el primer periodo donde se manifiesta la pradera de *Cistanthes sp.* (Lukupa), cuya expresión se relacionaría con las intensas lluvias ocurridas entre los meses de enero y febrero 2019.

La variación en la superficie de los tipos vegetacionales muestra una disminución en las superficies cubiertas por matorral de *Aloysa deserticola – Ephedra multiflora* (Rica rica-Pingo pingo) y pradera de *Distichlis spicata* (Grama salada), y un aumento en la superficie de los tipos vegetacionales matorral de *Atriplex atacamensis – Atriplex imbricata* (Cachiyuyo - Ojalar), matorral de *Tiquilia atacamensis* (Káuchal), pajonal de *Juncus balticus – Schoenoplectus americanus – Baccharis juncea* (Junquillo – Totora - Suncho) y matorral de *Tessaria absinthioides* (Brea), el cual aumentó de 7.849,0 ha en 2018 a 8.033,5 ha en 2019.

En consideración a que en el periodo de monitoreo (2019) se presenta la máxima superficie cubierta con vegetación, producto de las intensas lluvias estivales en abril 2019 y a que las formaciones vegetaciones definidas como objetos de protección, se encuentran dentro de los márgenes históricos, es que se verifica que no se observan efectos del proyecto sobre la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.

### 1.2 Vegetación en zona de conexión con acuífero

Se monitorea la vegetación en la zona que se presume se encuentra conectada con el acuífero. Para estos fines, se evalúa la cobertura por especie, la vitalidad, copa viva y etapa fenológica sobre 19 muestras fijas de matorral de *Tessaria absinthioides* (brea) en los meses de enero y abril (RCA 226/2006).

En el presente año (2019), las muestras ubicadas en la zona de conexión vegetación-acuífero indican que la cobertura vegetacional varía entre los meses de enero y abril. En efecto, se reconoce que la proporción de unidades con cobertura abierta (25-50%), pasa de 84,2% en enero a 57,9% en abril, aumentando la proporción de unidades vegetacionales con cobertura muy abierta (10-25% de recubrimiento).

Históricamente en el mes de enero se describe una mayor proporción de copa viva y que se verifica con una mayor proporción de descripciones en la categoría de 25-50% de recubrimiento. Dicha condición estaría relacionada con el final extendido del periodo de receso invernal. Sin embargo, en la campaña 2019 puede considerarse una excepción a la regla, siendo abril el mes con mayor porcentaje de observaciones entre la categoría 50-75%, alcanzando 42,1% de ellas.

Respecto de la vitalidad de la Zona de Conexión, los registros obtenidos en enero y abril de 2019 se distribuyen sólo entre las categorías débil o normal. En enero de 2019, un 68,4% de los puntos de monitoreo fueron clasificados con vitalidad en la categoría normal; mientras que, en abril se clasificó al 73,7% de los puntos dentro de la misma categoría.

Históricamente, la floración de la vegetación en la zona de conexión se produce sólo en enero. Sin embargo, en la campaña 2019 se observó una extensión del periodo de floración hasta el mes de abril, lo que se verifica al presentarse un 21,1% de las muestras en dicha etapa. Esta condición podría deberse a las mejores condiciones hídricas producto de las intensas lluvias estivales.





Según las variables monitoreadas, se aprecia que la vegetación en la zona de conexión acuífero se encuentra dentro de los rangos observados históricamente.

### 1.3 Algarrobos en sector Camar 2

Los 71 Algarrobos ubicados en los sectores adyacentes al pozo de bombeo Camar 2 son monitoreados mediante la evaluación de la vitalidad y el porcentaje de copa viva, tal como lo establece la RCA 226/2006. Adicionalmente, se evalúa la etapa fenológica y los daños por agentes externos mediante categorías cualitativas.

Durante la prospección de abril de 2019, 8 ejemplares no fueron encontrados en el sitio de las coordenadas registradas, por lo que se presumen desaparecidos como consecuencia del arrastre de la escorrentía superficial y aluvión que afectó el lugar por las intensas lluvias de enero-febrero.

Las mediciones realizadas entre 2006-2019 indican que, de los 71 ejemplares objeto de estudio, 12 fueron desprendidos por escorrentías superficiales, 30 ejemplares permanecen vivos (entre las categorías muy débil a vigoroso) y 29 ejemplares se catalogaron como seco.

En relación con la proporción de copa viva, se observó que el número de ejemplares sin copa viva se mantuvo en 29 individos, respecto al año anterior. Por otra parte, se observa un aumento en ejemplares con mayor follaje. Esto último puede tener relación con el aumento de escorrentías de agua superficial ocurridos durante la época estival en la zona, ya que esta es la principal fuente de abastecimiento hídrico de estos ejemplares.

El aumento de los ejemplares secos o senescentes en el tiempo estaría directamente relacionado por una modificación natural de la red de drenaje en el 2008, 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 (%).

Del punto de vista fenológico, un 49,15% de los Algarrobos presentó crecimiento vegetativo. Esta misma proporción se encuentra en etapa de senescencia y sólo un ejemplar presentó frutos en el monitoreo 2019. Esta condición es normal, considerando que históricamente no ha sido habitual observar ejemplares con flores y/o la presencia de frutos en el mes de abril.

Respecto de la ocurrencia de daños por agentes externos, se identificó que el 45,8% de los individuos sufrió ramoneo, un 1,7% tuvo daño conjunto animal y antrópico, y el 52,5% no tuvo daños.

#### 1.4 Flora

Para el seguimiento de la flora del Borde Este se realiza mediante una red de puntos que consisten en un conjunto de siete transectos orientados en sentido Este-Oeste, en los que se dispuso un total de <u>75 puntos de muestreo</u>, ubicados sistemáticamente cada 300 m, entre sí. Cada punto de muestreo está compuesto por <u>cinco parcelas</u> de 4 m² (cada una), lo que hace un total de 375 parcelas.

En cada punto de muestreo se mide la frecuencia de especies y se realiza una caracterización del sustrato, midiendo la salinidad y el pH del suelo. Además de las especies observadas en los puntos de muestreo, se agregan los registros fuera de ellos, con el objeto de establecer la riqueza florística de toda el área de estudio (RCA 226/2006).





La caracterización química del sustrato (pH y salinidad) consideró la toma de muestras por la Entidad Técnico Fiscalizadora Ambiental (ETFA) Algoritmos SpA y el análisis por el laboratorio ETFA ALS Life Sciences S.A y el laboratorio Agroanálisis UC. Esta última se realiza de forma complementaria, con la finalidad de asegurar trazabilidad en los análisis históricos, en vista que es la entidad que realiza este análisis desde el periodo 2012.

Además, durante la actual campaña de monitoreo, se aplicó el Protocolo de Análisis de Tendencias de Variables Ambientales para observar el comportamiento del pH, CE, Riqueza y Abundancia de especies en los transectos de flora. Dicho protocolo es una de las acciones del programa de cumplimiento presentado a la SMA en septiembre 2018, el que busca 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 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.

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 - 2019, registrándose aumentos, principalmente 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).

En los transectos monitoreados, el número de especies varía entre 2 y 12 especies. Las especies más frecuentes por transecto son: 1) *Distichlis spicata* (presente en los 7 transectos) y 2) *Tessaria absinthioides* (presente en 6 de los 7 transectos). Mientras que la especie más abundante (frecuente) en las parcelas de flora es *Tessaria absinthioides*, registrada en el 44% de los puntos de muestreo (33 de 75 puntos de muestreo).

Se observó la máxima riqueza en cinco transectos (TRF1, TRF2, TRF4, TRF5 y TRF5) en el periodo 2019. Mientras que el transecto TRF-6 presentó una especie menos que los registros históricos, presentando su mínimo en la actual campaña.

La caracterización química del sustrato para el periodo 2019 indica que, el pH en los puntos de muestreo varía entre las categorías ligeramente ácido a muy fuertemente alcalino, con mayor frecuencia en el rango moderadamente alcalino. En cuanto a la salinidad (conductividad eléctrica), se observan suelos no salinos hasta suelos fuertemente salinos.

Los protocolos de tendencia aplicados sobre muestras normalizadas de pH indicaron que el periodo 2019 no difiere de la serie histórica y sólo tres muestras continuaron con tendencia a la baja en el monitoreo actual (2019), pero siempre manteniéndose en las categorías de pH alcalinas, las que se consideran normales para un salar (Luzio, 2010).

El Protocolo de tendencias aplicado sobre la conductividad eléctrica con muestras normalizadas, determinó que el monitoreo actual no difiere de la serie histórica y sólo el 0,02% de las muestras presenta una tendencia significativa. De esta manera, se descartó un efecto sostenido en el tiempo y se verifica que las diferencias observadas entre mediciones 2006-2011 y 2012-2019 se produjeron por la estandarización de las condiciones de medición, al enviarse a un laboratorio especializado desde el 2012.

De acuerdo con lo antecedentes recopilados, las variables microambientales (pH y salinidad) 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 los resultados de ese monitoreo sugieren que la vegetación está ligada principalmente a la disponibilidad hídrica en cada sitio.

Considerando que en la campaña actual (2019) se registró la máxima expresión de la riqueza y frecuencia de la flora vascular, lo que se encuentra dentro de las condiciones normales del sistema, es que se puede afirmar que no se verifican efectos del Proyecto sobre la flora vascular.

#### 1.5 Fauna

El Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) realizado por SQM Salar S.A., consigna para la componente fauna el monitoreo de los animales silvestres terrestres en el Borde Este del Salar de Atacama y de la avifauna acuática en los Sistemas Lacustres Soncor, Aguas de Quelana y Peine, el cual se realiza anualmente, específicamente en el mes de abril. Para cada taxón, la RCA 226/2006 establece las metodologías y puntos de muestreo a realizar en los sectores de Vega de Carvajal, Cruce Camar, Aguas de Quelana, Cruce SQM y Peine. Los hábitats identificados como relevantes para este componente, y en los cuales se establecen estos puntos de muestreo con distintas metodologías son los siguientes: hábitat de Rica rica – Pingo pingo, Brea – Cachiyuyo, Pajonal, Marginal Salar y Salar, 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.

Cabe mencionar que en la temporada 2019 no fue posible realizar la totalidad de la prospección de fauna comprometida durante el mes de abril, debido a las restricciones de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos², desarrollando las actividades pendientes durante una campaña complementaria realizada en el mes de julio. El sector afectado fue Aguas de Quelana que, si bien no posee cuerpos de agua permanentes, es una zona de alimentación de especies de flamencos y otras aves. Esto pudo generar una subestimación de la riqueza y abundancia de ciertas especies, específicamente de aves migratorias, las que comienzan sus procesos de tránsito hacia el hemisferio norte al acercarse el invierno austral, por lo que el desarrollo del monitoreo durante fechas donde las temperaturas medias son más bajas puede generar un sesgo muestreal, debido al abandono del sector por parte de dichas especies (i.e. migración).

Los resultados del monitoreo de fauna del periodo 2019, indican una riqueza de 24 especies, lo que representa el mínimo observado a la fecha. Sin embargo, esta magnitud se ha observado previamente en los periodos 2010 y 2018, por lo que este valor responde a la variabilidad de la riqueza en los diferentes hábitats prospectados a lo largo de las distintas campañas de monitoreo, como también, a los sesgos muestreales específicos de la campaña 2019, indicados previamente.

De las 24 especies identificadas, 2 reptiles, 17 aves y 5 mamíferos. Todas son nativas, de la cuales, dos de ellas son endémicas y pertenecen a la clase Reptilia (*Liolaemus constanzae y L. fabiani*). Por su parte, 10 especies se encuentran clasificadas en categoría de conservación: nueve por el Reglamento de Clasificación de Especies y una de acuerdo con el Reglamento de Ley de Caza (D.S. N° 05/98).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Por parte de la Comunidad Atacameña de Toconao, conforme a protocolo de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, oficializado por CONAF mediante Res. Ex. N°56/2019 de la Dirección Regional de la Corporación Nacional Forestal.



\_



#### 1.5.1 Reptiles

El análisis por clase taxonómica de la clase Reptilia en el periodo 2019, indica que las especies *Liolaemus* constanzae y *L. fabiani* presentan las mayores abundancias promedio, mientras que *L. puna* no fue registrada durante esta campaña. Sin embargo, estas variaciones se encuentran dentro del rango histórico.

#### 1.5.2 Aves

En cuanto a las aves, se registró un total de 17 especies durante la campaña del año 2019, nueve de las cuales se observaron en ambientes acuáticos y diez en ambientes terrestres, mostrando una reducción en la riqueza total de aves al ser comparadas con las campañas previas.

En la actual campaña (2019), se registraron diez especies de aves asociadas a transectos en ambientes terrestres, lo que se considera que está dentro del rango, en vista que estos valores históricamente han variado entre 4 y 12 especies.

La riqueza de aves acuáticas en 2019 registró un total de 9 especies, cinco taxa menos que el promedio histórico al año anterior y la abundancia de aves (sin contabilizar flamencos) alcanzó un total de 353 individuos. Esta variación se produce por el desfase en el monitoreo del sector de Aguas de Quelana, el cual se realizó en junio 2019, debido a restricciones de ingreso a la Reserva. Esta situación implicó que, se evaluó el sector de mayor riqueza histórica de aves acuáticas del Borde Este del Salar de Atacama (Aguas de Quelana), en una etapa de mínima expresión, dado que muchas de las aves migratorias abandonaron el Salar de Atacama, produciéndose un sesgo muestral.

La abundancia de flamencos alcanzó un total de 2.276 en el sistema Soncor, sistema que albergó la mayor cantidad de individuos en el monitoreo 2019. Al respecto, la laguna Chaxa reunió al mayor número de individuos en este sistema (1.395 ejemplares). En menor proporción, el sistema lacustre Peine agrupó a 307 ejemplares, siendo laguna Salada donde más individuos se contabilizaron (304 avistamientos). Por otra parte, el sector de Aguas de Quelana, que se caracteriza por ser un lugar de alimentación y paso para estas especies, registró un total de 157 individuos.

Históricamente, *Phoenicoparrus andinus* (Parina grande) ha sido la especie más abundante en todos los sistemas lacustres del Salar de Atacama, mientras que *Phoenicopterus chilensis* (flamenco chileno) y *Phoenicoparrus jamesi* (Parina chica), presentan abundancias menores y fluctuantes año a año. Además, Los pollos de flamencos se han registrado variables en el tiempo, existiendo periodos de años donde su contabilización es baja o nula, como en el año 2006 y periodo 2009 – 2011, hasta periodos donde la cantidad de registros superan los cientos y hasta miles de individuos (periodo 2012-2016).

#### 1.5.3 Mamíferos

Se identificaron cinco especies de mamíferos, correspondiente a tres micromamíferos no fosoriales, un micromamífero fosorial y un macromamífero.

Los tres micromamíferos no fosoriales corresponden a: *Abrothrix andinus, Eligmodontia puerulus* y *Phyllotis xanthopygus*. La abundancia de los micromamíferos no fosoriales alcanzó un total de 36 ejemplares, valor que se encuentra muy cercano a lo observado en las campañas 2008 y 2009. Se registró un micromamífero fosorial (*Ctenomys fulvus*), el cual se detectó en Vegas de Carvajal y Aguas de Quelana, a partir del registro de madrigueras activas y vocalizaciones.

En el caso de los macromamíferos, se registró *P. culpaeus*, el cual, sólo se registró en uno de los sectores, mediante la metodología de estaciones olfativas. No obstante, fue posible detectar su presencia en todos los sectores y en cuatro ambientes, a partir del registro de evidencia indirecta (huellas y fecas).





La riqueza y abundancia de todos los grupos de fauna que habitan el Borde Este del Salar de Atacama se encuentran dentro de sus valores históricos, con la excepción de las aves acuáticas sin considerar flamencos, cuya riqueza y abundancia fue esperablemente menor, debido a que se monitoreó el sector de mayor riqueza histórica (Aguas de Quelana), en una estación de mínima expresión de estas variables (junio), donde muchas de las especies migratorias abandonaron el sector. A partir de estos antecedentes, se puede afirmar que la fauna se encuentra en condiciones normales, y, por lo tanto, el proyecto no ha producido efectos sobre la fauna del Salar de Atacama.

### 1.6 Biota Acuática

#### 1.6.1 Medio Abiótico

Todos los sectores prospectados presentaron características típicas de los humedales altoandinos de la zona norte de Chile, con características de sistemas cerrados con una baja a nula escorrentía de sus aguas y correspondientes a lagunas hipersalinas con sustratos formados principalmente de limo. Los sistemas muestreados, en general, presentaron buena calidad de sus aguas, y la presencia de comunidades acuáticas acordes a las características físicas y químicas de este tipo de ecosistemas acuáticos.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos de importancia limnológica de la columna de agua y del sedimento determinados en la actual campaña de monitoreo (abril 2019) se puede indicar que la temperatura registrada de manera puntual mostró diferencias entre los distintos sistemas muestreados. Para el parámetro pH medido en la campaña de abril de 2019 se determinó una baja variabilidad en los valores medidos en cada sistema hidrológico y no se detectaron variaciones significativas en los valores de pH medidos en los distintos sectores del área de estudio, presentando valores que variaron entre aguas ligeramente acidad a ligeramente básicas. La Conductividad mostró que no existen diferencias significativas en relación con esta variable entre los sectores del Salar de Atacama, a diferencia de lo que ocurre con la Salinidad, donde tales diferencias si fueron observadas entre algunos de los sectores monitoreados. En cuanto al parámetro Oxígeno disuelto, en el monitoreo del año 2019 se determinaron diferencias entre los valores de este parámetro en las distintas lagunas analizadas. La variabilidad en la disponibilidad de oxígeno en la columna de agua entre los distintos sistemas está relacionada con la salinidad de cada sector y con la hora de muestreo, factor poco manejable dadas las restricciones de trabajo ocurridas durante la presente campaña.

En relación con las comparaciones históricas, todos los valores determinados para los parámetros abióticos evaluados el año 2019 estuvieron dentro de los rangos históricos reportados. Por su parte, los parámetros Temperatura y Oxígeno disuelto presentaron diferencias interanuales estadísticamente significativas en todos los sectores del Salar de Atacama. Estas diferencias responden a la alta variabilidad que presentan naturalmente estos parámetros y que estarían dadas principalmente por la condición y horario ambiental al momento del muestreo que responden a fenómenos de escala mayor. Por otro lado, los valores de pH, Conductividad eléctrica del sedimento y del agua intersticial fueron estadísticamente diferentes respecto a los valores medidos en algunos de los periodos anteriores en todos los sitios de muestreo, además, presentaron concentraciones que permiten indicar que en función de estos parámetros el recurso hídrico se cataloga como aguas no aptas para riego por sus características naturalmente hipersalinas. La Salinidad presentó diferencias interanuales sólo en los sectores de Aguas de Quelana y Peine específicamente indicando que los valores de salinidad fueron más altos el año 2019 respecto del año 2011. En relación con la Conductividad eléctrica del agua se detectó la ausencia de diferencias interanuales estadísticamente significativas en todos los sectores del Salar de Atacama.





Finalmente, cabe indicar que las variaciones en las concentraciones de todos los parámetros evaluados durante el año 2019 no tienen una implicancia directa en el desarrollo de la vida acuática, la cual se encuentra altamente adaptada a dichas condiciones extremas de alta variabilidad registradas en el Salar de Atacama

#### 1.6.2 Medio Biótico

Respecto a la variable Clorofila-a, durante la campaña de abril de 2019, la clorofila medida en la fracción planctónica muestra una alta variabilidad entre los valores medidos en cada sector de monitoreo, indicando una heterogeneidad en el sistema respecto a la biomasa. Dicha variabilidad se ha mantenido históricamente. Además, existen diferencias significativas en la productividad primaria en los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio, principalmente, entre el sistema de Soncor respecto al resto de los sitios de muestreo. Por otro lado, la clorofila-a medida en la fracción bentónica presentó mayor variabilidad en los sectores de Soncor y Aguas de Quelana, indicando que existe una mayor productividad en términos de biomasa bentónica respecto al resto del área de estudio.

En términos del Fitobentos, Fitoplancton y del Zoobentos, durante el actual periodo de monitoreo (abril 2019), no existen diferencias espaciales en los niveles de Abundancia y Riqueza determinados entre los distintos sistemas y, en general, se verifica una baja variabilidad de estos parámetros entre las estaciones de muestreo de cada sistema hidrológico del área de estudio, los que se presentan homogéneos. Sin embargo, la comparación histórica da cuenta de diferencias significativas interanuales en todos los sectores estudiados tanto en la abundancia, como en la riqueza de estos componentes, cabe señalar que esta diferencia interanual podría verse explicada por la gran variabilidad y dinamismo que presentan los distintos sistemas acuáticos estudiados que se ve reflejada por la gran heterogeneidad en los valores de los parámetros comunitarios.

Por otro lado, de acuerdo con el análisis del Zooplancton, durante la campaña de abril de 2019 se determinó que existe variabilidad espacial respecto a la Abundancia y Riqueza de este componente. En general, esta variabilidad en los parámetros comunitarios entre los distintos sistemas de estudio es baja, lo que indica principalmente un ambiente homogéneo en función de esta comunidad acuática. Sin embargo, al comparar estadísticamente dichos valores de Abundancia y Riqueza y, a pesar de ser poca la diferencia en términos numéricos, esta diferencia es marginalmente significativa desde el punto de vista estadístico. No obstante, se puede señalar que en términos de la comunidad del zooplancton los sectores del salar de atacama durante el año 2019 son poco variables.

Por su parte, la comparación histórica interanual de todos los parámetros comunitarios de las comunidades de Fitobentos, Fitoplancton, Zoobentos y Zooplancton, indica en su mayoría la existencia de diferencias significativas en todos los sectores estudiados. Como se mencionó, estas diferencias interanuales podrían verse explicadas por la gran variabilidad y dinamismo que presentan en el tiempo los distintos sistemas acuáticos estudiados, lo cual se ve reflejado por la gran heterogeneidad en los valores de los parámetros comunitarios, los que no responden a un patrón específico.



### 2 INTRODUCCIÓN

El presente informe expone los resultados del Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) de vegetación, flora, fauna y biota acuática en el sector de Borde Este del Salar de Atacama para el Proyecto "Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama". Dicho proyecto fue calificado favorable mediante Resolución Exenta N° 226/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente (en adelante RCA N° 226/2006).

El Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) tiene por finalidad examinar si las componentes que fueron objeto de evaluación ambiental se comportan según lo estimado en el EIA. Las componentes ambientales y variables materia del PSA quedaron establecidas en el Anexo I (Plan de Seguimiento Ambiental) de la Adenda N° 3 del EIA y en el Considerando 10 de la RCA N° 226/2006, correspondiendo a los que se presentan en la Tabla 2-1.

Respecto al Considerando 10.3.1 "Contenido de Humedad del Suelo en el Sector Borde Este", cabe mencionar que sus mediciones y resultados son presentadas en un informe complementario al presente informe y se entrega a la autoridad ambiental por separado. Por otra parte, el Considerando 11.4.4 y Resuelvo 1.3 agregado por la Resolución Exenta N°56/2008, es atendido en el informe complementario "Monitoreo de Indicadores de Estado Biótico", el cual también se entrega por separado.

Tabla 2-1. Parámetros establecidos según RCA 226/06 y responsables de la ejecución del presente Plan de Seguimiento Ambiental.

Componente	Numeral RCA (226/06)	Variable	Parámetros	Frecuencia medición	Institución y/o equipos de trabajo responsables
		Vegetación en Borde Este	Cobertura de la vegetación. Especies dominantes presentes. Cobertura por especie. Porcentaje de copa verde Estado vital	Anual	Geobiota
Vegetación y Flora 10.3.2	10.3.2	Vegetación en Zona de Conexión	Especies dominantes presentes. Cobertura por especie. Porcentaje de copa verde. Estado vital.	2 veces al año	
	Flora	Frecuencia de especies. Riqueza florística. Caracterización del sustrato. Medición de pH y salinidad del suelo.	Anual	Geobiota  Extracción de muestra en terreno para el análisis de pH y salinidad: Algoritmos SpA.  Análisis de Laboratorio de pH y salinidad: Laboratorio de Servicios Facultad de Agronomía e	



Tabla 2-1. Parámetros establecidos según RCA 226/06 y responsables de la ejecución del presente Plan de Seguimiento Ambiental.

Componente	Numeral RCA (226/06)	Variable	Parámetros	Frecuencia medición	Institución y/o equipos de trabajo responsables
					Ingeniería Forestal (Universidad Católica). Laboratorio de ALS Life Sciences Chile
		Ejemplares algarrobo ( <i>Prosopis</i> <i>alba</i> )	Vitalidad Porcentaje de copa viva	Anual	
		Reptiles	Abundancia	Anual	
Fauna 10.4	10.4	Aves (terrestres y acuáticas)	Abundancia	Anual	Geobiota
		Mamíferos (micromamíf eros y carnívoros)	Abundancia	Anual	
Biota acuática 10.5		Medio abiótico	Temperatura Conductividad pH Oxígeno disuelto Temperatura de sedimentos Conductividad de sedimentos	Anual	Toma de muestras: AquaExpert en convenio con Hidrolab (ETFA).  Análisis: Laboratorio Hidrolab. Laboratorio de Servicios Analíticos de la Universidad Católica del Norte. Laboratorio Plancton Andino
	Medio biótico	Fitobentos: Composición y abundancia. Fitoplancton: Riqueza y abundancia. Zoobentos: Composición y abundancia. Zooplancton: Composición y abundancia. Plantas acuáticas: Cobertura.	Anual	Toma de muestras y análisis: AquaExpert	

Fuente: Elaboración propia a partir de Resolución Exenta N°226/2006 que aprueba Proyecto "Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama" y modificaciones incorporadas por Resolución Exenta N°56/2008<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Cabe mencionar que el texto original de la RCA 226/2006 establecía en su Resuelvo 1.3 "un monitoreo de la evolución de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a fin de evaluar la condición del suelo y su relación con la extracción de agua", monitoreo que fue eliminado a través de los Resuelvos 9 y 11 de la Resolución Nº 056/2008. La medición de las propiedades señaladas se presentó por única vez en el Informe de Monitoreo N°1 correspondiente a la campaña de abril del año 2007



.

Los resultados expuestos en este informe corresponden a los obtenidos en las campañas de muestreo ejecutadas en enero, abril y junio<sup>4</sup>, según corresponda, del año 2019, campaña de monitoreo número 13.

Los equipos de trabajo que participaron en la elaboración del presente Plan de Seguimiento Ambiental se exponen en forma general en la Tabla 2-1, y con mayor detalle en el Anexo XIX.

El presente informe reportará para cada variable su metodología de muestreo y/o medición, los resultados obtenidos para el presente año, la discusión de los resultados actuales y su comparación con los históricos obtenidos, estableciéndose, por último, las conclusiones respectivas.

<sup>4</sup> Campaña complementaria, debido a que en abril no se pudo tomar la totalidad de datos del periodo, por restricciones derivadas de la Resolución Exenta N°56/2019, que aprueba el protocolo de ingreso a los sectores 4, 5 y 7 de la Reserva Nacional Los Flamencos.



-

#### 3 OBJETIVOS

El objetivo general del presente informe de Plan de Seguimiento Ambiental es dar cuenta del estado ambiental y la evolución temporal de los componentes vegetación, flora, fauna y biota acuática, con la finalidad de detectar efectos causados por la extracción de agua.

De acuerdo con lo establecido en la RCA 226/2006, los objetivos específicos del presente informe de Plan de Seguimiento Ambiental son los siguientes:

- Evaluar eventuales variaciones en la superficie cubierta con vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama mediante el análisis de imágenes satelitales.
- Evaluar eventuales variaciones en los polígonos de vegetación que presumiblemente se encuentran
  en la zona de conexión entre la napa subterránea y el sistema radicular de la formación arbustiva de
  Tessaria absinthioides Atriplex atacamensis (Zona de conexión vegetación-acuífero)
- Evaluar el estado vital de los ejemplares de Algarrobos ubicados en el área del Pozo Camar 2
- Detectar eventuales cambios a nivel de la abundancia y riqueza de las especies de flora en cada transecto definido y detectar cambios a nivel de sustrato en cada transecto y relacionarlos con las mediciones efectuadas sobre la flora.
- Evaluar la abundancia de reptiles, aves terrestres, micromamíferos y carnívoros 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 de los aspectos físico-químicos del agua y parámetros limnológicos bióticos (fitobentos, fitoplancton, zoobentos, zooplancton) en los sistemas lacustres Soncor, Aguas de Quelana y Peine.





### 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Área de estudio

El área de estudio del presente Plan de Seguimiento Ambiental se encuentra inserto en el Borde Este del Salar de Atacama, en la cuenca endorreica Salar de Atacama, Región de Antofagasta.

El sector 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.

Vértice	Coordenadas UTM Huso 19 (WGS84)			
	Este	Norte		
1	582.808,0	7.425.804,6		
2	596.515,9	7.425.821,3		
3	596.515,9	7.385.560,9		
4	591.414,2	7.372.165,7		
5	584.453,0	7.372.165,7		
6	584.459,8	7.384.418,7		
7	589.807,0	7.384.416,3		
8	589.811,9	7.413.519,1		
9	582.811,9	7.413.519,7		

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, el Plan de Seguimiento Ambiental considera el monitoreo de ejemplares de Algarrobo ubicados en el área aledaña al pozo Camar 2, los que se pueden observar en la Figura 4-1.



**UBICACIÓN NACIONAL UBICACIÓN REGIONAL** Maria Calama BOLIVIA OLIV Mejillones LOCALIZACIÓN Baquedano O **DEL PROYECTO** ENTIN REGIÓN DE 0 K ANTOFAGASTA Santiago UBICACIÓN LOCAL B-355 Comuna de San Pedro de Atacama AR DE 23-CH 250 500 km LEYENDA PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL Monitoreo de Algarrobos PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS EN LA Área de estudio PSA **OPERACIÓN MINERA DEL** Red vial SALAR DE ATACAMA Reserva Nacional Los Flamencos Límites administrativos Solutions Límite internacional geobiota for human Límite regional progress Límite comunal

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

Fuente: Elaboración propia





# 4.2 Monitoreo de la vegetación del Borde Este mediante imágenes satelitales

Se detalla la metodología para la identificación de formaciones, tipos y coberturas vegetacionales en el área de estudio para cada periodo de análisis, con el objeto de detectar posibles variaciones en la cobertura de las formaciones vegetacionales.

# 4.2.1 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 de 99 puntos de monitoreo, los que fueron establecidos en la campaña pre-operacional efectuada en abril de 2006, cuya ubicación se estableció en el Anexo V.II de la Adenda III del EIA, y es presentado a continuación en la Tabla 4-2 y la Figura 4-2.

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

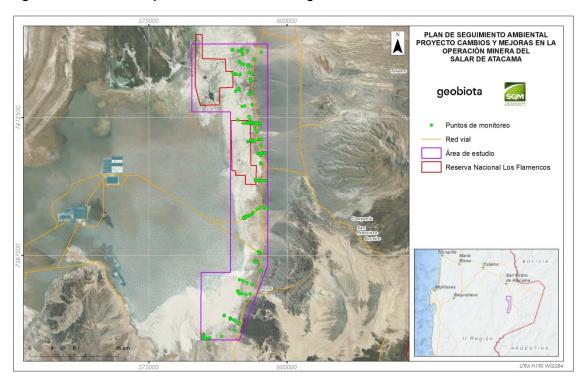
Parcela	Coorden	adas UTM	Parcela	Coorden	Coordenadas UTM		Coordenadas UTM	
Parceia	Este	Norte	Parceia	Este	Norte	Parcela	Este	Norte
N-01	590.161	7.424.778	N-34	595.130	7.396.082	N-67	590.570	7.373.893
N-02	591.798	7.424.803	N-35	595.838	7.396.132	V-01	590.057	7.424.786
N-03	595.369	7.424.392	N-36	596.454	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
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



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

Parcela	Coorden	adas UTM	Parcela	Coordenadas UTM		Parcela	Coordenadas UTM	
Parceia	Este	Norte	Parceia	Este	Norte	Parceia	Este No	Norte
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

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







#### 4.2.2 Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

Las siguientes mediciones para caracterizar el estado y evolución de las variables han sido establecidas de acuerdo con lo expuesto en la RCA 226/2006.

El monitoreo de la vegetación en el Borde Este considera la estimación de la cobertura de la vegetación para la detección de posibles variaciones en las formaciones vegetales identificadas en el área de estudio. Para ello, se considera que para el seguimiento se debe utilizar una imagen satelital de alta resolución, compuesta por bandas y capturada en el mes de abril de cada año, con la finalidad de identificar si existen variaciones en la cobertura de las unidades vegetacionales.

En la descripción vegetacional se incluyen las especies dominantes presentes, cobertura por especie, el porcentaje de copa verde, fenología y el estado vital.

## 4.2.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

La metodología y categorías utilizadas para el monitoreo de las formaciones vegetacionales que se desarrollan en el Borde Este y el monitoreo de Zona de Conexión del Salar de Atacama se describe a continuación.

#### 4.2.3.1 <u>Prospección vegetacional de terreno</u>

El monitoreo de la cobertura en las formaciones vegetales del área de estudio se realiza aplicando la metodología de la Carta de Ocupación de Tierras (COT). Este corresponde a un método cartográfico que permite caracterizar la vegetación presente en un área determinada, estimando el estado actual de la formación vegetal, especies dominantes y grado de artificialización.

La descripción en terreno registra los tipos biológicos presentes en cada unidad cartográfica, estimando en forma visual su cobertura, estratificación en término de altura y especies dominantes. Las categorías de cobertura se presentan en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. 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.

Adicionalmente, en cada punto de descripción se registran antecedentes de vitalidad y porcentaje de copa viva (follaje) de acuerdo a las categorías establecidas en la Tabla 4-4 y Tabla 4-5, tal como se estableció en la RCA 226/2006.



Tabla 4-4. 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	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, basado en RCA 266/2006.

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 (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 vivan utilizadas se indican a continuación:

Tabla 4-5. 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

En forma complementaria a lo establecido en la RCA 226/2006, 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 4-17. La fenología se refiere a los fenómenos de aparición de tallos y hojas, floración y producción de frutos y semillas. Su ocurrencia guarda relación con las condiciones ambientales y estado vital de la planta.

Tabla 4-6. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.

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





Para efectos del monitoreo, el diseño muestral considera la ejecución de 99 descripciones para la vegetación del Borde Este (Tabla 4-2) y 19 descripciones para la vegetación de la Zona de Conexión (Tabla 4-8).

#### 4.2.3.2 <u>Análisis de la imagen satelital</u>

Tal como lo establece 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 específicamente en el mes de abril, concomitante a la toma de datos en terreno.

Para el caso del monitoreo del periodo 2019, se utilizaron imágenes del satélite Geoeye-I cuya captura se realizó el 02 de abril del 2019. 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.

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 del Ministerio de Medio Ambiente.

Previo al uso de imágenes, se procedió a ejecutar el preprocesamiento de la imagen ocupando el método de corrección atmosférica Quick Atmospheric Correction (QUAC).

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 aumentando paralelamente en el rojo, siendo menor el contraste entre dichas bandas (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 fundan 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:

 $\rho_R$  : Reflectancia en la banda del rojo

 $ho_{IRC}
ho_{IRC}$ : Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano

En el análisis pixel a pixel, 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).





#### 4.2.3.3 <u>Segmentación, clasificación y atributación de la vegetación.</u>

Con el objeto de identificar eventuales cambios en las coberturas vegetacionales, se identificaron las formaciones y tipos vegetacionales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama mediante la imagen satelital.

Para estos fines se realizó una segmentación de toda el área de estudio, cuyo proceso consiste en la identificación unidades homogéneas a partir de criterios de similitud de colores, tonos y texturas de la imagen satelital y del NDVI del periodo de análisis.

La clasificación de la vegetación se realizó en base a la información colectada en terreno, la que permitió definir la formación, tipos, especies dominantes y cobertura vegetacional. Para estos fines, la RCA contempla el monitoreo de 99 unidades vegetacionales detalladas en la sección 4.2.1. De manera complementaria, se incorporaron las descripciones vegetacionales que se realizan en el contexto del monitoreo en zona de conexión vegetación – acuífero (19 unidades vegetacionales) (Sección 4.3.1), contabilizando un total de 118 descripciones vegetacionales.

En una etapa posterior, la información vegetacional definida a partir de las descripciones de terreno fue generalizada hacia las unidades vegetacionales no cubiertas por el muestreo, utilizando como criterio las similitudes en cuanto a color, grano y textura de las unidades vegetacionales identificadas sobre la imagen satelital.

Como resultado de esta etapa, se obtuvo un Mapa de la Vegetación del Borde Este de Salar de Atacama a una escala 1:50.000, con una unidad mínima cartografiable de superficie de 5 ha. Se entenderá por unidad mínima cartografiable, a la unidad espacial de menor superficie que podrá ser representada e identificada adecuadamente en un mapa.

Este Mapa de vegetación (Anexo I) muestran la distribución y representatividad de cada una de las formaciones, tipos vegetacionales, desagregados por las categorías de coberturas presentes en el Borde Este, permitiendo la caracterización ambiental y la evaluación de cambios de las formaciones vegetacionales presentes.

#### 4.2.3.4 Mosaicos de vegetación

Al interior del área de estudio existen formaciones vegetacionales que se presentan en forma de parches discontinuos y que individualmente pueden cubrir una pequeña superficie. Estos parches de vegetación, conforme a la escala de trabajo y unidad mínima cartografiable definida para este estudio, no podrían ser representados en el Mapa de Vegetación. A fin de lograr una adecuada representación cartográfica de estas formaciones y dar cuenta de la particular condición ecológica en que se desarrollan, dichos parches de vegetación fueron integrados en unidades vegetacionales homogéneas de mayor tamaño, las que fueron designadas como mosaicos vegetacionales, en donde la vegetación presente 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 grama salada (*Distichlis spicata*).



#### 4.2.4 Materiales y equipos utilizados

Para el registro de la información se utilizaron formularios electrónicos mediante el uso de Tablet, cámaras fotográficas, GPS marca Garmin modelo MAP62.

#### 4.2.5 Fechas de muestreo de cada parámetro

Tabla 4-7. Fechas de muestreo vegetación.

Componente	Sector	Fecha de muestreo
Vegetación	Zona de conexión vegetación-acuífero	21 al 24 de enero de 2019
Vegetación	Borde Este	16 al 26 de abril de 2019
Vegetación	Aguas de Quelana⁵	24 al 29 de junio de 2019

Fuente: Elaboración propia.

<sup>5</sup> Sector no monitoreado en la campaña comprometida del mes de abril, debido a no contar con permiso de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, por parte de la Comunidad Atacameña de Toconao, conforme a protocolo de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, oficializado por CONAF mediante Res. Ex. N°56/2019 de la Dirección Regional de la Corporación Nacional Forestal





# 4.3 Monitoreo de vegetación en zona de conexión vegetaciónacuífero

Se analizan unidades de vegetación que presumiblemente se encuentran en la zona de contacto entre la napa subterránea y el sistema radicular de la formación arbustiva de *Tessaria absinthioides – Atriplex atacamensis*. Estas unidades son evaluadas dos veces en el año, en la época de crecimiento de las plantas, específicamente en los meses de enero y abril.

#### 4.3.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

En la Tabla 4-8 se presenta las coordenadas de los puntos de monitoreo de evaluación, donde se presume que ocurre la conexión entre las raíces de la vegetación y la napa de agua subterránea. La distribución de estos puntos de monitoreo se encuentra en Figura 4-4.

Tabla 4-8 Ubicación de los puntos de monitoreo de vegetación en la zona de conexión (Datum WGS84, 19 S).

Doreolo	Coorden	Coordenadas UTM		Coorden	Coordenadas UTM	
Parcela	Este	Norte	- Parcela	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	
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	-	-	-	



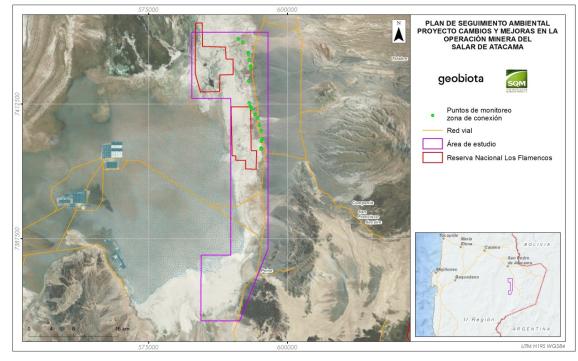


Figura 4-4. Ubicación de puntos de monitoreo de vegetación en la zona de conexión.

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

Las siguientes mediciones para caracterizar el estado y evolución de las variables han sido establecidas de acuerdo con lo expuesto en la RCA 226/2006, en las que se incluyen las especies dominantes presentes, cobertura por especie, el porcentaje de copa verde, fenología y el estado vital.

#### 4.3.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

La metodología y categorías utilizadas para el monitoreo de las formaciones vegetacionales que se desarrollan en el Borde Este y el monitoreo de Zona de Conexión del Salar de Atacama se describe a continuación.

El monitoreo de la cobertura en las formaciones vegetales del área de estudio se realiza aplicando la metodología de la Carta de Ocupación de Tierras (COT). Este corresponde a un método cartográfico que permite caracterizar la vegetación presente en un área determinada, estimando el estado actual de la formación vegetal, especies dominantes y grado de artificialización.

La descripción en terreno registra los tipos biológicos presentes en cada unidad cartográfica, estimando en forma visual su cobertura, estratificación en término de altura y especies dominantes. Las categorías de cobertura se presentan en la Tabla 4-9.



Tabla 4-9. 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

De acuerdo a lo establecido en la RCA 226/2006, de forma complementaria en cada punto de descripción se registran antecedentes de vitalidad y porcentaje de copa viva (follaje), de acuerdo a las categorías establecidas en la Tabla 4-15 y Tabla 4-16.

Tabla 4-10. 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	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, basado en RCA 266/2006.

La copa viva (follaje verde) 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 (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 4-11. 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%	





Tabla 4-11. Escalas utilizadas para clasificar el porcentaje de copa viva de las plantas.

Código Porcentaje de copa viva	
--------------------------------	--

En forma complementaria a lo establecido en la RCA 226/2006, se considera el registro del estado fenológico de las especies que constituyen la formación, de acuerdo con las categorías que se presentan en la Tabla 4-17. La fenología se refiere a los fenómenos de desarrollo de tallos y hojas, floración y producción de frutos y semillas. Su ocurrencia guarda relación con las condiciones ambientales y estado vital de la planta.

Tabla 4-12. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.

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

Fuente: Elaboración propia

## 4.3.4 Materiales y equipos utilizados

Para el registro de la información se utilizaron formularios electrónicos mediante el uso de Tablet, cámaras fotográficas, GPS marca Garmin modelo MAP62.

#### 4.3.5 Fechas de campaña de terreno

Tabla 4-13. Fechas de monitoreo de la vegetación.

Componente	Sector	Fecha de muestreo	
Vegetación	Zana da aanavián vasakasián aavifana	21 al 24 de enero de 2019	
	Zona de conexión vegetación-acuífero	16 al 26 de abril de 2019	





# 4.4 Monitoreo de algarrobos en el sector Camar-2

## 4.4.1 Ubicación de ejemplares monitoreados

El monitoreo de algarrobos (*Prosopis alba*<sup>6</sup>) se realiza en 71 ejemplares correspondientes a los presentados en la Figura I.5.3 y el Anexo V.IV, ambos correspondientes a la Adenda III del EIA. Para efectos del monitoreo, cada ejemplar ha sido rotulado con un código identificador, los que se indican en la Tabla 4-14, mientras que su distribución espacial en el área se presenta en la Figura 4-5.

Tabla 4-14. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coorden	adas UTM	Punto	Coorden	Coordenadas UTM	
Punto	Este	Norte	Funto	Este	Norte	Punto	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	
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	-	-	-	

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> 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 ElA Cambios y mejoras esta especie se había identificado como *Prosopis flexuosa*, especie clasificada como Vulnerable (VU), según el D.S. N°13/2013 MMA.



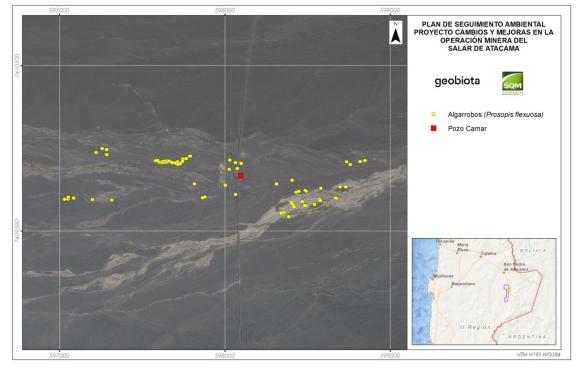


Figura 4-5. Distribución de los individuos de Algarrobo monitoreados.

#### 4.4.2 Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

El monitoreo de los individuos de Algarrobo ubicados en el sector del Pozo Camar 2 según la RCA 226/2006, considera la evaluación anual de la vitalidad de los ejemplares y la estimación del porcentaje de copa viva.

Cada medición se complementó con un completo registro fotográfico de los ejemplares de algarrobo de manera individual.

#### 4.4.3 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 sobre cada individuo. Cada una de estas variables de monitoreo se detallan a continuación:

# 4.4.3.1 <u>Vitalidad</u>

De acuerdo a lo establecido en la RCA 226/2006, sobre cada ejemplar de algarrobo se registran antecedentes de vitalidad, que es una forma de evaluación general del estado sanitario de los individuos, cuyas categorías de evaluación se presentan en la Tabla 4-15.



Tabla 4-15. 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	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, basado en RCA 266/2006.

# 4.4.3.2 <u>Copa viva (Follaje verde)</u>

La copa viva (follaje verde) 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 (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 4-16. 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

#### 4.4.3.3 Fenología

La fenología se refiere a los fenómenos de aparición de tallos y hojas, floración y producción de frutos y semillas y su ocurrencia guarda relación con las condiciones ambientales y estado vital de la planta. De acuerdo con lo establecido en el RCA 226/2006, las categorías de fenología se presentan en la Tabla 4-17.

Tabla 4-17. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.

Código	Estado fenológico
1	Senescente
2	Crecimiento vegetativo





Tabla 4-17. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico.

3	Floración
4	Fructificación

#### 4.4.3.4 <u>Daño por agentes externos</u>

La prospección del tipo de daño por acción de agentes externos es una variable complementaria, incorporada en el año 2017 como respuesta a la Res. Ex. N°1/Rol F-041-2016 la SMA y a 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 cierta medida 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.

Tal como se señaló anteriormente, esta no es una evaluación acumulativa, sino que pretende evaluar el daño en la temporada analizada. Es decir, si a vista del especialista el daño fue provocado en temporadas anteriores, el daño no es registrado.

Las categorías utilizadas para la evaluación de daños por agentes externos se presentan en la Tabla 4-18

Tabla 4-18. 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.

# 4.4.4 Materiales y equipos utilizados

Para el registro de la información se utilizaron formularios electrónicos mediante el uso de Tablet, cámaras fotográficas, GPS marca Garmin modelo MAP62.

#### 4.4.5 Fechas de muestreo de cada parámetro

Tabla 4-19. Fechas de muestreo de ejemplares de Algarrobo.

Componente	Sector	Fecha de muestreo	
Ejemplares de Algarrobo	Borde Este	21 de abril de 2019	





# 4.5 Flora

## 4.5.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

El monitoreo de flora consiste en un conjunto de siete transectos orientados en sentido Este-Oeste, en los que se dispone un total de 75 puntos de muestreo, ubicados sistemáticamente cada 300 m, sobre cada transecto. La ubicación de los puntos de muestreo fue definida en la RCA 226/2006, la cual se especifica en la Tabla 4-20.

La Figura 4-6 presenta la distribución de los siete transectos de flora en el área de estudio.

Tabla 4-20. Ubicación de los puntos de monitoreo de flora (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coorde	nadas UTM	Punto	Coordenadas UTM	
Punto	Este	Norte	1 unto	Este	Norte	Funto	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
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

TF-N° de transecto – N° de punto de muestreo. Fuente: Elaboración propia, basado en RCA 226/2006.



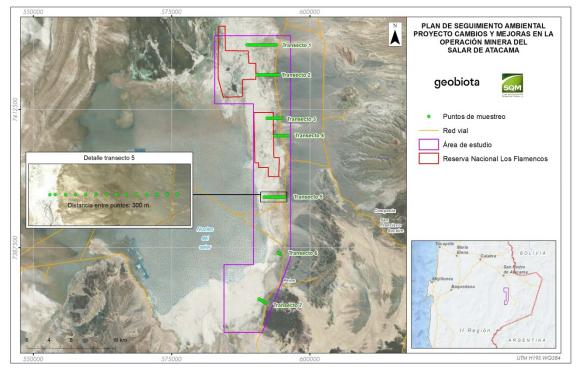


Figura 4-6. Ubicación de los transectos de flora en el área de estudio.

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

Para la caracterizar el estado y evolución de la flora del Borde Este del Salar de Atacama, la RCA 226/2006 estableció la medición de riqueza florística y la frecuencia de especies presentes (Abundancia). Además, se efectúa una caracterización del sustrato, a través de una descripción del suelo y mediciones de salinidad y pH.

## 4.5.3 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, determinar la frecuencia 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.

Los puntos de muestreo corresponden 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". La disposición de los puntos de muestreo permite capturar la variación de la riqueza de especies y su cobertura.

Cabe señalar que, 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. Sin embargo, al ser registros fuera del área de monitoreo y de manera eventual, no se registra su cobertura.

Ejemplares de especies vegetales que no son reconocidos en terreno son colectados, prensados y herborizados para su posterior identificación en gabinete. La determinación taxonómica de las especies colectadas 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 principalmente al "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).

En cada punto de muestreo, en la parcela central, se realizó la extracción de muestras de suelo por parte de la empresa Algoritmos SpA, autorizada como Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) para la toma de muestras de suelo<sup>7</sup>. Las muestran son representativas de la zona de mayor acumulación de raíces (suelo mineral superficial). Se realizaron tres perforaciones por punto de muestreo de aproximadamente 60 cm de profundidad, y posteriormente, se tomaron las muestras a 45 cm de profundidad. El tamaño de cada muestra es de 500 gramos aproximadamente.

Figura 4-7. Toma de muestras de suelo de la empresa ALGORITMOS SPA

TF-1-16 Ubicación WGS84 H19S 589.458 - 7.424.200



TF-4-03 Ubicación WGS84 H19S 595.473 – 7.407.802



Fuente: Algoritmos Spa.

Las muestras de suelo colectadas en terreno fueron almacenadas en bolsas plásticas herméticas y debidamente rotuladas, para luego ser enviadas para su análisis a la ETFA ALS Life Sciences Chile<sup>8</sup>. Esta

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Código ETFA 029-02, código alcance 5318 (conductividad) y 5319 (pH).



<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Código ETFA 015-01, código alcance 27452.



institución utiliza el procedimiento basado en Soil and Land Survey Handbook (1992), Method 3A (pH) y Method 4A (conductividad).

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, dar continuidad al análisis histórico de la variable y dado que son datos comparables metodológicamente y se mantiene la trazabilidad histórica del monitoreo.

#### 4.5.3.1 Protocolo de evaluación de tendencias

En el marco de los monitoreos realizados en el Borde Este del Salar de Atacama, desde el año 2012 en adelante, se observó un cambio del comportamiento del pH y salinidad de los suelos, medidas como Conductividad Eléctrica.

Lo anterior implicó que, la SMA formuló cargos a SQM Salar S.A a través de Res. Ex. N°1/Rol F-041-2016, indicando "la falta de análisis en consideración a que se constató la afectación significativa de las variables de pH y salinidad" (Cargo N°5).

Basado en lo anterior, y en consideración de la falta de una metodología estandarizada que permita identificar oportunamente la ocurrencia de variaciones temporales de los distintos parámetros monitoreados, el Programa de Cumplimiento de SQM, en su Acción 24 comprometió:

- Implementar un protocolo para el análisis de tendencia de las variables ambientales de vegetación y/o variables microambientales", con el objeto de asegurar la revisión de posibles tendencias en las variables flora, pH y salinidad (conductividad eléctrica).
- En los informes de seguimiento se aplicará un factor de estandarización propuesto en el Apéndice 5.3 del Plan de Cumplimiento, el cual se encuentra en el Anexo XVIII de este Informe.

El "Protocolo para el análisis de tendencias de variables ambientales" fue entregado en el contexto del programa de cumplimiento que ha sido propuesto por SQM Salar S.A. en el procedimiento F-041-2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente9 y se encuentra adjunto en el Anexo XVIII de este informe.

En Protocolo de tendencias es un procedimiento metodológico para la evaluación anual e histórica de los monitoreos de pH, salinidad y flora, para lo cual se establecieron una serie de análisis estadístico que pretenden:

- Comparar los resultados obtenidos en la presente campaña, con los resultados históricos de estas variables
- El estudio de las variables a través del tiempo hasta la actualidad

Tal como lo indica el Plan de cumplimiento presentado a la SMA, el protocolo de tendencia se aplicó considerando los factores de estandarización de pH y conductividad, los que se presentaron en el estudio:

<sup>9</sup> Reporte N°1, cargado en el Sistema de Seguimiento de Programas de Cumplimiento-SPDC, de la Superintendencia del Medio Ambiente.



-



"Análisis de metodologías de monitoreo de Conductividad Eléctrica y pH", el cual se encuentra en el Anexo XVIII, junto al protocolo de tendencias.

#### 4.5.4 Materiales y equipos utilizados

Para el registro de la información se utilizaron formularios digitales disponibles en una Tablet, cámaras fotográficas, GPS marca Garmin modelo MAP62.

Para la extracción de las muestras de suelo se utilizó un barreno a motor de 2 tiempos, pala de plástico, flexómetro, guantes de látex, bolsas con cierre hermético para almacenar la muestra y etiquetas para la rotulación de las muestras.

#### 4.5.5 Fechas de muestreo de cada parámetro

Tabla 4-21. Fechas de muestreo Flora

Componente Sector		Fechas de muestreo
Flora	Borde Este	16 al 26 de abril de 2019
Flora	Aguas de Quelana <sup>10</sup>	24 al 29 de junio de 2019

Fuente: Elaboración propia.

# 4.6 Fauna

#### 4.6.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

#### 4.6.1.1 <u>Monitoreo de reptiles, aves terrestres y mamíferos</u>

Como se establece en la RCA N° 226/2006, se han definido cinco 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 (matorral) Brea-Cachiyuyo
- Hábitat de (matorral) Rica rica Pingo pingo
- Hábitat de pajonal
- Hábitat marginal de salar
- Hábitat de salar

La ubicación de los transectos de monitoreo para la fauna terrestre, que comprende a las clases reptiles, aves terrestres y mamíferos, fueron establecidos en función de los hábitats definidos por la RCA 266/2006. Se hace el alcance que el muestreo de mamíferos se realiza sólo en los sectores de Aguas de Quelana y Vega de Carvajal, en los tres hábitats considerados relevantes para este grupo: hábitat de Rica rica – Pingo pingo; hábitat de Brea – Cachiyuyo y hábitat de Pajonal (Transectos 1, 2, 3, 9, 10 y 11). Las coordenadas con la ubicación de todos los transectos prospectados se presentan en la Tabla 4-22, y la ubicación espacial de los mismos se presenta en la Figura 4-8.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Sector no monitoreado en la campaña comprometida del mes de abril, debido a no contar con permiso de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, por parte de la Comunidad Atacameña de Toconao, conforme a protocolo de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, oficializado por CONAF mediante Res. Ex. N°56/2019 de la Dirección Regional de la Corporación Nacional Forestal



\_



Cabe mencionar que, a partir de la campaña realizada el año 2015, en el sector de Aguas de Quelana el transecto definido para el hábitat de Rica rica – Pingo pingo (Transecto N°9), fue desplazado al mismo hábitat donde se realizan las capturas de micromamíferos mediante trampas Sherman. 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. De esta forma, al analizar el mismo hábitat de Rica rica – Pingo pingo, hace comparables los resultados obtenidos en campañas previas.

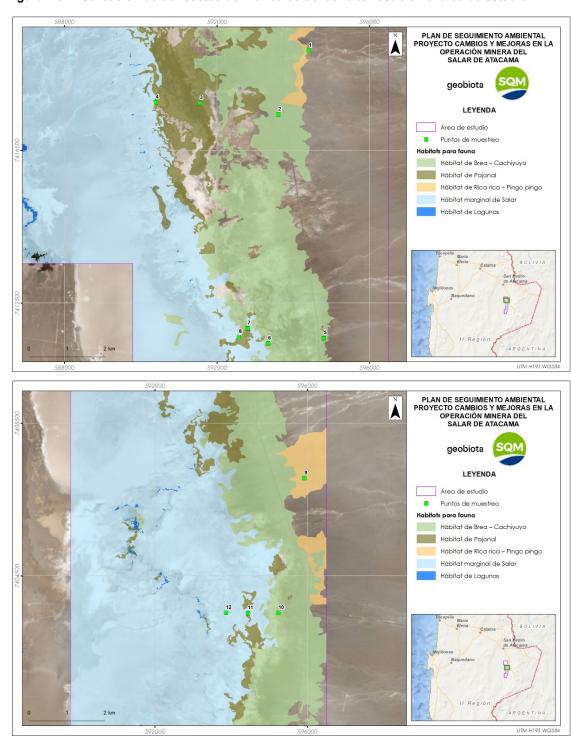
Tabla 4-22. Ubicación de puntos de muestreo para la prospección de fauna terrestre en el Borde Este del Salar de Atacama (Datum WGS84 19S).

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

<sup>\*:</sup> 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).



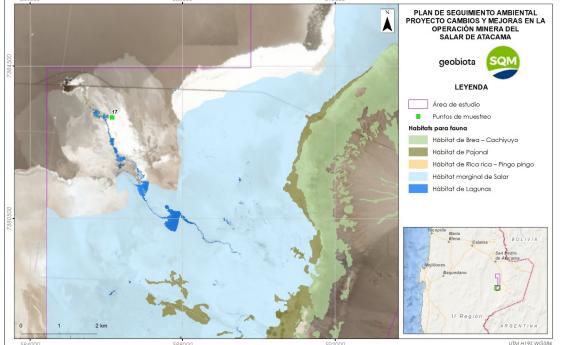
Figura 4-8. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio.





PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS EN LA OPERACIÓN MINERA DEL SALAR DE ATACAMA geobiota LEYENDA Área de estudio Puntos de muestreo Habitats para fauna Hábitat de Brea – Cachiyuyo Hábitat de Paional Hábitat de Rica rica – Pingo pingo Hábitat marginal de Salar Hábitat de Lagunas PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS EN LA OPERACIÓN MINERA DEL SALAR DE ATACAMA geobiota LEYENDA Área de estudio Puntos de muestreo Habitats para fauna

Figura 4-8. Distribución de transectos de monitoreo de fauna terrestre en el área de estudio.







#### 4.6.1.2 <u>Monitoreo de aves en ambientes acuáticos</u>

El censo de aves acuáticas asociado a los sistemas lacustres Soncor, Aguas de Quelana y Peine, considera 25 puntos de observación de aves, los cuales se definieron en el Informe de Monitoreo Anual N°1. Las coordenadas de los puntos se presentan en la Tabla 4-23, y su distribución respecto de las lagunas se presenta en la Figura 4-9 (Sistema Soncor), Figura 4-10 (Sistema Aguas de Quelana) y Figura 4-11 (Sistema Peine). Debido a la cercanía del sector Canal Chaxa-Barros Negros con la Laguna Chaxa, los datos obtenidos en el transecto 4, son analizados junto con los registros de Laguna Chaxa.

Tabla 4-23. Ubicación de puntos de observación de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama (Datum WGS84 19S).

Olatama	Sector	Punto N°	Coordenadas UTM	
Sistema			Norte	Este
Soncor	Canal Burro Muerto	1	7.424.456	584.405
		2	7.423.749	583.914
		3	7.422.793	583.717
	Canal Chaxa – Barros Negros*	4	7.418.750	585.593
	Laguna Barros Negros	5	7.417.536	585.649
		6	7.417.048	585.771
		7	7.416.359	585.828
	Laguna Chaxa	8	7.419.607	585.220
	Laguna Puilar	9	7.422.435	588.193
	Aguas de Quelana	10	7.408.202	593.032
		11	7.407.472	592.994
		12	7.406.950	593.389
		13	7.406.680	592.665
Aguas de Quelana		14	7.405.651	591.360
		15	7.405.479	591.361
		16	7.404.770	591.924
		17	7.404.358	592.395
		18	7.403.591	593.496
	Laguna Salada	19	7.380.813	587.562
		20	7.380.721	587.592
		21	7.380.535	587.581
Peine	Laguna Saladita	22	7.381.486	587.101
		23	7.381.285	587.094
	Laguna Interna	24	7.382.395	586.196
		25	7.382.105	586.614

<sup>\*</sup>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



PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL
PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS EN LA
OPERACIÓN MINERA DEL
SALAR DE ATACAMA

Puntos de observación de
aves acuáticas

Puntos de observación de
aves acuáticas

Cuerpos de agua

Laguna Barros
Regros

Laguna Barros
Regros

Selocco

S

Figura 4-9. Ubicación de puntos de observación de aves acuáticas Sistema Soncor.

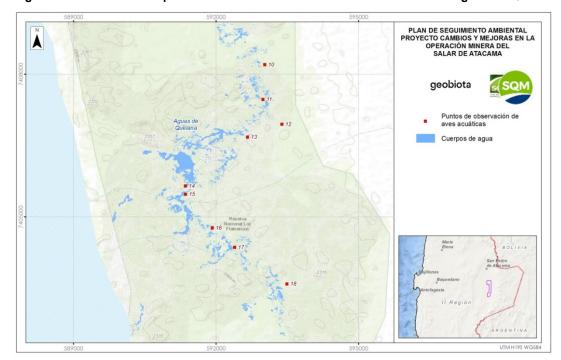


Figura 4-10. Ubicación de puntos de observación de aves acuáticas Sistema Aguas de Quelana.



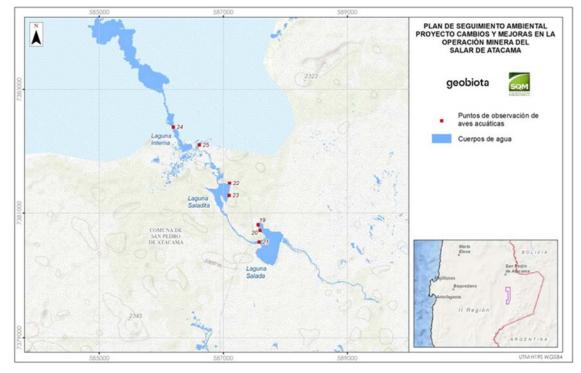


Figura 4-11. Ubicación de puntos de observación de aves acuáticas Sistema Peine.

#### 4.6.2 Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

El monitoreo de los 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 registro 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.

#### 4.6.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

# 4.6.3.1 <u>Solicitud del Permiso Sectorial de Captura de Fauna Silvestre</u>

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 Resolución Exenta N°274/2019, con validez hasta el 11 de abril de 2020 (Anexo VIII).

#### 4.6.3.2 Técnicas de muestreo aplicadas

Para el seguimiento se realizó un muestreo estratificado, considerando los tipos de hábitat definidos anteriormente para fauna, utilizando metodologías específicas para la caracterización de cada grupo





faunístico, y determinando los parámetros de riqueza y abundancia registradas en el Borde Este del Salar de Atacama.

#### 4.6.3.3 Reptiles

Para evaluar la abundancia se realizaron 17 transectos lineales, los que tuvieron una longitud de 300 metros. 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. Este método permite registrar el número de ejemplares de cada especie presente en los distintos hábitats y estimar la abundancia promedio.

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 19).

#### 4.6.3.4 <u>Aves en ambientes terrestres</u>

La abundancia fue evaluada en los 17 transectos lineales de 300 metros. En cada transecto se realizó el recorrido pedestre, el que se repitió durante tres días, estandarizando el tiempo de muestreo a 20 minutos para todos los transectos.

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

Puesto que este método produce un sesgo en la estimación de abundancias de especies con alta movilidad y detectabilidad (i.e. aves rapaces), lo que impide su comparación con otros taxa, por lo que estas especies solo fueron consideradas como presentes o ausentes, siendo relevantes en la estimación de la riqueza para los ambientes definidos.

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.

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 19).

# 4.6.3.5 Aves en ambientes acuáticos

Para las aves en ambientes acuáticos se efectuaron censos en los Sistemas Lacustres Soncor, Aguas de Quelana y Peine, específicamente en lugares donde se presentan hábitats relevantes para este grupo.

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 consistió 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.





Los censos se realizaron en 25 puntos de observación (Tabla 4-23). Su distribución en el perímetro de los Sistemas Lacustres mencionados se muestra en las Figura 4-9, Figura 4-10 y Figura 4-11. 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, sin 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%.

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

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).

#### 4.6.3.6 <u>Micromamíferos</u>

Para el estudio de roedores y marsupiales, se realizó la captura de ejemplares mediante la instalación de 30 trampas de captura viva de tipo Sherman en cada hábitat de importancia (Rica rica-Pingo pingo, Brea-Cachiyuyo y Pajonal). Se consideraron los sectores definidos previamente para el estudio de mamíferos, correspondientes a los sectores Vega de Carvajal y Aguas de Quelana (Figura 4-8), obteniéndose un total de seis puntos de muestreo, los que se instalaron en los transectos 1, 2, 3, 9, 10, y 11.

Las trampas Sherman fueron cebadas con avena machacada y mantenidas 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 sus coordenadas geográficas UTM (Universal Transversal de Mercator, Datum WGS84, Huso 19) para cada trampa Sherman.

#### 4.6.3.7 Macromamíferos

En el caso de los macromamíferos, el muestreo fue realizado mediante la implementación de estaciones de atracción olfativa. De esta forma, fue posible establecer la abundancia relativa de carnívoros se implementaron estaciones de atracción olfativa, con el objeto de estimar el índice de visitas a estos lugares. 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-Pedreros, 2008; Skewes, 2009).

El diseño muestral consideró la instalación de cuatro estaciones olfativas, en los hábitats de Rica rica - Pingo pingo y Brea – Cachiyuyo (transectos 1, 2, 9 y 10), 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. Sin embargo, con el objeto de complementar los resultados obtenidos y realizar el seguimiento de macromamíferos en el ambiente de pajonal, se instalaron de forma adicional, cámaras trampa en cada estación.





Como índice se utilizó la proporción de visitas a cada estación por parte de macromamíferos, en función del número de estaciones en operación, expresado en porcentaje (Muñoz-Pedreros *et al.*, 1995; Rau & Muñoz-Pedreros, 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 busca evitar la interacción y posibles ataques por parte de carnívoros atraídos a 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 19.

#### 4.6.3.8 <u>Identificación, origen biogeográfico y singularidad de las especies.</u>

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:

- Reptiles: Cei (1962), Veloso y Navarro (1988), Nuñez 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-Pedreros y Yañez (2000) y Iriarte (2008)

#### 4.6.3.8.1 <u>Fauna singular</u>

La identificación de especies de fauna singular se realizó sobre la base las características de sensibilidad de las especies presentes en el área de estudio, considerando factores como el endemismo, el origen biogeográfico, categoría de conservación 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.

#### 4.6.3.8.2 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 Nº 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 15 procesos de clasificación publicados en el Diario Oficial y el listado del Reglamento de la Ley de Caza (D.S. N° 05/98). Estas 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).

#### I. 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 silvoagropecuaria, 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).

#### 4.6.4 Materiales y equipos utilizados

Para el levantamiento de la información y caracterización del componente fauna, se utilizaron los siguientes equipos: dos cámaras fotográficas Canon SX50, una cámara fotográfica Canon D30, dos binoculares Nikon de 10x50, un Telescopio monocular Sightmark 6-100 x 100, un GPS cartográfico marca Trimble modelo Nomad y tres GPS marca Garmin modelo *eTrex*.

Otros materiales utilizados en terreno fueron: un trípode, guías de campo 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).

#### 4.6.5 Fechas de muestreo de cada parámetro

Tabla 4-24. Fechas de muestreo Fauna

Componente	Sector	Fechas de muestreo	
Fauna	Borde Este	16 al 26 de abril de 2019	
Fauna Aguas de Quelana <sup>11</sup>		24 al 29 de junio de 2019	

Fuente: Elaboración propia.

<sup>11</sup> Sector no monitoreado en la campaña comprometida del mes de abril, debido a no contar con permiso de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, por parte de la Comunidad Atacameña de Toconao.



\_



# 4.7 Biota Acuática

## 4.7.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

El seguimiento de las variables relevantes comprometidas para este componente ambiental se realizó de acuerdo con el Plan de Monitoreo, respetando los mismos puntos muestréales de la serie de tiempo, con el fin de asegurar la robustez de los análisis comparativos, tanto espaciales como temporales.

Siguiendo con la cantidad y distribución de estaciones de la serie de tiempo, se consideró el total de 25 estaciones de muestreo distribuidas en los sistemas lacustres anteriormente señalados, cuya ubicación se entrega en la Tabla 4-25 y Figura 4-12, Figura 4-13 y Figura 4-14, y que corresponden a puntos de medición fijos.

Tabla 4-25. Sectores evaluados en monitoreo biota acuática Borde Este del Salar de Atacama – Campaña abril 2019 (Datum WGS84,19K).

Sector	Estación de Muestreo	Descripción	UTM - E	UTM - N
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
Puilar	PU-1	Puilar vertiente	588.187	7.422.739
	PU-2	Puilar canal 2	587.968	7.422.499
	PU-3	Puilar laguna 2	587.476	7.422.307
	PU-4	Puilar canal 1	588.591	7.4223.92
	PU-5	Puilar laguna 1	588.107	7.4221.57
	BN-1	Barros Negros laguna	585.921	7.4186.03
	BN-2	Barros Negros entrada laguna	585.885	7.4172.92
Soncor	BN-3	Barros Negros canal	585.800	7.4169.73
	CH-1	Laguna Chaxa	585.356	7.4202.13
	BM-1	Canal Burro Muerto	584.178	7.4249.13
Peine	PE-1		586.442	7.3818.93
	PE-2	Laguna Interna	586.278	7.3820.19
	PE-3		585.912	7.3818.50
	SA-1	Laguna Salada	586.814	7.3812.85
	SA-2	Laguna Saladita	587.604	7.3804.83

Fuente: Elaboración propia, RCA 226/2006.



PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS EN LA OPERACIÓN MINERA DEL SALAR DE ATACAMA PLAN DE SEGUIMIENTO **AMBIENTAL** geobiota Puntos de biota acuática Cuerpos de agua PU-5 PU-4 Reserva Nacional Los Laguna Chaxa CH-1 BN-1 BN-2 ■ II Región Laguna Barros Negros ARGENTINA UTM H19S WGS84 581000 586000 591000

Figura 4-12. Ubicación Puntos de Muestreo de Biota Acuática. Sistema Soncor y Peine.

586000



589000 591000 593000 PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS EN LA ■ Q-7 OPERACIÓN MINERA DEL SALAR DE ATACAMA PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL geobiota Puntos de biota acuática Aguas de Quelana Cuerpos de agua Q-6 ■ Q-3 Q-4 Reserva Elena Nacional Los Flamencos S. 5 LAR DE ATACAMA II Región ARGENTINA UTMH19S WGS84 589000 591000 593000 595000 597000

Figura 4-13. Ubicación Puntos de Muestreo de Biota Acuática. Sistema Aguas de Quelana.



587000 PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS EN LA OPERACIÓN MINERA DEL SALAR DE ATACAMA PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL geobiota Laguna Interna Puntos de biota acuática ■ PE-3 Cuerpos de agua Laguna Saladita COMUNA DE SAN PEDRO Calama DE ATACAMA Baquedano Laguna II Región Salada ARGENTINA 587000 UTM H19S WGS84

Figura 4-14. Ubicación Puntos de Muestreo de Biota Acuática. Sistema Peine.





#### 4.7.2 Parámetros para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

De acuerdo con 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 cuales se indican en la Tabla 4-26.

Tabla 4-26. Parámetros utilizados en la caracterización y evolución de las variables ambientales.

Componente	Subcomponente	Variable	Parámetros	
Agua	Agua superficial	Calidad del agua	pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y salinidad (parámetro adicional a los exigidos por RCA)	
Suelo	Sedimento	Calidad del sedimento  Temperatura y conductividad eléctrica		
Biota	Fitobentos	composición y diversidad	Abundancia Total, Riqueza total (S) y Biomasa (contenido de clorofila).	
	Fitoplancton	composición y diversidad	Abundancia Total, Riqueza total (S) y Biomasa (contenido de clorofila)	
	Zoobentos	composición y diversidad	Abundancia Total, Riqueza total (S) e índice de Shannon Weiner (H)	
	Zooplancton	composición y diversidad	Abundancia Total, Riqueza total (S)	
	Plantas acuáticas	composición y diversidad	Porcentaje de cobertura absoluta (%)	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.7.3 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.

#### 4.7.3.1 Medio abiótico

# a. Parámetros físicos y químicos del agua

#### 4.7.3.1.1.1 Toma de muestras de aguas y procedimientos analíticos

La toma de muestras y las mediciones in situ realizadas en la columna de agua y en el sedimento fueron ejecutadas por un inspector ambiental bajo los estándares requerido por una ETFA autorizada por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y se basaron en las metodologías analíticas basadas en APHA, AWWA y WEF (2005), respondiendo a las metodologías establecidas por el laboratorio Hidrolab S.A. el cual se encuentra acreditado por el Instituto Nacional de Normalización (INN) bajo los estándares de





competencia establecidos en la norma internacional ISO/IEC 17025:2005, certificado de acreditación LE 215 (Anexo XVII) y el cual además se encuentra autorizado como ETFA (N° 003-01 Res. Ex. 1545/2017 y Res. Ex. 237/2019 SMA). La toma de muestras y las mediciones de sedimento fueron realizadas por un inspector ambiental autorizado (Res. Ex. 354/2019 SMA y Res. Ex. 938/2019 SMA) y fueron enviadas al Laboratorio de Servicios Analíticos de la Universidad Católica del Norte, el cual se encuentra acreditado bajo los estándares de la norma internacional ISO/IEC 17025:2005, certificado de acreditación LE 226 y LE 228 (Anexo XVII) y el cual también se encuentra autorizado como ETFA (N° 022-01 Res. Ex. 82/2018).

#### Mediciones in-situ

Las mediciones in situ fueron realizadas siguiendo la metodología establecida por APHA AWWA y WEF 2012 con una sonda multiparámetro, verificada in situ diariamente, este equipo registra de manera simultánea diferentes parámetros, entre ellos temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y salinidad, entre otros. Además, cuenta con un GPS incorporado que permite archivar la ubicación donde se miden los parámetros. Para su utilización, se sumergieron los sensores en la columna de agua, se esperó al menos cinco minutos para que las mediciones de los diferentes parámetros sean estables para una óptima medición. Los parámetros registrados corresponden a los detallados a continuación:

- Temperatura (°C): Se registró in situ con un equipo multiparámetro marca Hanna Instruments, modelo HI 9829 de 0,01 °C de precisión.
- pH: Se obtuvo in situ con un equipo multiparámetro marca Hanna Instruments, modelo HI 9829 de 0,01 unidades de precisión.
- Conductividad eléctrica ( $\mu$ S/cm): Se midió in situ con un equipo multiparámetro marca Hanna Instruments, modelo HI 9829 de 1  $\mu$ S/cm de precisión.
- Salinidad del agua (PSA): Se midió in situ con un equipo multiparámetro marca Hanna Instruments, modelo HI 9829 de 1 PSA de precisión.
- Oxígeno Disuelto (mg/L): Se midió in situ con un equipo multiparámetro marca Hanna Instruments, modelo HI 9829 de 0,01 mg/L de precisión. 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.
  - 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 de 1 litro de capacidad oscurecidas de la luz. 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. Los análisis químicos fueron realizados en el Laboratorio acreditado Hidrolab S.A. y por el laboratorio Plancton Andino SpA. Los protocolos metodológicos siguieron los estándares establecidos por el laboratorio ETFA Hidrolab S.A. y el laboratorio Plancton Andino SpA. el cual se encuentra acreditado bajo la Norma ISO/IEC 17025:2005 (certificado LE 1345). Las mediciones en el sedimento siguieron las metodologías establecidas por el Laboratorio de Servicios Analíticos de la Universidad Católica del Norte (Laboratorio ETFA).





#### 4.7.3.2 Medio biótico

#### b. Fitobentos

Para la estimación de la composición y abundancia de los organismos fitobentónicos se obtuvieron dos muestras desde cada estación de monitoreo, las cuales fueron extraídas mediante un core de plexiglass (diámetro 1 cm), estas muestras fueron fijadas in situ con una solución de lugol, para su posterior análisis en laboratorio. 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 cuadrado (cel/cm³).

#### c. Fitoplancton

Para la estimación de la composición y abundancia de la flora planctónica se obtuvieron 2 muestras integrales utilizando una red de 60µm de apertura de malla. El volumen filtrado en litros se estimó para cada muestra tomada y fue fijado in situ con una solución de lugol para su posterior 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).

# d. Zoobentos

Los organismos asociados al sustrato de los sistemas fueron colectados con un core de 0,0085 m²con el cual se tomaron 2 muestras por estación de monitoreo, las muestras fueron fijadas con etanol in situ para su posterior revisión en el laboratorio. Las muestras en laboratorio fueron cernidas en un juego de 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).

# e. Zooplancton

Para la estimación de la composición y abundancia de los organismos que habitan permanente o temporalmente la columna de agua se colectaron 2 muestras integradas por estación de muestreo. Las muestras fueron colectadas mediante filtración con una red de zooplancton de 110µm de apertura de malla tomando registro del volumen muestreado en cada muestra, las cuales fueron fijadas in situ con etanol. 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).





#### f. 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 el cual también se encuentra acreditado bajo los estándares de competencia técnica de la norma internacional ISO/IEC 17025:2005, con certificado LE1345 (Anexo XVII). Los resultados fueron expresados como µg/L y mg/m² de Clorofila a total.

#### g. 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. 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–Blanquett. 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.

# 4.7.4 Materiales y equipos utilizados

#### 4.7.4.1 Medio Abiótico

La toma de muestras (parámetros analizados en laboratorio) y las mediciones in situ de los parámetros utilizados para caracterizar la calidad de agua y de los sedimentos de los laboratorios Hidrolab S.A. Servicios Analíticos de la Universidad Católica del Norte y Plancton Andino SpA (E), los cuales se encuentran acreditados bajo los estándares de competencia técnica de la norma internacional ISO/IEC 17025:2005, (en Anexo XVII se presentan certificados de acreditación). Cabe destacar que cada envase utilizado para la toma de muestras contenía los preservantes y fijadores correspondientes para cada tipo de análisis según lo establecido en las normas NCh-ISO 5667/1:2017, NCh411/3:2014, Guía sobre la preservación y manejo de muestras, y NCh-ISO 5667/6:2015, Calidad del agua. Muestreo parte 6: guía para el muestreo de ríos y cursos de agua. Los parámetros de calidad de agua e importancia limnológica medidos in situ fueron determinados mediante una sonda Multiparámetro marca HANNA Modelo HI9829, la cual fue previamente calibrada (Anexo XVII).

# 4.7.4.2 <u>Medio biótico</u>

#### a. <u>Fitobentos</u>

Las muestras fueron colectadas mediante core de plexiglass (diámetro 1 cm, A). La identificación y el recuento de individuos fue realizado utilizando una cámara de conteo Sedgwick-Rafter y microscopía óptica (Motic AE31, 200X).





#### b. Fitoplancton

Se utilizó una red de 60 m de apertura de malla (**B**). La identificación y el recuento de individuos fue realizado utilizando una cámara de conteo Sedgwick-Rafter y microscopía óptica (Motic AE31, 200X).

#### c. Zoobentos

Se utilizó un core de 0.011 m² de área (C). Para la identificación y recuento se utilizó un microscopio del tipo estereomicroscopio (lupa) marca Nikkon modelo SMZ con aumento 45 x

#### d. Zooplancton

Se utilizó una red de 110 m de apertura de malla (**D**). En el laboratorio para la identificación y recuento de organismos se utilizó una cámara de conteo zigzagueante de 10ml (cámara bogorov) y una lupa marca Nikkon modelo SMZ con aumento 45 x.

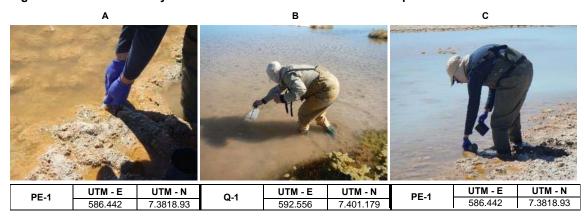
#### e. Plantas acuáticas

La cobertura de las distintas especies se estimó visualmente de acuerdo con una modificación del protocolo de Braun-Blanquett (F), por lo que no fue utilizado ningún equipo o instrumento de medición.

#### f. Clorofila-a total en la fracción planctónica y bentónica

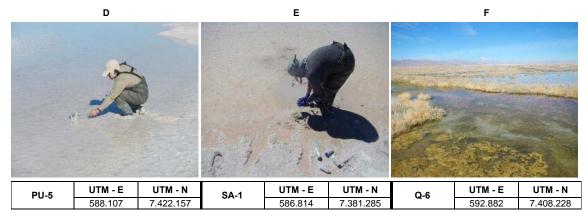
Para la toma de muestras de la fracción planctónica se utilizó un envase plástico previamente ambientado y para la fracción bentónica se utilizó un sacatestigo de  $10 \text{cm}^2$ , ambos tipos de envases fueron protegidos de la luz. El análisis de la concentración de clorofila a en la fracción planctónica se realizó de acuerdo con el procedimiento establecido en el Standard Methods 10200 H (APHA, AWWA & WEF 2012).

Figura 4-15. Instrumentos y muestreo monitoreo biota acuática. Campaña abril 2019.









A= Muestreo de Fitobentos, B = Muestreo de fitoplancton, C= Muestreo de Zoobentos, D= Muestreo de Zooplancton, E= Muestreo de calidad de Agua y Sedimentos y F= Cobertura de plantas acuáticas.

# 4.7.5 Fechas de muestreo de cada parámetro

Tabla 4-27. Fechas de muestreo Biota acuática

Componente	Sector	Fechas de muestreo
Biota acuática	Peine	23 de abril de 2019
Biota acuática	Soncor (Chaxa, Puilar y Burro muerto) <sup>12</sup>	26 al 28 de junio de 2019
Biota acuática	Soncor (Barros negros) <sup>13</sup>	4 de julio de 2019

Fuente: Elaboración propia.

<sup>12</sup> Sector no monitoreado en la campaña comprometida del mes de abril, debido a no contar con permiso de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, por parte de la Comunidad Atacameña de Toconao, conforme a protocolo de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, oficializado por CONAF mediante Res. Ex. N°56/2019 de la Dirección Regional de la Corporación Nacional Forestal.

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Sector no monitoreado en la campaña comprometida del mes de abril, debido a no contar con permiso de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, por parte de la Comunidad Atacameña de Toconao, conforme a protocolo de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, oficializado por CONAF mediante Res. Ex. N°56/2019 de la Dirección Regional de la Corporación Nacional Forestal.



\_



# 5 RESULTADOS

En la siguiente sección se presentarán los resultados obtenidos para cada componente y/o variable ambiental evaluado establecido en el monitoreo ambiental.

# 5.1 Monitoreo de la vegetación del Borde Este mediante imágenes satelitales

Se presentan los resultados del mapa de vegetación del mes de abril 2019, a fin de detectar cambios en la distribución, abundancia y vitalidad de la vegetación al final del periodo de crecimiento vegetativo de cada temporada.

Toda la información recopilada en terreno para estos fines, a saber: tipo biológico, especies dominante, cobertura por especie, estado vital, porcentaje de copa vida y fenología se presenta en el Anexo II.

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 Análisis de las caracterizaciones en terreno

En esta sección se analizan las 99 caracterizaciones vegetacionales en terreno para el periodo 2019, contempladas para la construcción del mapa de vegetación del Borde Este.

# 5.1.1.1 <u>Estado vital</u>

Del total de observaciones realizadas en abril de 2019, un 89,9% (89 puntos de muestreo) presentaron una vitalidad normal, un 3,0% (3 puntos de muestreo) mostraron una vitalidad débil, un 1,0% (1 punto de muestreo) mostró una vitalidad muy débil y el 6,1% restante de las observaciones (6 puntos de muestreo) correspondieron a zonas sin vegetación. Las zonas sin vegetación (con cobertura vegetacional <5%) se registran desde 2013, cuando tuvo lugar la actualización del mapa Figura 5-1.



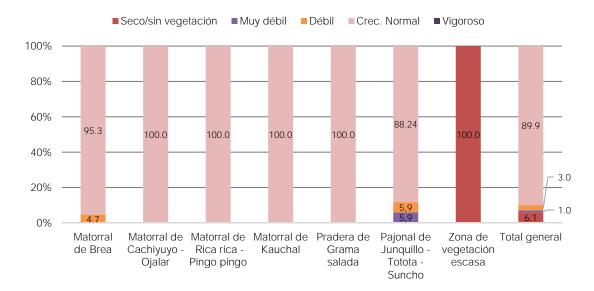


Figura 5-1. Vitalidad de las formaciones vegetacionales en el Borde este del Salar de Atacama.

Conforme se muestra en la Figura 5-1, dentro de las formaciones dominadas por arbustos, los matorrales de *Tessaria absinthioides* (Brea) presentaron mayoritariamente una vitalidad normal, lo que se verificó en 41 de los 43 puntos de monitoreo (95,3%), en 2 puntos se presenta una vitalidad débil (4,7%).

Todas caracterizaciones realizadas sobre matorrales de *Atriplex atacamensis – Atriplex imbricata* (Cachiyuyo - Ojalar), matorrales de *Aloysia deserticola - Ephedra multiflora* (Rica rica - Pingo pingo) y matorrales de *Tiquilia atacamensis* (Káuchal) presentaron registros una vitalidad normal.

La pradera de *Distichlis spicata* (Grama salada) presentó en el 100% de los registros (18 puntos de muestreo) una vitalidad normal.

El 88,2% (15 de 17 puntos de muestreo) de las muestras de pajonal de *Juncus balticus - Schoenoplectus americanus - Baccharis juncea* (Junquillo – Totora - Suncho) presentaron vitalidad normal. Mientras que las dos muestras restantes, presentan categoría débil (5,9%) y otro muy débil (5,9%), respectivamente.

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

#### 5.1.1.2 Porcentaje de copa viva

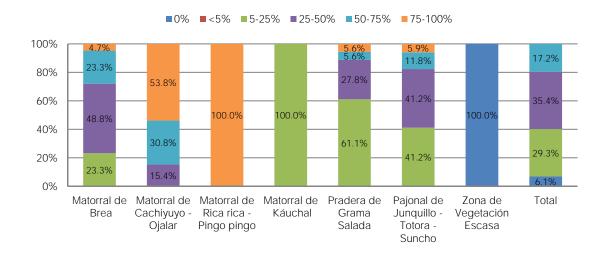
Los resultados obtenidos de las mediciones de copa viva realizadas en abril de 2019 se presentan en la Figura 5-2 y los resultados específicos para cada punto se observan en el Anexo II. Las evaluaciones realizadas en 2019 mostraron que:

- A nivel general, las muestras se concentran en la categoría de porcentaje de copa viva 25-50%, con un 35,4% (35 de 99 descripciones),
- El matorral de Brea concentró la mayor cantidad de descripciones (48,8% equivalente a 21 de 43 descripciones de terreno) en la categoría 25-50% de porcentaje de copa verde.
- El matorral de Cachiyuyo Ojalar tuvo la mayor concentración de descripciones (7 de 13) en la categoría 75-100%.
- El matorral de Rica rica Pingo Pingo reporta el 100% de sus puntos de muestreo en la categoría de copa viva 75-100%.



- El punto de muestreo correspondiente al matorral de Káuchal, presenta un porcentaje de copa viva de 5-25%.
- La 61,1% de las muestras de la pradera de Grama salada presenta se presenta dentro de la categoría de 5 a 25% de copa viva.
- El pajonal de Junquillo- Totora Suncho concentra una mayor proporción de registros en las categorías de 5-25% y 25-50% de copa viva, correspondiendo a 7 descripciones cada uno, cuya equivale a un 82,4%.
- Se realizaron 6 descripciones en zonas de vegetación escasa, donde no hubo hallazgo de ejemplares vegetales ni registro de follaje.

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



#### 5.1.1.3 Fenología

Los resultados obtenidos de los estados fenológicos observados en la muestras de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama se presentan en la Figura 5-3 y el detalle de la caracterizaciones se presenta en el Anexo II. Al respecto se identifica que:

- El 69,7% de las descripciones, equivalentes a 69 de 99 descripciones, se identificaron en estado fenológico de fructificación.
- Las descripciones efectuadas en matorral de Brea, Cachiyuyo-Ojalar y pajonal de Junquillo-Totora-Suncho reportaron dominancia de fructificación, con proporciones de 93%, 92,7% y 70,6% respectivamente.
- Todas las muestras realizadas sobre el matorral de Rica rica Pingo pingo presentaron floración en el área descrita.
- La única muestra de matorral de Káuchal presenta crecimiento vegetativo.
- Por último, la mayor parte de los registros (72,2%) en la Pradera de Grama salada presentan sólo crecimiento vegetativo.



geobiota

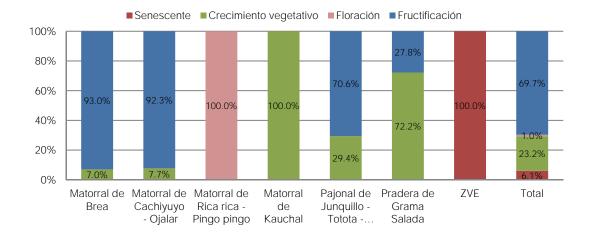


Figura 5-3. Fenología de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.

Fuente: Elaboración propia

# 5.1.2 Distribución y abundancia de la vegetación 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 obtenidas para el área de estudio en el mes de abril de 2019 y las descripciones de terreno también efectuadas en abril de 2019.

Se hace hincapié en que, los resultados de la superficie de las tipos vegetacionales presentados en Tabla 5-1, incorporan las correcciones realizadas el año 2013 (Informe de Monitoreo N°7, correspondiente a mediciones realizadas en enero y abril de 2013), año en que se realizaron rectificaciones respecto de la vegetación presente en el Borde Este del Salar de Atacama. Estas verificaciones en terreno se realizaron de manera complementaria a los puntos establecidos en la RCA N° 226/2006 y de manera exclusiva para el periodo 2013, cuyas muestras se ubicaron principalmente en áreas donde la interpretación visual de las imágenes satelitales no permite la identificación de formaciones vegetacionales, en particular, en áreas donde la vegetación es escasa y posee una cobertura del terreno <10%. Todos estos antecedentes se presentaron en la Consulta de pertinencia denominada: "Optimización de la presentación de los datos de cobertura vegetal del Plan de Seguimiento Biótico".

La vegetación del Borde Este del periodo 2019 se constituye de siete tipos vegetacionales, con diferentes gados de cobertura. La distribución de los tipos vegetacionales en el Borde Este del Salar se presentan en el Anexo I, 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 Totora Suncho (Juncus balticus, Schoenoplectus americanus y Baccharis juncea)
- Pradera de Lukupa (Cistanthes sp.)





Los resultados obtenidos en el periodo 2019 (Tabla 5-1 y Figura 5-4) indican que la superficie cubierta con vegetación en el Borde Este de Salar de Atacama alcanza 17.495,67 ha.

De esta, la formación vegetacional con mayor representación corresponde al matorral de Brea, que cubre una superficie de 8.033,51 ha, equivalente al 46,0% de toda la vegetación presente en el área.

Las praderas de grama salada y los matorrales de Cachiyuyo - Ojalar presentan superficies similares de ocupación con 2.197,58 ha y 2.069,12 ha respectivamente, con porcentajes de 12,6% y 11,8% cada uno. Las otras formaciones vegetacionales identificadas corresponden a matorral de Rica rica – Pingo pingo, Pajonal y Matorral de Káuchal.

En el periodo 2019 se identificó la pradera de Lukupa (*Cistanthes sp.*), la que cubrió una superficie de 2.539,64 ha y representa el 14,5% de toda la vegetación presente.

El detalle de las superficies por tipo vegetacional y cobertura se presenta en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama.

Nº	Formación	Cobertura	Cobertura (%)	Superficie (Ha)
	Matorral de Aloysia deserticola -	Abierto	25-50%	273,38
1	Ephedra multiflora (Rica rica-Pingo pingo)	Muy Abierto	10-25	166,76
1	(Nica rica-r ingo pingo)	Ralo	5-10	107,54
	Subtota	ıl		547,68
		Semidenso	50-75	23,0
	Matorral de <i>Atriplex atacamensis –</i> <i>Atriplex imbricata</i> (Cachiyuyo - Ojalar)	Abierto	25-50	757,41
2		Muy abierto	10-25	726,02
	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	Ralo	5-10	562,69
	Subtota	ıl		2.069,12
		Denso	75-100	99,24
	Makasadala	Semidenso	50-75	674,78
2	Matorral de Tessaria absinthioides	Abierto	25-50	2.854,31
3	(Brea)	Muy abierto	10-25	2.379,04
		Ralo	5-10	2.026,14
	Subtota	al		8.033,51
4	Matorral de <i>Tiquilia atacamensis</i> (Káuchal)	Muy abierto	10-25	651,69
	Subtota	ıl		651,69
		Denso	75-100	154,37
	Dradara de	Semidenso	50-75	265,78
_	Pradera de  Distichlis spicata	Abierto	25-50	418,62
5	(Grama salada)	Muy abierto	10-25	937,27
		Ralo	5-10	421,54
	Subtota	nl		2.197,58



geobiota

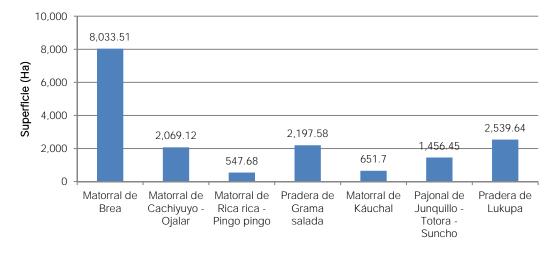
Tabla 5-1. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama.

Nº	Formación	Cobertura	Cobertura (%)	Superficie (Ha)	
		Denso	75-100	304,14	
	Pajonal de <i>Juncus balticus -</i>	Semidenso	50-75	242,87	
	Schoenoplectus americanus - Baccharis juncea (Junquillo -	Abierto	25-50	470,68	
6	Totora – Suncho)	Muy abierto	10-25	233,35	
		Ralo	5-10	205,41	
	1.456,45				
		Semidenso	50-75	742,86	
	Pradera de	Abierto	25-50	696,64	
7	Cistanthes sp. (Lukupa)	Muy abierto	10-25	1.003,10	
		Ralo	5-10	97,04	
	2.539,64				
	Total				

Fuente: Elaboración propia.

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: Elaboración propia





# 5.2 Monitoreo de la vegetación en Zona de Conexión vegetaciónacuífero

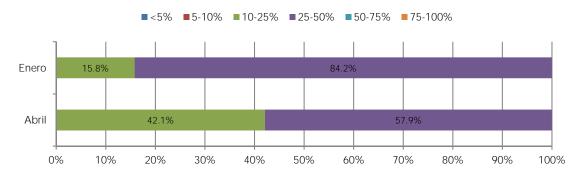
Se presentan y analizan las caracterizaciones de las unidades vegetacionales que presumiblemente se encuentran en la zona de contacto entre la napa subterránea y el sistema radicular de la formación arbustiva de *Tessaria absinthioides* (Brea), realizadas en los meses de enero y abril.

# 5.2.1 Cobertura vegetacional

La Figura 5-5 y Tabla 5-2 muestran los resultados obtenidos de las mediciones de cobertura en enero y abril de 2019 en la zona de conexión vegetación-acuífero. El detalle de las descripciones vegetacionales se entregan en el Anexo III.

Las descripciones de la vegetación en los monitoreos de enero y abril determinaron coberturas vegetales muy abiertas y abiertas (10-25% y 25-50% respectivamente). Los resultados muestran que en ambas evaluaciones, la mayor parte de los registros identificó coberturas abiertas (25-50% de recubrimiento). Al comparar los registros de enero y abril de 2019, se reconoce que la proporción de unidades vegetacionales con cobertura abierta, pasa de 84,2% a 57,9%, por lo cual en abril aumentó la proporción de unidades vegetacionales con cobertura muy abierta (10-25% de recubrimiento) (Figura 5-5).

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



Valor señalado corresponde a la proporción (%) sobre la base de un total de 19 descripciones. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-2. Total de puntos de monitoreo por categoría de cobertura de la vegetación. Zona de conexión vegetación-acuífero. Mediciones de enero y abril de 2019.

Cabantuna	Enero		Abril		
Cobertura	Puntos de monitoreo	(%)	Puntos de monitoreo	(%)	
<5%	-	-	-	-	
5-10%	-	-	-	-	
10-25%	3	15,8	8	42,1	
25-50%	16	84,2	11	57,9	
50-75%	-	-		-	





Tabla 5-2. Total de puntos de monitoreo por categoría de cobertura de la vegetación. Zona de conexión vegetación-acuífero. Mediciones de enero y abril de 2019.

Cobertura	Enero		Abril		
Copertura	Puntos de monitoreo	(%)	Puntos de monitoreo	(%)	
75-100%	-	-	-	-	
Total	19	100	19	100	

#### 5.2.2 Estado vital

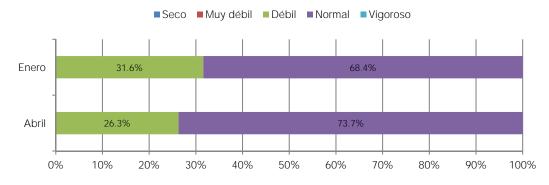
La Figura 5-6 y Tabla 5-3 muestra los resultados obtenidos en cuanto a la vitalidad de los matorrales de *Tessaria absinthioides* (Brea), monitoreados en la zona de conexión vegetación-acuífero para el presente año.

Los registros de vitalidad obtenidos en enero y abril de 2019 se distribuyen entre la categoría débil o normal.

En enero un 68,4% (13 de los 19 puntos de muestreo) presentaron una vitalidad considerada normal y el 31,6% restante (6 registros) presentó vitalidad débil. Por su parte, las mediciones realizadas en abril mostraron que el 73,7% (14 de 19 puntos de muestreo) presentó una vitalidad normal, en tanto que el 26,3% restante (5 registros) presentaron una vitalidad catalogada como débil.

Al comparar los registros de enero y abril de 2019, se aprecia un incremento de las unidades vegetacionales con vitalidad en la categoría normal, pasando de 68,4% a 73,7%.

Figura 5-6. Clasificación de los puntos de muestreo en la zona de conexión vegetación-acuífero, por categorías de vitalidad de la vegetación. Campañas de enero y abril de 2019.



Fuente: Elaboración propia





Tabla 5-3. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de vitalidad.

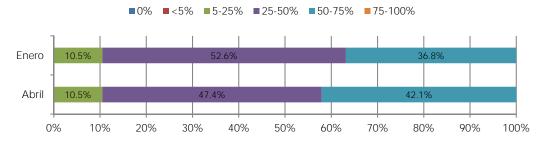
Año de	Mes de		Total				
monitoreo	monitoreo	Seco	Muy débil	Débil	Normal	Vigoroso	Total
2010	Enero	0	0	6	13	0	19
2019	Abril	0	0	5	14	0	19

# 5.2.3 Porcentaje de copa viva

La Figura 5-7 y Tabla 5-4 muestra los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de copa viva de los tipos vegetacionales monitoreados en la zona de conexión vegetación-acuífero para el presente año.

Los resultados obtenidos en enero muestran que los registros se concentran en las categorías de 25-50% y 50-75%, con 10 y 7 registros respectivamente. Los resultados de abril muestran un aumento del 5,3% respecto al mes de enero en la categoría de 50-75%. Las observaciones de copa viva entre 5-25% se mantienen en ambas campañas con un 10,5% (equivalente a dos registros).

Figura 5-7. Clasificación de los puntos de muestreo en la zona de conexión vegetación-acuífero, por porcentaje de copa viva. Campañas de enero y abril de 2019.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-4. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Porcentaje de copa viva. Campañas enero-abril de 2019.

Año de Mes de		Porcentaje de copa viva						Total
monitoreo	monitoreo	0%	<5%	5-25%	25-50%	50-75%	75-100%	Total
2010	Enero	0	0	2	10	7	0	19
2019	Abril	0	0	2	9	8	0	19

Fuente: Elaboración propia

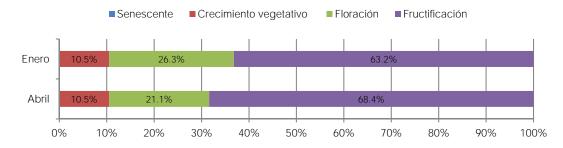
# 5.2.4 Estado fenológico

La Figura 5-8 y Tabla 5-5 muestra los resultados obtenidos en cuanto al estado fenológico de los tipos vegetacionales monitoreados en la zona de conexión vegetación-acuífero para el presente año.



geobiota

Figura 5-8. Clasificación de los puntos de muestreo en la zona de conexión vegetación-acuífero, por categorías de fenología de la vegetación. Campañas de enero y abril de 2018.



Fuente: Elaboración propia

En el monitoreo ejecutado en el mes de enero se identifica que las plantas se encuentran en desarrollo de sus procesos reproductivos, donde las fases fenológicas de floración y fructificación son las más abundantes. Para el mes de abril, se identifica el final del proceso reproductivo, donde 13 de los 19 puntos (68,4%) se identificaron en la fase fenológica de fructificación.

Al comparar los registros obtenidos en terreno en los meses de enero y abril se aprecia que en abril disminuye la proporción de ejemplares con presencia de floración y se incrementa la proporción de ejemplares con fructificación.

Tabla 5-5. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Etapa fenológica. Campañas enero-abril de 2019.

Año de		Etapa fenológica				
monitoreo	Mes	Senescente	Crecimiento vegetativo	Floración	Fructificación	Total
2010	Enero	0	2	5	12	19
2019	Abril	0	2	4	13	19

Fuente: Elaboración propia.





# 5.3 Monitoreo de algarrobos en el sector Pozo Camar-2

En esta sección se exponen los resultados de las mediciones de Vitalidad, Porcentaje de copa viva (%), fenología y daño por agentes externos, efectuadas durante abril de 2019 en la población de Algarrobos (*Prosopis alba*) ubicada en las inmediaciones del pozo Camar 2. El Anexo VI y VII contiene los datos y registros fotográficos de cada ejemplar evaluado durante la presente campaña de terreno.

Los resultados aquí expuestos corresponden a las mediciones de los ejemplares que fueron identificados y rotulados desde la campaña de terreno efectuada en 2006 y que forman parte del monitoreo de la vegetación contemplado en la RCA N°226/2006.

Cabe destacar que los valores porcentuales contemplan solo a los individuos existentes en terreno a la fecha, descontando de los análisis aquellos ejemplares desaparecidos o desprendidos por acción de aluviones u otra afectación en distintos periodos.

Del universo de 71 ejemplares objeto de estudio identificados en el año 2006 en los alrededores del pozo Camar 2, 59 se encuentran en pie y en condiciones de ser analizados, siendo el universo de ejemplares a la fecha. Mientras que 12 han sido registrados como desaparecidos.

De estos 12 ejemplares desaparecidos, cuatro (4) se produjeron en las temporadas previas al 2019, tal como se aprecia en la Tabla 5-6. Mientras que en el periodo 2019, desaparecieron 8 ejemplares por efectos de las escorrentías superficiales provenientes de la quebrada Camar en épocas estivales. De estos ejemplares, cuatro se encontraban con algún grado de vitalidad y cuatro, secos.

En la Tabla 5-6, se complementa esta información, con la fecha e identificación de los árboles desaparecidos y en la Figura 5-9 se muestran algunos ejemplos de ejemplares desaparecidos. Mientras que las fotografías de los árboles afectados están disponibles en el Anexo VI.

Tabla 5-6. Individuos desaparecidos o desprendidos en el periodo de monitoreo.

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 primer monitoreo (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 primer monitoreo (2006)
A-62	2019	Seco	Normal en 2007, seco desde el 2008



Figura 5-9. Ejemplo de algunos árboles afectados por aluvión en quebrada Camar, Fotografía período 2018 y 2019.

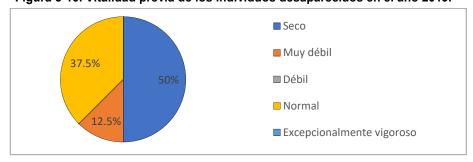
A01

A02

A32

La Figura 5-10 ilustra el estado de vitalidad de individuos previo al desprendimiento o desaparición. Se observa que el 50% de estos registros muestran ejemplares secos al momento del evento, el 37,7% lo hacía con vitalidad normal y un 12,5% se encontraba en la categoría muy débil.

Figura 5-10. Vitalidad previa de los individuos desaparecidos en el año 2019.







# 5.3.1 Vitalidad

La población de algarrobos existente a la fecha (2019) comprende un total de 59 individuos, de los cuales el 40,7% (24 individuos) presenta una vitalidad normal y un 49,2% (29 individuos) se encuentran secos. Un porcentaje menor de los ejemplares se ubican en las categorías excepcionalmente vigoroso y débil, con un 3,4% y 6,8% respectivamente. No se registraron individuos en la categoría muy débil.

Cabe destacar la existencia de 12 individuos desaparecidos debido a escorrentías provenientes de la quebrada Camar durante temporadas estivales (Figura 5-11).

Figura 5-11. Vitalidad de los ejemplares de Algarrobos en el área del pozo Camar 2.

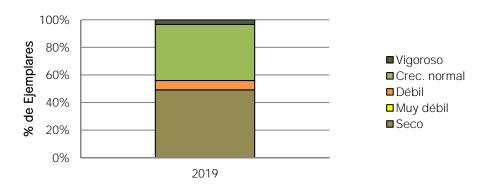


Tabla 5-7. Vitalidad de los ejemplares de Algarrobos en el área del pozo Camar 2.

Estado Vital	Nº de árboles	% de Individuos <sup>14</sup>
Seco	29	49,15
Muy débil	0	0,00
Débil	4	6,78
Crecimiento normal	24	40,69
Excepcionalmente vigoroso	2	3,39
Sub-total existentes a abril 2019	59	100,00
Sub-total desaparecidos	12	-
Total histórico	71	-

# 5.3.2 Copa Viva

Los resultados de las mediciones de copa viva realizadas sobre los Algarrobos en 2019 se muestran en la Figura 5-12 y en la Tabla 5-8.

En el detalle, un 59,84% de los algarrobos presentó algún grado de copa verde, el que incluye 7 individuos en la categoría 25-50%, 16 individuos con copa de 50-75%, 3 individuos con copa de 5-25% y 4 con copa de 75-100% y no se presentan ejemplares bajo el 5% de cobertura. El resto de los ejemplares (49,15%), no presentaron copa verde.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Porcentaje calculado respecto a 59 individuos, ya que a la fecha 12 se encuentran desaparecidos.



\_

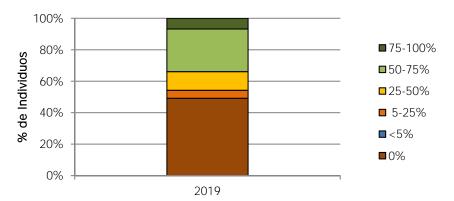


Figura 5-12. Proporción (%) de copa viva de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2.

Tabla 5-8. Proporción (%) de copa viva de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2.

% de copa viva	Nº de árboles	% de Individuos
0	29	49,15
<5	0	0,00
5-25	3	5,08
25-50	7	11,86
50-75	16	27,12
75-100	4	6,78
Sub-total existentes a abril 2019	59	100,00
Sub-total desaparecidos	12	
Total histórico	71	-

# 5.3.3 Fenología

En 2019, los individuos con crecimiento vegetativo como senescentes tuvieron una proporción del 42,2% de la muestra (29 individuos). Se registró un individuo en la etapa de fructificación (1,7%) y no se encontraron ejemplares con floración.

Los resultados de las mediciones de Fenología realizadas en abril de 2019 se muestran en la Figura 5-13 y en la Tabla 5-9.



geobiota

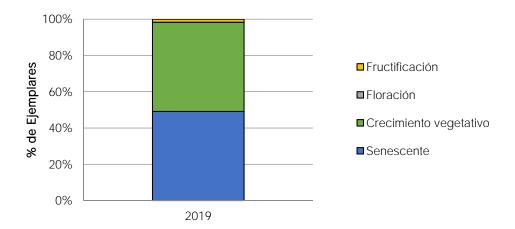


Figura 5-13. Fenología en los ejemplares de Algarrobos en el área del pozo Camar 2.

Tabla 5-9. Fenología en ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2.

Fenología	N° de árboles	% de individuos
Senescente	29	49,15
Crecimiento vegetativo	29	49,15
Floración	0	0,00
Fructificación	1	1,69
Sub-total existentes a abril 2019	59	100,00
Sub-total desaparecidos	12	
Total histórico	71	

# 5.3.4 Daño por efectos de tercero

Al igual que en los análisis anteriores, los cálculos se establecieron en referencia a los 59 individuos presentes en terreno, excluyendo a aquellos desaparecidos por aluviones (Tabla 5-10).

Los análisis muestran que 31 ejemplares (52,54%) no presentaron daño. Mientras que 27 ejemplares (45,76% del total) mostraron evidencias de ramoneo animal. Sólo un individuo evidenció daño animal y daño antrópico, tal como se presentan en la Figura 5-14 y Tabla 5-10.



Figura 5-14. Presencia de daño en los ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2.

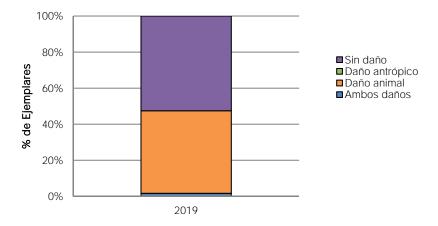


Tabla 5-10. Proporción (%) del tipo de daño en ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2.

Daño	N° de árboles	% de individuos		
Daño animal	27	45,76		
Daño antrópico	0	0,00		
Ambos daños (Animal y antrópico)	1	1,69		
Sin daño	31	52,54		
Sub-total existentes a abril 2019	59	100,00		
Sub-total desaparecidos	12			
Total histórico	71	-		





# 5.4 Flora

A continuación, se presentan los resultados del monitoreo del componente flora efectuado en el periodo 2019. El monitoreo comprende el seguimiento de la riqueza y abundancia de especies presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. Además, la evaluación del pH y salinidad del suelo en la zona de mayor desarrollo radicular de las plantas (suelo mineral superficial).

# 5.4.1 Riqueza florística

La riqueza florística registrada en el monitoreo del año 2019 fue de 35 taxa. Estos se agruparon en 17 familias, donde Poaceae fue la más representadas con 6 taxa. Se registraron 15 taxa fuera de los puntos de muestreo (FP).

Tabla 5-11. Riqueza de especies durante la campaña 2019.

Tipo de registro	División	Familia	Especie
		Montiaceae	Cistanthe celosioides
		Zygophyllaceae	Tribulus terrestris
			Ambrosia artemisioides
		Asteraceae	Baccharis juncea
			Tessaria absinthioides
		Boraginaceae	Tiquilia atacamensis
			Atriplex atacamensis
Puntos de muestreo		Chenopodiaceae	Atriplex imbricata
		Chenopodiaceae	Nitrophila atacamensis
	Magnoliophyta		Sarcocornia andina
Punios de muestreo	Iviagrioliopriyla	Cyperaceae	Schoenoplectus americanus
		Juncaceae	Juncus balticus
		Juncaginaceae	Triglochin concinna
		Malyacoao	Cristaria dissecta Var. Dissecta
		Malvaceae	Urocarpidium peruvianum
		Danasas	Distichlis spicata
		Poaceae	Festuca hypsophila
		Solanaceae	Exodeconus integrifolius
		Solaliaceae	Lycium humile
		Verbenaceae	Aloysia deserticola
		Brassicaceae	Neuontobotrys tarapacana
		Montiaceae	Cistanthe amaranthoides
		Worldaceae	Trichocline caulescens
Fuera de puntos de	Magnalianhyta	Boraginaceae	Cryptantha diffusa
muestreo	Magnoliophyta	Euphorbiaceae	Euphorbia amandi
			Hoffmannseggia doelli
		Fabaceae	Lupinus oreophilus
			Prosopis chilensis



Tabla 5-11. Riqueza de especies durante la campaña 2019.

Tipo de registro	División	Familia	Especie
		Faboideae	Adesmia rahmeri
		Juncaceae	Juncus balticus subsp mexicanus
			Aristida adscensionis
		Danasa	Eragrostis nigricans Var. punensis Nicora
		Poaceae	Munroa decumbens
			Puccinellia frigida
	Pinophyta	Ephedraceae	Ephedra multiflora

La Tabla 5-12 expone la clasificación de las taxa según hábito de crecimiento. Se observa que para los taxa registrados en los <u>puntos de muestreo</u>, el hábito arbustivo presentó mayor riqueza, identificándose 8 especies (40,0% del total de taxa). Mientras que, para las hierbas, se identificaron 6 hierbas perenne (30,0% del total de taxa), 5 hierbas anuales (25,0% del total de taxa) y sólo una especie catalogada como Hierba anual o perenne según Rodríguez *et al*, 2018, correspondiente a *Cristaria dissecta* Var. *dissecta*. No se observó ninguna especie suculenta en el periodo 2019.

Para los registros <u>fuera de punto de muestreo (FP)</u>, las hierbas perennes fueron las más abundantes y registraron 7 taxa (46,7% del total), el hábito Hierba anual presentó 6 registros (40,0% del total de taxa). Los hábitos arbóreos y arbustivos registraron 1 taxa cada uno (*Prosopis chilensis* y *Ephedra multiflora* respectivamente), lo que corresponde al 6,7% del total de taxa cada uno. No se observaron taxa con hábito suculento (Tabla 5-12).

Tabla 5-12. Hábito de crecimiento de la flora del Borde Este del Salar de Atacama.

Hábito de crecimiento	Punt	tos de muestreo	Fuera de puntos de muestreo			
Habito de crecimiento	N° de taxa	% de participación	N° de taxa	% de participación		
Árbol	0	0,0	1	6,7		
Arbusto	8	40,0	1	6,7		
Hierba perenne	6	30,0	7	46,7		
Hierba anual	5	25,0	6	40,0		
Hierba anual o perenne	1	5,0	-	-		
Suculento	-	-	-	-		
Total	20	100	15	100		

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al origen biogeográfico de la flora registrada en los <u>puntos de muestreo</u>, se identifican 16 taxa nativas (80% del total de taxa) y 3 especies endémicas (15% del total de taxa) y sólo una especie introducida (5% del total de taxa).

Por otro lado, de las taxa registradas <u>fuera de los puntos de muestreo</u>, 11 correspondieron a nativas (73,3% del total de taxa) y 4 especies Endémicas (26,7% del total de taxa). No se registran especies introducidas e indeterminadas (Tabla 5-13).



Tabla 5-13. Origen biogeográfico de la flora del Borde Este del Salar de Atacama.

Origon biogoográfico	Puntos	de muestreo	Fuera de puntos de muestreo			
Origen biogeográfico	N° de taxa % de participación		N° de taxa	% de participación		
Nativo	16	80,0	11	73,3		
Endémico	3	15,0	4	26,7		
Introducido	1	5,0	-	-		
Indeterminado	-	-	-	-		
Total	20	100	15	100		

# 5.4.2 Frecuencia y abundancia de la flora

En la Tabla 5-14 se presenta la frecuencia de las 20 especies registradas en los 75 puntos de muestreo correspondientes a la campaña de monitoreo abril y junio de 2019. La especie más frecuente corresponde a *Tessaria absinthioides* que fue registrada en 33 puntos de muestreo (44% del total de puntos de muestreo). En segundo lugar, se encuentra *Distichlis spicata*, presente en 25 puntos de muestreo (el 33,3% del total de puntos de muestreo), seguido por *Tiquilia atacamensis* en 15 puntos de muestreo (20% del total de puntos de muestreo), *Cistanthe celosioides* y *Atriplex atacamensis* se observan en 13 y 11 puntos de muestreo respectivamente (17,3% y 14.7% del total de puntos de muestreo cada uno).

Tabla 5-14. Frecuencia de las especies durante la campaña 2019.

N°	Especie	N° de puntos de muestreo	% del total de puntos de muestreo*
1	Aloysia desertícola	4	5,3
2	Ambrosia artemisioides	1	1,3
3	Atriplex atacamensis	11	14,7
4	Atriplex imbricata	1	1,3
5	Baccharis juncea	1	1,3
6	Cistanthe celosioides	13	17,3
7	Cristaria dissecta Var. Dissecta	1	1,3
8	Distichlis spicata	25	33,3
9	Exodeconus integrifolius	6	8,0
10	Festuca hypsophila	1	1,3
11	Juncus balticus	7	9,3
12	Lycium humile	4	5,3
13	Nitrophila atacamensis	5	6,7
14	Sarcocornia andina	1	1,3
15	Schoenoplectus americanus	1	1,3
16	Tessaria absinthioides	33	44,0
17	Tiquilia atacamensis	15	20,0
18	Tribulus terrestres	1	1,3



geobiota

Tabla 5-14	Frecuencia	de las	especies	durante la	a campaña	2019
I abia 5-17.	i i ecuelicia	ue ias	CONCUICO	uui aiite i	a cambana	<b>2</b> 013.

N°	Especie	N° de puntos de muestreo	% del total de puntos de muestreo*
19	Triglochin concinna	1	1,3
20	Urocarpidium peruvianum	1	1,3

<sup>\*</sup>Calculado en base a los 75 puntos de muestreo.

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo IV se entrega el detalle de cobertura por especie registrado en la campaña 2019.

# 5.4.3 Caracterización del pH del sustrato

En la presente sección se presentan los resultados de la caracterización del pH del sustrato reportada para el año 2019. De acuerdo con la legislación actual, los ensayos de pH se deben realizar a través de una ETFA con certificación vigente según lo dispuesto por la Resolución Exenta N° 986/2016. A raíz de esto, se enviaron las muestras al laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A.

De manera complementaria, se enviaron muestras tomadas desde los mismos puntos al laboratorio Agroanálisis UC. Dicha decisión tiene por objeto dar continuidad al análisis histórico de la variable y mantener la trazabilidad histórica del monitoreo, en vista que, este laboratorio ha realizado estos análisis desde el año 2012. A esto se agrega que, el método de evaluación del pH utilizado por la ETFA ALS S.A es distinto al utilizado por laboratorio Agroanálisis UC, haciendo que las muestras analizadas bajo criterios ETFA no sean comparables con los registros históricos

En las secciones precedentes, se presentan los resultados de la caracterización del pH del sustrato a partir de los análisis de los Laboratorios indicados previamente.

# 5.4.3.1 ALS Life Sciences Chile S.A. (ETFA)

El pH reportado por el Laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A. varió entre las categorías ligeramente ácido a muy fuertemente alcalino para 74 de los 75 puntos de muestreo (Tabla 5-15). El sustrato registró en 30 puntos de muestreo (40%) un pH fuertemente alcalino, en 21 puntos de muestreo (28%) registró un pH moderadamente alcalino, en 8 puntos de muestreo (10,7%) un pH ligeramente alcalino, en 7 puntos de muestreo (9,3%) se detectó un pH muy fuertemente alcalino, en 6 puntos se registró un pH neutro (8%) y en dos puntos se registró un pH Ligeramente ácido.

Cabe destacar que en un punto de muestreo (TF2 – 01), el valor reportado de pH fue Extremadamente ácido (3,5 – 4,4), correspondiente al 1,3% del total de muestras analizadas. Este valor se aleja de los rangos habituales para la zona y difiere de los resultados reportados para el resto del transecto y los transectos aledaños. Estos datos fueron consultados y corroborados con ALS Life Sciences Chile. (ETFA), pudiendo deberse a condiciones puntuales del lugar de la toma de muestra o un error metodológico en la extracción de esta en terreno.

Tabla 5-15. Rangos de pH del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio ALS Life Sciences.

Categorías de pH	рН	Color	Nº de puntos 2019	% Año 2019





Total	. 7,0	, 75	100
Muy fuertemente alcalino	> 9.0	7	9,3
Fuertemente alcalino	8,5 - 9,0	30	40,0
Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4	21	28,0
Ligeramente alcalino	7,4 – 7,8	8	10,7
Neutro	6,6 – 7,3	6	8,0
Ligeramente ácido	6,1 – 6,5	2	2,7
Moderadamente ácido	5,6 - 6,0	-	-
Fuertemente ácido	5,1 – 5,5	-	-
Muy fuertemente ácido	4,5 – 5,0	-	-
Extremadamente ácido	3,5 – 4,4	1	1,3

Fuente: Schoeneberger et al., 2002.

La Tabla 5-16 presenta el valor de pH obtenido en el laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A para los transectos de muestreo de flora, desde el margen al núcleo del Salar (lectura de izquierda a derecha).

Tabla 5-16. Distribución de rangos de pH en los transectos de muestreo de flora. Laboratorio ALS Life Sciences.

							ŗ	H en	punt	os de	mue	strec	)												
Transectos	Margen del salar Núcleo del salar										Margen del salar			Margen del salar Núcleo del salar									r		
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19						
TF1	6,8	8,1	8,9	8,4	8,7	8,3	8,9	8,6	9,0	8,8	8,9	8,9	8,9	8,8	8,8	9,7	9,3	8,9	8,8						
TF2	4,2	7,9	8,5	7,5	8,5	8,7	8,9	9,2	9,2	8,5	8,7	8,8	8,8	8,7											
TF3	8,1	7,1	8,5	8,3	8,3	9,1	8,7	8,0	7,6	8,2															
TF4	8,8	8,3	8,1	8,6	7,6	8,7	9,0	8,3	8,5																
TF5	7,8	8,3	8,5	6,4	7,8	8,2	8,1	7,9	7,5	6,7	6,7	6,1	7,3	7,7											
TF6	8,0	8,4	8,3																						
TF7	8,8	8,7	7,1	8,1	7,5	8,4																			

Fuente: Elaboración propia.

### 5.4.3.2 Agroanálisis UC (complementario)

Los resultados de pH desarrollados por el Laboratorio Agroanálisis están presentados en la Tabla 5-17. Las muestras de suelo variaron su pH entre las categorías neutro a muy fuertemente alcalino. El sustrato registró en 43 puntos de muestreo (57,3%) un pH moderadamente alcalino, en 16 puntos de muestreo (21,3%) se obtuvo un pH fuertemente alcalino, en 13 puntos de muestreo (17,3%) fue ligeramente alcalino, en dos casos (2,7%) el pH alcanzó la categoría muy fuertemente alcalina y en solo un caso el pH de la muestra alcanzó el pH Neutro.





Tabla 5-17. Rangos de pH del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio Agroanálisis UC

Categorías de pH	рН	Color	Nº de puntos 2019	% Año 2019
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		1	1,3
Ligeramente alcalino	7,4 – 7,8		13	17,3
Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4		43	57,3
Fuertemente alcalino	8,5 – 9,0		16	21,3
Muy fuertemente alcalino	> 9,0		2	2,7
Total			75	100

Fuente: Schoeneberger et al., 2002.

La Tabla 5-18 presentan los valores de pH obtenidos del laboratorio Agroanálisis UC para los transectos de muestreo de flora, estos se presentan desde el margen al núcleo del Salar (lectura de izquierda a derecha).

Tabla 5-18. Distribución de rangos de pH en los transectos de muestreo de flora. Laboratorio Agroanálisis UC

		pH en puntos de muestreo																	
Transectos				Ма	rgen	del s	alar				Núcleo del salar								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
TF1	7,2	8,5	8,7	8,7	8,6	8,2	8,6	8,0	8,3	8,1	8,3	8,4	8,0	8,0	7,9	8,0	9,0	8,1	9,0
TF2	7,6	8,2	8,1	7,9	8,4	8,5	8,5	8,8	8,8	8,2	8,0	7,8	7,9	8,0					
TF3	8,0	7,8	8,5	8,2	8,2	8,8	8,2	8,9	8,1	7,9									
TF4	8,2	8,2	8,0	8,4	8,0	8,6	8,5	8,0	8,2										
TF5	8,1	8,5	8,2	7,8	7,9	8,1	7,7	8,0	7,9	7,8	7,7	7,9	7,7	7,8					
TF6	7,8	7,9	8,0																
TF7	8,5	7,8	7,8	7,9	7,9	7,8													

Fuente: Elaboración propia.

# 5.4.4 Caracterización de la salinidad del sustrato

Del mismo modo que para la caracterización del pH del sustrato, los ensayos de salinidad se deben realizar a través de una ETFA con certificación vigente según lo dispuesto por la Resolución Exenta N° 986/2016. A raíz de esto, se enviaron las muestras al laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A.





Junto con esto, se enviaron muestras tomadas desde los mismos puntos al Laboratorio Agroanálisis UC, conforme se ha realizado desde el año 2012 en adelante. Esto debido a que las metodologías que emplean ambos laboratorios para la determinación de la salinidad son distintas, y por lo tanto no son comparables. También tienen por objetivo mantener la trazabilidad de los datos.

# 5.4.4.1 ALS Life Sciences Chile S.A. (ETFA)

En la Tabla 5-19 se resumen los resultados obtenidos para la salinidad medidos por el Laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A, para el muestreo de abril de 2019. Los resultados indican que los puntos de muestreo registran sustratos fuertemente salinos. En 52 puntos de muestreo (69,3% del total) se reporta una salinidad superior a 6,07 dS/m, catalogando estas muestras como Fuertemente salinas. En 15 puntos de muestreo (20% del total) la CE indico suelos Moderadamente alcalinos y en 8 puntos de muestreo (10,7% del total) se registraron suelos Ligeramente salinos.

Tabla 5-19. Rangos de conductividad eléctrica del suelo en transectos de muestreo de flora. Laboratorio ALS Life Sciences

Categorías de salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	Color	Nº de puntos 2019	% Año 2019
No salino	0 – 0,98		-	-
Muy ligeramente salino	0,98 – 1,71		-	-
Ligeramente salino	1,71 – 3,16		8	10,7
Moderadamente salino	3,16 – 6,07		15	20,0
Fuertemente salino	> 6,07		52	69,3
TOTAL			75	100

Fuente: USDA NRCS, 2001.

La Tabla 5-20 presenta los valores obtenidos en el Laboratorio ALS Life Sciences Chile S.A 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 5-20. Conductividad eléctrica obtenida en cada punto de muestreo de flora. Laboratorio ALS Life Sciences

							Co	nduct	ividad	d eléct	trica (	dS/m	)						
Transecto					Marg	en de	l sala	r			Núcleo del salar								
	01	02	03	04	05	06	07	80	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
TF1	2,24	7,32	6,29	22,32	7,22	13,13	17,27	7,45	10,87	16,04	16,30	18,86	12,36	4,70	3,63	5,79	15,29	6,48	18,33
TF2	2,39	15,61	7,53	10,67	2,08	5,98	22,97	7,71	16,67	23,89	16,98	14,16	5,06	2,93					
TF3	3,70	5,82	12,82	2,96	8,88	13,02	11,81	12,65	10,67	4,38									
TF4	3,62	3,13	3,99	12,54	12,51	24,05	18,78	8,79	4,19										
TF5	7,19	13,11	21,15	33,24	6,76	4,59	5,86	3,12	48,14	16,60	18,05	11,65	14,32	8,94					
TF6	17,25	6,27	5,47																
TF7	54,31	6,45	15,99	4,86	6,82	2,94													

Fuente: Elaboración propia.





# 5.4.4.2 <u>Agroanálisis UC (Complementario)</u>

En la Tabla 5-21 se resumen los resultados obtenidos para la salinidad, medidos por medio de la conductividad eléctrica (CE) en abril 2019. Los resultados del laboratorio Agroanálisis UC indican que en 67 puntos de muestreo de flora (89,3%) se desarrollan en un sustrato fuertemente salino, registrándose valores de salinidad superior a los 6,07 dS/m. Mientras que en 3 puntos de muestreo el suelo se registró moderadamente salino y en 4 muestra se registró ligeramente salino. Sólo en un punto de monitoreo no se identificó un suelo no salino (1,3% del total).

Cabe destacar que la muestra de suelo que registró salinidad No salina corresponde al TF2-01, muestra en la que se estimó que los valores medidos de pH eran anormales según la medición del laboratorio ALS Life Sciences.

Tabla 5-21. Rangos de conductividad eléctrica del suelo en transectos de muestreo de flora.

Categorías de salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	Color	Nº de puntos 2019	% Año 2019
No salino	0 – 0,98		1	1,3
Muy ligeramente salino	0,98 – 1,71		-	-
Ligeramente salino	1,71 – 3,16		4	5,3
Moderadamente salino	3,16 – 6,07		3	4,0
Fuertemente salino	> 6,07		67	89,3
TOTAL			75	100

Fuente: USDA NRCS, 2001.

La Tabla 5-22 presenta los valores obtenidos en el Laboratorio Agroanálisis para la medición de C.E. 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 5-22. Conductividad eléctrica obtenida en cada punto de muestreo de flora.

							Co	nduc	tividad	d eléc	trica (	dS/m)							
Transecto					Marge	en 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	2,38	38,80	10,93	29,89	12,90	16,50	28,56	7,88	11,21	15,73	23,66	23,36	13,57	6,30	2,10	2,71	42,10	11,75	24,61
TF2	0,81	10,22	62,20	15,17	44,40	36,00	15,98	13,91	7,02	2,31	8,08	11,90	32,20	15,30					
TF3	16,80	26,10	20,90	22,90	20,20	4,96	9,68	12,65	4,99	14,61									
TF4	6,49	59,80	68,70	6,67	9,73	19,60	23,70	57,10	24,30										
TF5	9,84	10,30	9,39	5,39	26,70	29,30	32,70	12,40	27,90	19,10	27,60	9,62	10,70	13,70					
TF6	23,90	13,00	25,90																
TF7	46,60	45,50	22,70	19,00	15,30	6,70									•				

Fuente: Elaboración propia





# 5.5 Fauna

# 5.5.1 Riqueza y caracterización de especies

En la campaña de abril-junio 2019, se registraron 24 especies: 2 reptiles, 17 aves y 5 mamíferos (Anexo X). Todas las especies consideradas son nativas, donde dos de ellas son endémicas y pertenecen a la clase Reptilia (*Liolaemus constanzae* y *L. fabiani*). Por su parte, 10 especies se encuentran clasificadas en categoría de conservación: nueve por el Reglamento de Clasificación de Especies y una de acuerdo con el Reglamento de Ley de Caza (D.S. N° 05/98).

En el área de estudio no existen registros o estudios de especies introducidas, aun cuando se han observado 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.

# 5.5.2 Abundancia de Reptiles

La abundancia de reptiles se presenta en la Tabla 5-23. A diferencia del monitoreo anterior, se observó una mayor abundancia y presencia en los transectos de *Liolaemus constanzae* (lagartija de Constanza) con una abundancia promedio de 1,1 (ind/transecto), mientras que la especie *Liolaemus fabiani* (lagartija de Fabian) fue detectada con una abundancia promedio de 0,7 (ind/transecto).

En el caso de *L. constanzae*, fue registrada en los sectores de Vega de Carvajal, Cruce Camar, Aguas de Quelana y Cruce SQM. Los hábitats en los cuales se constató su presencia durante la presente temporada fueron los ambientes de Rica rica-Pingo pingo, Brea-Cachiyuyo y Pajonal, siendo registrada en 7 de los 17 transectos prospectados. La abundancia promedio para *L. constanzae* varió entre 0,3 y 2,7 individuos/transecto.

Por su parte, *L. fabiani* fue registrada en 6 de los 17 transectos realizados, detectándose en los sectores: Vega de Carvajal, Cruce Camar, Aguas de Quelana y Cruce SQM. Esta especie fue observada solo en los ambientes de Pajonal y Marginal Salar. Al igual que en temporadas anteriores, su presencia en estos dos hábitats, indican que su actividad se encuentra asociada principalmente a los bordes de cuerpos de agua (lagunas) y/o a costras salinas. La abundancia promedio para *L. fabiani* varió entre 0,3 y 1,3 individuos/transecto.

A diferencia del monitoreo anterior, durante esta campaña no se registró la presencia de *Liolaemus puna* (lagartija de la Puna). Esto puede deberse principalmente a que el área de estudio se encuentra al sur de su límite de distribución (Mella, 2017) y sus frecuencias van disminuyendo al alejarse de su terra típica. Durante la campaña anterior *L. puna* fue detectada solo en el sector de Cruce Camar en simpatría con *L. constanzae* y *L. fabiani* en un ambiente de Pajonal. Este registro corresponde solo un ejemplar con una abundancia de 0,3 (ind/transecto) lo que confirma una muy baja abundancia para el área de estudio. Cabe mencionar que esta especie fue registrada en las campañas de monitoreo solo a partir del año 2015.

Tabla 5-23. Abundancias de reptiles en el Borde Este del Salar de Atacama.

Sector	Transecto	N	Hábitat	Especies observadas	Abundancia (*)
	1	3	Rica rica-Pingo pingo	L. constanzae	2,7
Vega de Carvajal	2	3	Brea-Cachiyuyo	L. constanzae	0,3
	2	4	Daional	L. fabiani	0,8
	3 4		Pajonal	L. constanzae	0,5



Tabla 5-23. Abundancias de reptiles en el Borde Este del Salar de At	acama.
--	--------

Sector	Transecto	N	Hábitat	Especies observadas	Abundancia (*)
	4	3	Marginal Salar	L. fabiani	0,3
	5	4	Rica rica-Pingo pingo	L. constanzae	1,8
Cruce Camar	6	4	Brea-Cachiyuyo	Sin registros	0
	7	4	Pajonal	L. fabiani	0,5
	8	4	Marginal de Salar	Sin registros	0
	9	5	Rica rica-Pingo pingo	L. constanzae	0,9
Aguas de	10	4	Brea-Cachiyuyo	Sin registros	0
Quelana(**)	11	3	Pajonal	L. fabiani	0,7
	12	3	Marginal de Salar	L. fabiani	1,3
	13	4	Rica rica-Pingo pingo	L. constanzae	1
	14	4	Brea-Cachiyuyo	Sin registros	0
Cruce SQM	15	,	Dalamal	L. fabiani	0,3
	15	6	Pajonal	L. constanzae	0,3
	16	1	Marginal de Salar	Sin registros	0
Laguna Interna	17	1	Salar	Sin registros	0

<sup>(\*)</sup> Número promedio de ejemplares registrados en N transectos de 300 m.

# 5.5.3 Abundancia de avifauna

# 5.5.3.1 <u>Abundancia de aves en ambientes terrestres</u>

Durante la temporada de abril-junio de 2019, a partir de evidencia directa (avistamiento) e indirecta, se obtuvieron registros para aves en 8 de los 17 transectos realizados. Los avistamientos corresponden a diez especies (Tabla 5-24), entre las que se incluye la presencia de dos grupos de parinas en vuelo en el sector Vega de Carvajal en el ambiente Marginal de Salar.

De las diez especies avistadas en los transectos, tres corresponden a aves acuáticas (*Phoenicoparrus jamesi, Phoenicoparrus andinus* y *Oreopholus ruficollis*), mientras que las siete especies restantes son aves de ambientes terrestres. Las especies acuáticas fueron registradas en ambiente Marginal de Salar y Rica rica – Pingo pingo (Vegas de Carvajal), en tanto que las especies terrestres fueron avistadas en los ambientes de Pajonal (Vegas de Carvajal), Rica rica – Pingo pingo y Brea - Cachiyuyo (Cruce Camar), Brea – Cachiyuyo (Agua de Quelana) y Rica rica – Pingo pingo y Brea - Cachiyuyo (Cruce SQM) (Tabla 5-24). Las abundancias de aves en ambientes terrestres variaron entre los 0,3 y 5 individuos/transecto, contabilizando un total de 81 ejemplares avistados en los transectos.

Tabla 5-24. Abundancia de aves en ambientes terrestres en el Salar de Atacama.

Sector	Transecto	N	Hábitat	Especies observadas	Abundancia (*)
Vega de Carvajal	1	3	Rica rica-Pingo pingo	Oreopholus ruficollis	2,7



<sup>(\*\*)</sup> Durante la campaña 2019, el monitoreo en el sector de Aguas de Quelana se realizó en el mes de junio.



	2	3	Brea-Cachiyuyo	Sin registros	0
	3	4	Pajonal	Anthus correndera	2
	3	4	Pajonai	Circus cinereus	0,3
	4	3	Marginal de Salar	Phoenicoparrus jamesi	4
	4	3	iviarginal de Salai	Phoenicoparrus andinus	5
	5	4	Rica rica-Pingo pingo	Metriopelia melanoptera	2,5
Cruce Camar	6	4	Brea-Cachiyuyo	Athene cunicularia	1
Cruce Camai	7	4	Pajonal	Sin registros	0
	8	4	Marginal de Salar	Sin registros	0
	9 6		Rica rica-Pingo pingo	Sin registros	0
	10	4	Prog. Cookiyyya	Metriopelia aymara	0,5
Aguas de Ouelana**	10	4	Brea-Cachiyuyo	Muscisaxicola flavinucha	0,5
<u> </u>	11	3	Pajonal	Sin registros	0
	12	3	Marginal de Salar	Sin registros	0
	13	4	Rica rica-Pingo pingo	Zonotrichia capensis	3,5
Cruce SOM	14	4	Brea-Cachiyuyo	Metriopelia aymara	1,3
Cruce SQM	15	6	Pajonal	Sin registros	0
	16	1	Marginal de Salar	Sin registros	0
Laguna Interna	17	1	Salar	Sin registros	0

<sup>(\*)</sup> Número promedio de ejemplares registrados en N transectos de 300 m.

## 5.5.3.2 <u>Abundancia de aves en ambientes acuáticos</u>

A continuación, se presentan los resultados generales de abundancia de aves en ambientes acuáticos obtenidos durante las campañas de monitoreo realizadas en abril-junio de 2019. En la sección i), se analiza la abundancia para toda el área de estudio, y posteriormente en las secciones ii), iii) y iv), se analiza la abundancia para los Sistemas Lacustres Soncor, Aguas de Quelana y Peine, respectivamente. En esta campaña no fue posible monitorear la laguna Interna perteneciente al sistema lacustre de Peine por lo que este informe incluye solo el monitoreo de lagunas saladas y saladita.

#### Abundancias de aves en ambientes acuáticos en el Borde Este del Salar de Atacama

En la presente temporada (2019), se avistó un total de 3.093 individuos pertenecientes a 9 especies, incluyendo un Passeriformes, *Pygochelidon cyanoleuca* (golondrina de dorso negro), detectada en la franja de vegetación palustre (i.e. juncal) (Tabla 5-25).

En términos de la riqueza de especies registrada en los distintos sistemas lacustres prospectados, el Sistema de Soncor presenta seis especies, el Sistema de Aguas de Quelana siete especies y el Sistema Peine cinco especies. Por su parte, considerando la riqueza en los distintos cuerpos de agua dentro de los sistemas, la Laguna Chaxa en el sistema Soncor presenta seis especies, Burro muerto cinco especies, Barros negros tres especies y Puilar cinco especies. Aguas de Quelana presentó siete especies, mientras



<sup>(\*\*)</sup> Sector monitoreado en la campaña complementaria realizada en el mes de junio, pudiendo afectar el monitoreo al estar fuera del periodo en que aves migratorias permanecen en la región.

geobiota

que en la Laguna Salada y Laguna Saladita pertenecientes al Sistema Peine, se observaron cinco y una especie, respectivamente (Tabla 5-26).

Las especies más abundantes fueron registradas en el mes de junio 2019 y corresponden a *Phoenicoparrus andinus* (parina grande) con 966 individuos, *Phoenicopterus chilensis* (flamenco chileno) con 943 individuos, *Phoenicoparrus jamesi* (Parina chica) con 769 individuos y *Recurvirostra andina* (caití) con 158 individuos (Tabla 5-26).

Tabla 5-25. Abundancia de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama.

Especie	Número de ejemplares
Charadrius alticola	156
Chroicocephalus serranus	27
Phoenicoparrus andinus	966
Phoenicoparrus jamesi	769
Phoenicopterus chilensis	943
Recurvirostra andina	158
Anas flavirostris	5
Pygochelidon cyanoleuca	4
Lophonetta specularioides	3
Pollos de flamenco*	62
N° especies	9
N° individuos	3.093

<sup>\*</sup> Individuos juveniles y crías indeterminadas de los géneros *Phoenicopterus* y *Phoenicoparrus*.

Fuente: Elaboración propia



Tabla 5-26. Abundancia de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama Campaña 2019.

			Soncor				Peine	
Especies	Puilar	Chaxa	Barros Negros	Canal Burro Muerto	Aguas de Quelana <sup>1</sup>	Salada	Peine  Saladita  1 5 3	Interna
Charadrius alticola	12	80	15	35	14	-	-	-
Chroicocephalus serranus	-	25	2	-	-	-	-	-
Phoenicoparrus andinus	594	5	-	50	130	184	3	-
Phoenicoparrus jamesi	54	664	-	7	1	43	-	-
Phoenicopterus chilensis	106	726	-	70	26	15	-	-
Pollos de flamencos	-	-	-	-	-	62	-	-
Recurvirostra andina	16	58	18	55	8	3	-	-
Anas flavirostris	-	-	-	-	5	-	-	-
Lophonetta specularioides	-	-	-	-	-	3	-	-
Pygochelidon cyanoleuca	-	-	-	-	4	-	-	-
N° de especies por laguna	5	6	3	5	7	5	1	0
N° de especies por sistema			6		7		5	
N° de individuos	782	1.558	35	217	188	310	3	0

<sup>1</sup> Sector monitoreado en la campaña complementaria realizada en el mes de junio, pudiendo afectar el monitoreo al estar fuera del periodo en que aves migratorias permanecen en la región.





# ii. Abundancia de aves en el Sistema Lacustre Soncor

Considerando los cuatro sectores que conforman el Sistema Lacustre Soncor, se registraron seis especies de aves, con un total de 2.592 individuos. Este sistema presenta cierta heterogeneidad en cuanto a la riqueza y abundancia en las lagunas que lo conforman, pese a la cercanía entre los diferentes cuerpos de agua. De esta forma, en Laguna Chaxa se contabilizaron seis especies, seguido por Canal Burro Muerto y Puilar, donde ambas presentaron cinco especies, y finalmente en Laguna Barros negros se detectaron tres especies.

Al considerar el conjunto de cuerpos de aguas que conforman el Sistema Lacustre Soncor, la especie más abundante (registrada en junio 2019), fue *Phoenicopterus chilensis* (flamenco chileno) con 902 ejemplares, seguida por *Phoenicoparrus jamesi* (Parina chica) con 725 ejemplares y *Phoenicoparrus andinus* (Parina grande) con 649 ejemplares. Por su parte, *Recurvirostra andina* (caití) y *Charadrius alticola* (chorlo de la puna) registraron 147 y 142 ejemplares, respectivamente.

La Tabla 5-27 y Tabla 5-28 muestran el número de ejemplares registrados en el sector

Tabla 5-27. Abundancia de flamencos en Sistema Lacustre Soncor.

Especie	Ejemplares
Phoenicopterus chilensis	902
Phoenicoparrus andinus	649
Phoenicoparrus jamesi	725
Pollos de flamencos	0
Flamencos no determinados	0
Total	2.276

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-28. Abundancia de otras especies de aves en Sistema Lacustre Soncor.

Especie	Ejemplares
Charadrius alticola	142
Chroicocephalus serranus	27
Recurvirostra andina	147
Total	316

Fuente: Elaboración propia

# iii. Abundancia de aves en el Sistema Lacustre Aguas de Quelana

El sector Aguas de Quelana fue monitoreado en la campaña complementaria realizada en el mes de junio, en consideración a que la campaña de abril no se ejecutó en su totalidad debido a restricciones de ingreso





a la Reserva Nacional Los Flamencos<sup>15</sup>. En este escenario, cabe mencionar que, los resultados del monitoreo pueden presentar desviaciones respecto a los resultados de años anteriores por encontrarse fuera del periodo en que algunas aves migratorias permanecen en la región.

Los resultados indican que el sistema Aguas de Quelana presentó una riqueza de siete especies y un total de 188 ejemplares de aves, durante la campaña de junio. A nivel de especies, *Phoenicoparrus andinus* (parina grande) fue la más abundante, con 130 individuos, seguida de *Phoenicopterus chilensis* (flamenco chileno) con 26 individuos y *Charadrius alticola* (chorlo puna) con 14 individuos.

En el caso de *Phoenicoparrus jamesi* (parina chica) sólo fue posible registrar 1 ejemplar, durante la presente temporada realizada en junio de 2019.

La Tabla 5-29 y Tabla 5-30 muestran el número de ejemplares registrados en el sector.

Tabla 5-29. Abundancia de flamencos en Sistema Lacustre Aguas de Quelana. En la campaña complementaria de junio de 2019

Especie	Ejemplares
Phoenicopterus chilensis	26
Phoenicoparrus andinus	130
Phoenicoparrus jamesi	1
Pollos de flamencos	0
Flamencos no determinados	0
Total	157

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-30. Abundancia de otras especies de aves en Sistema Lacustre Aguas de Quelana. En la campaña complementaria de junio de 2019

Especie	Ejemplares
Anas flavirostris	5
Charadrius alticola	14
Pygochelidon cyanoleuca	4
Recurvirostra andina	8
Total	31

Fuente: Elaboración propia

## iv. Abundancias de aves en el Sistema Lacustre Peine

El Sistema Lacustre de Peine presentó una riqueza total de cinco especies de aves durante la temporada 2019. Se encontraron cinco especies en laguna Salada y solo una especie en laguna Saladita, mientras que en la laguna Interna no se pudo realizar este monitoreo.



15 Por parte de la Comunidad Atacameña de Toconao, conforme a protocolo de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, oficializado por CONAF mediante Res. Ex. N°56/2019 de la Dirección Regional de la Corporación Nacional Forestal.



No obstante, la mayor abundancia se evidenció en laguna Salada, con 310 ejemplares avistados, representados principalmente por parina grande y parina chica, a lo que se suma la presencia de 62 ejemplares de flamencos juveniles y crías (i.e. pollos de flamencos) cuya especie se encuentra indeterminada. Por su parte, en laguna Saladita se detectaron solo tres individuos de parina grande (Tabla 5-31).

A nivel de especies se observó una mayor abundancia de *Phoenicoparrus andinus* (parina grande) con 187 ejemplares, seguido por *Phoenicoparrus jamesi* (parina chica), con 43 individuos. Cabe mencionar que, al igual que en el año 2017 y 2018, en la laguna Saladita sólo hubo avistamientos de flamencos, no registrándose otras especies de aves.

Los resultados para el sector se muestran en la Tabla 5-31 y Tabla 5-32.

Tabla 5-31. Abundancia de flamencos en las Lagunas Salada y Saladita.

N° de ejemplares por especie						
Laguna	Phoenicopterus chilensis	Phoenicoparrus andinus	Phoenicoparrus jamesi	Pollos de flamencos	Flamencos no determinados	Total
Salada	15	184	43	62	-	304
Saladita	-	3	-	-	-	3
Total, Sistema Peine	15	187	43	62	0	307

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-32. Abundancia de otras especies de aves en las Lagunas Salada y Saladita. Campaña 2019.

N° de ejemplares por especie				
Laguna	Lophonetta specularioides	Recurvirostra andina	Total	
Laguna Salada	3	3	6	
Laguna Saladita	-	-	0	
Total, Sistema Peine	3	3	6	

Fuente: Elaboración propia

#### 5.5.4 Abundancia de mamíferos

#### 5.5.4.1 Abundancia de micromamíferos

Los resultados para las capturas de micromamíferos se presentan en la Tabla 5-33. En la temporada 2019 se capturaron micromamíferos no fosoriales, tanto en el sector de Vega de Carvajal como en Aguas de Quelana. Los registros de roedores fueron obtenidos en los tres hábitats muestreados: Rica rica-Pingo pingo, Brea-Cachiyuyo y Pajonal, donde las especies detectadas corresponden a *Abrothrix andinus* (laucha andina), *Eligmodontia puerulus* (lauchita de pie sedoso) y *Phyllotis xanthopygus* (lauchón orejudo) (Tabla 5-33).

En cuanto a las abundancias de ejemplares, en los ambientes de Brea-Cachiyuyo y Pajonal, hubo predominio de las especies *Eligmodontia puerulus*, *Abrothrix andinus* y *P. xanthopygus* con 29 individuos





capturados durante tres noches, mientras que en el ambiente de Rica rica-Pingo pingo se observó solo a la especie *Eligmodontia puerulus*, con 7 ejemplares capturados. Cabe mencionar que en los análisis se descartaron las recapturas de ejemplares para el cálculo de abundancia promedio.

Por otra parte, la presencia y actividad del roedor fosorial *Ctenomys fulvus* (tuco-tuco), se detectó a partir del registro de madrigueras activas y vocalizaciones, en los sectores de Vega de Carvajal y Aguas de Quelana durante la presente prospección. Con relación a la ocupación y preferencia de hábitat por parte de esta especie, fue detectado en los hábitats de 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.

Tabla 5-33. Abundancias de micromamíferos en el Borde Este del Salar de Atacama.

Sector	Transecto	Hábitat	Especies observadas	Abundancia promedio (*)
Aguas de Quelana	09	Rica rica-Pingo pingo	Eligmodontia puerulus	2,3
	02	Drog Coobings	Eligmodontia puerulus	2
Vana da Caminial	02	Brea-Cachiyuyo	Phyllotis xanthopygus	2,6
Vega de Carvajal		Deional	Abrothrix andinus	2,3
	03	Pajonal	Phyllotis xanthopygus	2,6

<sup>(\*)</sup> Valor promedio de ejemplares registrados durante tres días de muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.5.4.2 <u>Abundancia de macromamíferos</u>

El registro de macromamíferos obtenido mediante la identificación de improntas (huellas) en las estaciones de atracción olfativa, se presentan en la Tabla 5-34. Durante la presente temporada, se obtuvo registro solamente en una de las cuatro estaciones olfativas instaladas, siendo visitada por *Pseudalopex culpaeus* (zorro culpeo). Los rastros de zorro fueron observados en el sector Aguas de Quelana, en el hábitat de Brea-Cachiyuyo, a diferencia del 2018 donde no se registró su presencia en el sector. Para el caso de Vega de Carvajal no hubo evidencia de su presencia a través de estaciones olfativas.

Tabla 5-34. Índice de visitas de *Pseudalopex sp* (zorro) y observaciones de improntas en estaciones de atracción olfativa.

Sector	Transecto	Hábitat	% Visitas ( <i>Pseudalopex sp</i> )	Observaciones de improntas (otras especies)
Vega de	1	Rica rica-Pingo pingo	0	-
Carvajal	2	Brea-Cachiyuyo	0	-
Aguas de	9	Rica rica-Pingo pingo	0	-
Quelana	10	Brea-Cachiyuyo	33,3	-

Fuente: Elaboración propia.





Adicionalmente, durante la presente campaña se instalaron trampas cámara en estas cuatro estaciones, incorporando además dos estaciones en el hábitat de pajonal (Tabla 5-35). Con esto se logró obtener el registro de un zorro culpeo (*P. culpaeus*) en el sector de Aguas de Quelana, en el hábitat Brea-Cachiyuyo.

Tabla 5-35. Índice de visitas de *Pseudalopex sp* (zorro) mediante uso de Trampas Cámara.y observaciones de improntas en estaciones de atracción olfativa.

Sector	Transecto	Hábitat	% Visitas (Pseudalopex sp)	Observaciones de otras especies
	1	Rica rica-Pingo pingo	0	-
Vega de Carvajal	2	Brea-Cachiyuyo	0	-
	3	Pajonal	0	-
	9	Rica rica-Pingo pingo	0	-
Aguas de Quelana	10	Brea-Cachiyuyo	33,3*	-
	11	Pajonal	0	-

<sup>\*</sup>Identificado a nivel de especie (Pseudalopex culpaeus).

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que, a partir de registros obtenidos fuera de la metodología de estaciones olfativas y trampas cámara (i.e. durante las prospecciones y traslados en el área de estudio), se constató la presencia de ejemplares del género *Pseudalopex* a través de fecas y/o huellas en los cinco sectores estudiados: Vega de Carvajal, Cruce Camar, Aguas de Quelana, Cruce SQM y Peine. A partir de estos registros indirectos, se pudo constatar la presencia en un 100% del hábitat de Rica rica-Pingo pingo, en el 50% de los hábitats de Brea-Cachiyuyo y Marginal de Salar, y en el 25% de Pajonal. A diferencia de la temporada anterior, también fue posible obtener registros de zorro en el hábitat de Salar en el sector de Peine.





# 5.6 Biota acuática

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante abril de 2019 en la campaña N°13 de muestreo del Proyecto "Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama" de las variables de Biota Acuática correspondientes a los medios abiótico y biótico descritas anteriormente. Cabe señalar que no hubo acceso a la estación BM-1 del sector de Soncor¹6, mientras la estación Q-7 del sistema Aguas de Quelana y la estación PE-3 del sistema Peine se encontraron secas al momento de la prospección, por lo que no se realizaron mediciones ni toma de muestras en dichos sectores. Cabe indicar que en campañas anteriores estas estaciones de monitoreo también han sido detectadas sin agua superficial (Ver capítulo 6.5). Además, cabe mencionar también que, para los parámetros de biota acuática no se establecieron límites durante la evaluación ambiental.

#### 5.6.1 Medio Abiótico

La Tabla 5-36, presenta los resultados obtenidos durante el monitoreo correspondiente a abril de 2019. En ella, se entregan los valores de los parámetros de importancia limnológica medidos in situ en la columna de agua (temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, salinidad, conductividad del sedimento y del agua intersticial).

Tabla 5-36. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua de importancia limnológica medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	Estación de monitoreo	Temperatura (°C)	pH (unidad)	CE (mS/cm)	Salinidad (PSU)	O <sub>2</sub> Disuelto (mg/L)	Conductividad eléctrica del sedimento mS/cm	Conductividad eléctrica del agua intersticial mS/cm
	PU-1	13,59	8,27	18,41	10,96	6,76	16,14	46,81
	PU-2	15,94	8,43	19,30	11,54	8,10	7,66	38,40
Puilar	PU-3	9,59	8,84	23,33	14,12	7,38	17,40	43,01
	PU-4	4,39	8,25	39,94	25,06	6,84	15,30	67,43
	PU-5	7,88	8,54	43,25	27,65	7,85	16,32	39,30
	BM-1	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A	S/A
	CH-1	15,69	8,07	88,93	63,19	5,18	26,91	83,54
Soncor	BN-1	18,67	8,05	88,41	62,87	5,35	31,06	89,20
	BN-2	20,22	8,10	85,51	60,49	5,01	22,70	121,80
	BN-3	20,11	7,96	123,90	70,00	3,95	26,70	116,30
	Q-0	9,14	7,74	160,10	70,00	2,25	29,17	121,40
	Q-1	16,19	8,48	27,10	16,70	7,86	13,11	30,78
	Q-2	21,08	8,68	26,96	16,58	7,41	13,40	21,66
Aguas	Q-3	21,31	8,41	39,70	25,38	6,78	18,32	43,74
de	Q-4	17,52	8,08	190,10	70,00	1,98	39,18	50,36
Quelana	Q-5	17,51	8,76	24,17	14,73	8,98	19,89	21,84
	Q-6	12,84	8,14	28,96	17,94	6,94	23,18	22,46
	Q-7	-	-	-	-	-	-	-
	Q-8	19,11	8,17	16,78	9,90	7,65	13,34	15,34



<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Debido a restricciones de ingreso a áreas de la RN por parte de la Comunidad Atacameña de Toconao.

Tabla 5-36. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua de importancia limnológica medidos en
los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	Estación de monitoreo	Temperatura (°C)	pH (unidad)	CE (mS/cm)	Salinidad (PSU)	O <sub>2</sub> Disuelto (mg/L)	Conductividad eléctrica del sedimento mS/cm	Conductividad eléctrica del agua intersticial mS/cm
	Q-9	22,19	8,51	35,45	22,38	6,10	18,60	33,14
	PE-1	23,15	7,78	89,73	63,97	2,26	45,60	94,90
	PE-2	28,05	6,93	176,80	70,00	1,54	127,60	236,00
Peine	PE-3	-	-	-	-	=	-	-
	SA-1	17,58	8,58	39,79	25,47	5,61	56,10	55,50
	SA-2	16,66	7,55	39,56	25,31	6,06	47,10	48,30

## 5.6.1.1 <u>Temperatura</u>

El parámetro Temperatura, tanto en la columna de agua como en los sedimentos ha sido medido históricamente con la finalidad de ser un indicativo referencial al momento del muestreo, ya que debido a la gran oscilación que presenta durante el transcurso del día, esta variable no representa la temperatura media del día. 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 los valores de temperatura de la columna de agua en el Sector de Puilar variaron entre 4,39 y 15,94 °C (Tabla 5-37). El menor valor se registró en las estaciones de monitoreo PU-4 mientras que el mayor valor se midió en la estación PU-2. En el sector de Soncor la Temperatura varió entre 15,69 y 20,22 °C (Tabla 5-37). El menor valor se registró en la estación de monitoreo ubicada en la laguna Chaxa (CH-1), mientras que el mayor valor se midió en la estación ubicada en la laguna Barros Negros (BN-2). Para el sector Aguas de Quelana la Temperatura registrada durante la campaña de monitoreo de abril de 2019 varió entre 9,14 y 22,19 °C (Tabla 5-37). El menor valor se registró en la estación de monitoreo Q-0 mientras que el mayor valor se midió en la estación Q-9. Finalmente, para el sistema de Peine los valores de temperatura registrados durante abril de 2019 variaron entre 16,66 y 28,05 °C (Tabla 5-37). El menor valor se registró en la estación de monitoreo SA-2, en la laguna Saladita, mientras que el mayor valor se midió en la estación PE-2 en la laguna Interna.

Respecto a la variación en los valores de Temperatura entre los distintos sistemas hidrológicos, los coeficientes de variación indican una mayor homogeneidad de los valores de Temperatura en el Sector de Soncor, mientras que en los Sectores de Aguas de Quelana, Peine y Puilar existe una mayor variación y mayor heterogeneidad de los valores de Temperatura en las estaciones de muestreo (Tabla 5-37, Figura 5-15). En cuanto a la comparación entre sectores, esta fue realizada mediante un análisis estadístico no paramétrico para el contraste de medias denominado Kruskal – Wallis, donde se detectaron diferencias significativas ente los valores de Temperatura medidos en la actual campaña de monitoreo entre los distintos sitios muestreados (KW= 9,26 g.l.= 3, p= 0,0260). Estas diferencias se encontraron principalmente entre el sector de Puilar respecto al resto de los sectores ya que el sector de Puilar presentó los menores valores de temperatura.

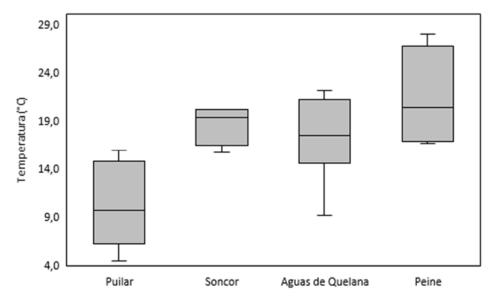




Tabla 5-37. Estadígrafos de la Temperatura medida en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°	Temperatura (°C)						
		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)	
Puilar	5	4,39	15,94	10,28	9,59	4,58	44,56	
Soncor	4	15,69	20,22	18,67	19,39	2,11	11,30	
Aguas de Quelana	9	9,14	22,19	17,43	17,52	4,26	24,44	
Peine	4	16,66	28,05	21,36	20,37	5,30	24,82	

Figura 5-15. Representación gráfica de los valores de Temperatura medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



Fuente: AquaExpert, 2019.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

#### 5.6.1.2 pH

Durante la actual campaña de monitoreo los valores de pH de la columna de agua en el Sector de Puilar variaron entre 8,25 y 8,84 unidades (Tabla 5-38), el menor valor se registró en la estación de monitoreo PU-4, mientras que el mayor valor se midió en la estación PU-3. En el sector de Soncor los valores de pH variaron entre 7,96 y 8,10 unidades (Tabla 5-38). El menor valor se registró en la estación de monitoreo ubicada en el canal Barros Negros (BN-3), mientras que el mayor valor se midió en la estación ubicada en la entrada a la laguna Barros Negros (BN-2). Para el sector Aguas de Quelana los valores de pH medidos durante la campaña de monitoreo de abril de 2019 variaron entre 7,74 y 8,76 unidades (Tabla 5-38). El menor valor se registró en la estación de monitoreo Q-0, mientras que el mayor valor se midió en la estación





Q-5. Finalmente, para el sistema de Peine los valores de pH registrados durante abril de 2019 variaron entre 6,93 y 8,58 unidades (Tabla 5-38). El menor valor se registró en la laguna Interna en la estación de monitoreo PE-2, mientras que el mayor valor se midió en la laguna Salada (estación SA-1). En términos generales, los valores de pH obtenidos en todos los sectores monitoreados en el Salar de Atacama reflejan aguas que varían de ligeramente ácidas a ligeramente básicas.

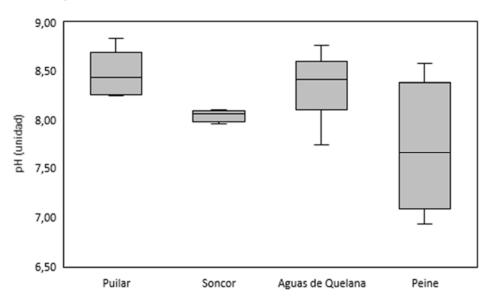
Respecto a la variación en los valores de pH entre los distintos sistemas hidrológicos, los coeficientes de variación indican un bajo nivel de dispersión en los valores de pH en todas las estaciones de monitoreo del área de estudio (Tabla 5-38 y Figura 5-16). En cuanto a la comparación entre sectores, no se detectaron diferencias significativas ente los valores de pH medidos en la actual campaña de monitoreo (KW= 7,63, g.l.= 3, p= 0,0543). Estos resultados indican que existe una homogeneidad en términos de pH en todos los sistemas hidrológicos muestreados.

Tabla 5-38 Estadígrafos de la variable pH medido en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°	pH (unidad)							
	N	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv.Est.	Coef. Var. (%)		
Puilar	5	8,25	8,84	8,47	8,43	0,24	2,84		
Soncor	4	7,96	8,10	8,05	8,06	0,06	0,75		
Aguas de Quelana	9	7,74	8,76	8,33	8,41	0,32	3,89		
Peine	4	6,93	8,58	7,71	7,67	0,68	8,85		

Fuente: AquaExpert, 2019.

Figura 5-16. Representación gráfica de la variación de los valores de pH\* medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.







(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

#### 5.6.1.3 Conductividad del agua

Durante la actual campaña de monitoreo los valores de conductividad eléctrica de la columna de agua en el Sector de Puilar variaron entre 18,41 y 43,25 mS/cm (Tabla 5-39). El menor valor se registró en la estación de monitoreo PU-1 mientras que el mayor valor se midió en la estación PU-5. En el sector de Soncor la Conductividad eléctrica varió entre 85,51 y 123,90 mS/cm (Tabla 5-39). El menor valor se registró en la estación BN-2 mientras que el mayor valor se midió en la estación BN-3. Para el sector Aguas de Quelana la Conductividad eléctrica registrada durante la campaña de monitoreo de abril de 2019 varió entre 16,78 y 190,10 mS/cm (Tabla 5-39). El menor valor se registró en la estación de monitoreo Q-8 mientras que el mayor valor se midió en la estación Q-4. Finalmente, para el sistema de Peine los valores de Conductividad eléctrica registrados durante abril de 2019 variaron entre 39,79 y 176,80 mS/cm (Tabla 5-39). El menor valor estación de monitoreo SA-2 mientras que el mayor valor se midió en la estación PE-2.

Respecto a la variación en los valores de Conductividad eléctrica entre los distintos sistemas hidrológicos, los coeficientes de variación indican una mayor homogeneidad entre los valores de Conductividad eléctrica medidos en el sector de Soncor mientras que en el resto existe una mayor variación (Tabla 5-39 y Figura 5-17) lo cual indica una diferencia en las concentraciones de sales y minerales disueltas entre los distintos puntos de monitoreo de cada sistema hidrológico. En cuanto a la comparación entre sistemas hidrológicos no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de Conductividad eléctrica medidos en la actual campaña de monitoreo (KW= 6,695, g.l.= 3, p= 0,0823). Sin embargo, se pueden apreciar menores valores en el sector de Puilar.

Tabla 5-39. Estadígrafos de la Conductividad eléctrica del agua medida en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N	Conductividad eléctrica del agua (mS/cm)						
	IN.	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)	
Puilar	5	18,41	43,25	28,85	23,33	11,84	41,06	
Soncor	4	85,51	123,90	96,69	88,67	18,20	18,83	
Aguas de Quelana	9	16,78	190,10	61,04	28,96	65,42	107,19	
Peine	4	39,56	176,80	86,47	64,76	64,68	74,80	



geobiota

195,00 175,00 Con ductivi dad eléctrica del agua 155,00 135,00 (mS/cm) 115,00 95,00 75,00 55,00 35,00 15,00 Puilar Soncor Aguas de Quelana Peine

Figura 5-17. Representación gráfica de la variación de los valores de Conductividad eléctrica\* del agua medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Fuente: AquaExpert, 2019.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los intercuartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

# 5.6.1.4 Salinidad

Durante la actual campaña de monitoreo los valores de salinidad de la columna de agua en el Sector de Puilar variaron entre 10,96 y 27,65 PSU (Tabla 5-40). El menor valor se registró en la estación de monitoreo PU-1 mientras que el mayor valor se midió en la estación PU-5. En el sector de Soncor la salinidad varió entre 60,49 y valores mayores a 70,00 PSU (límite de detección del instrumento de medición) (Tabla 5-40). El menor valor se registró en la estación BN-2, mientras que el mayor valor se midió en la estación BN-3. Para el sector Aguas de Quelana la salinidad registrada durante la campaña de monitoreo de abril de 2019 varió entre 9,90 y valores mayores a 70,00 PSU (Tabla 5-40). El menor valor se registró en la estación de monitoreo Q-8 mientras que el mayor valor se midió en las estaciones Q-0 y Q-4. Finalmente, para el sistema de Peine los valores de salinidad registrados durante abril de 2019 variaron entre 25,31 y valores mayores a 70,00 (Tabla 5-40). El menor valor se registró en estación SA-2, mientras que el mayor valor se midió en la laguna Interna en la estación de monitoreo PE-2.

Debido a que las variables Conductividad eléctrica y salinidad están estrechamente relacionadas, igual que el patrón detectado para la variable Conductividad eléctrica, la variación en los valores de salinidad entre los distintos sistemas hidrológicos indican una mayor homogeneidad entre los valores de Salinidad medidos en los sectores de Soncor (C.V.= 6,38), mientras que en los sectores de Aguas de Quelana, Peine y Puilar existe una mayor variación y heterogeneidad entre ellos (C.V.= 80,20- 52,26 – 44,18, Tabla 5-40) lo cual indica una diferencia en las concentraciones de sales y minerales disueltas entre los distintos puntos de monitoreo de cada sistema hidrológico. Además, cabe indicar que, en cuanto a la comparación entre sistemas hidrológicos, a diferencia de lo detectado en la conductividad eléctrica, sí se detectaron diferencias significativas entre los valores de Salinidad medidos en la actual campaña de monitoreo (KW=





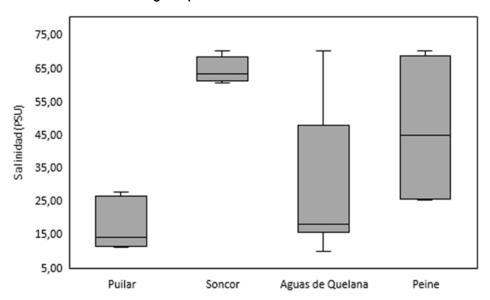
8,017, g.l.= 3, p= 0,0447). Estas diferencias se detectaron principalmente entre el sector de Puilar respecto al sector de Soncor, el cual presentó los menores valores de salinidad (Promedio= 17,87, Tabla 5-40 y Figura 5-18). Estos resultados indican la existencia de una alta variabilidad en las concentraciones de sales disueltas entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio.

Tabla 5-40. Estadígrafos de la Salinidad del agua medida en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°	Salinidad (PSU)							
	14	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)		
Puilar	5	10,96	27,65	17,87	14,12	7,89	44,18		
Soncor	4	60,49	70,00	64,14	63,03	4,09	6,38		
Aguas de Quelana	9	9,90	70,00	29,29	17,94	23,49	80,20		
Peine	4	25,31	70,00	46,19	44,72	24,14	52,26		

Fuente: AquaExpert, 2019.

Figura 5-18. Representación gráfica de la variación de los valores de Salinidad\* del agua medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



Fuente: AquaExpert, 2019.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

#### 5.6.1.5 Oxígeno Disuelto

Durante la actual campaña de monitoreo los valores de Oxígeno disuelto de la columna de agua en el sector de Puilar variaron entre 6,76 y 8,10 mg/L (Tabla 5-41). El menor valor se registró en la estación de monitoreo PU-1 mientras que el mayor valor se midió en la estación PU-2. En el sector de Soncor la





concentración de Oxígeno disuelto varió entre 3,95 y 5,35 mg/L (Tabla 5-41). El menor valor se registró en la estación ubicada en el canal Barros Negros (BN-3) mientras que el mayor valor se midió en la estación de monitoreo BN-1. Para el sector Aguas de Quelana la concentración de Oxígeno disuelto varió entre 1,98 y 8,98 mg/L (Tabla 5-41). El menor valor se registró en la estación de monitoreo Q-4 mientras que el mayor valor se midió en la estación Q-5. Finalmente, para el sistema de Peine los valores de Oxígeno disuelto registrados durante abril de 2019 variaron entre 1,54 y 6,06 (Tabla 5-41). El menor valor se registró en la laguna Interna en la estación de monitoreo PE-2 mientras que el mayor valor se midió en la laguna Salada (estación SA-2).

Respecto a la variación en los valores de Oxígeno disuelto entre los distintos sistemas hidrológicos, los resultados indican que existe una leve heterogeneidad entre los valores de Oxígeno medidos en los sectores de Puilar y Soncor, mientras que en el sector de Peine existe una mayor variación (C.V.= 59,42, Tabla 5-41 y Figura 5-19) lo cual indica una diferencia y alta variabilidad en las concentraciones de Oxígeno disuelto entre los distintos puntos de monitoreo dentro del sector de Peine. En cuanto a la comparación entre sistemas hidrológicos se detectaron diferencias significativas entre los valores de oxígeno disuelto medidos en la actual campaña de monitoreo (KW= 8,895, g.l.= 3, p= 0,0307). Estas diferencias se detectaron principalmente entre el sector de Puilar con los sectores de Soncor y Peine, donde Puilar presentó mayores valores de Oxígeno disuelto (Tabla 5-41). Estos resultados indican la existencia de una alta variabilidad en la disponibilidad de oxígeno en la columna de agua entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio, lo que podría deberse y estar estrechamente relacionado con la hora de muestreo y con las salinidades de cada sector.

Tabla 5-41. Estadígrafos de la Oxígeno disuelto del agua medida en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°	O2 Disuelto (mg/L)								
	N	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)			
Puilar	5	6,76	8,10	7,39	7,38	0,59	8,05			
Soncor	4	3,95	5,35	4,87	5,10	0,63	12,94			
Aguas de Quelana	9	1,98	8,98	6,22	6,94	2,46	39,55			
Peine	4	1,54	6,06	3,87	3,94	2,30	59,42			



10,00 9,00 8,00 7,00 6,00 5,00 3,00 2,00 1,00 Puilar Soncor Aguas de Quelana Peine

Figura 5-19. Representación gráfica de la variación de los valores de Oxígeno disuelto\* medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

# 5.6.1.6 Conductividad del Sedimento y del Agua intersticial

## 5.6.1.6.1 <u>Conductividad eléctrica del sedimento</u>

Durante la actual campaña de monitoreo los valores de Conductividad eléctrica del sedimento en el Sector de Puilar variaron entre 7,66 y 17,40 mS/cm (Tabla 5-42). El menor valor se registró en las estaciones de monitoreo PU-2 mientras que el mayor valor se midió en la estación PU-3. En el sector de Soncor la Conductividad eléctrica varió entre 22,70 y 31,06 mS/cm (Tabla 5-42). Ambos valores fueron medidos en la laguna Barros Negros, el menor valor se registró en la estación de monitoreo BN-2 mientras que el mayor valor se midió en la estación BN-1. Para el sector Aguas de Quelana la Conductividad eléctrica del sedimento registrada durante la campaña de monitoreo varió entre 13,11 y 39,18 mS/cm (Tabla 5-42). El menor valor se registró en la estación de monitoreo Q-1 mientras que el mayor valor se midió en la estación Q-4. Finalmente, para el sistema de Peine los valores de Conductividad eléctrica registrados durante abril de 2019 variaron entre 13,32 y 76,58 mS/cm (Tabla 5-42). Ambos valores se registraron en la laguna Interna, el menor valor se detectó en la estación de monitoreo PE-1 mientras que el mayor valor se midió en estación PE-2.

Respecto a la variación en los valores de Conductividad eléctrica del sedimento entre los distintos sistemas hidrológicos, los coeficientes de variación indican heterogeneidad respecto a esta variable entre la mayoría de los sitios de monitoreo (Tabla 5-42 **y** Figura 5-20). En cuanto a la comparación entre sistemas hidrológicos no se detectaron diferencias significativas desde el punto de vista estadístico entre los valores de Conductividad eléctrica del sedimento medidos en la actual campaña de monitoreo (KW= 6,21, g.l.= 3, p= 0,1016). Estos resultados indican que las concentraciones de minerales presentes en los sedimentos





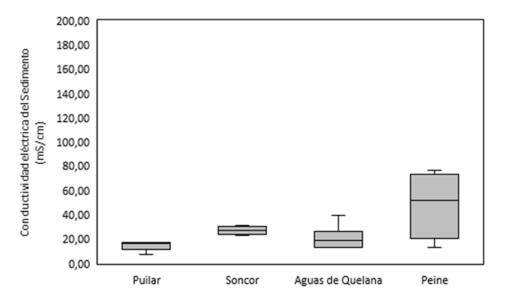
de los distintos puntos de monitoreo son similares entre estaciones y sectores del área de estudio, mostrando una homogeneidad en el ambiente respecto a este parámetro.

Tabla 5-42. Estadígrafos de la Conductividad eléctrica del sedimento medida en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector N°		Conductividad eléctrica del sedimento mS/cm							
	N°	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)		
Puilar	5	7,66	17,40	14,56	16,14	3,93	26,99		
Soncor	4	22,70	31,06	26,84	26,81	3,41	12,72		
Aguas de Quelana	9	13,11	39,18	20,91	18,60	8,62	41,24		
Peine	4	13,32	76,58	48,58	52,20	27,74	57,12		

Fuente: AquaExpert, 2019.

Figura 5-20. Representación gráfica de la variación de los valores de Conductividad eléctrica del Sedimento medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



Fuente: AquaExpert, 2019.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

### 5.6.1.6.2 <u>Conductividad eléctrica del Aqua intersticial</u>

Durante la actual campaña de monitoreo los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial en el Sector de Puilar variaron entre 38,40 y 67,43 mS/cm (Tabla 5-43). El menor valor se registró en la estación de monitoreo PU-2 mientras que el mayor valor se midió en la estación PU-4. En el sector de Soncor la Conductividad eléctrica del agua intersticial varió entre 83,54 y 121,80 mS/cm (Tabla 5-43). El menor valor





se registró en la estación de monitoreo ubicada en la laguna Chaxa (CH-1), mientras que el mayor valor se midió en la estación ubicada en la laguna Barros Negros (BN-2). Para el sector Aguas de Quelana la Conductividad eléctrica del agua intersticial varió entre 15,34 y 142,40 mS/cm (Tabla 5-43). El menor valor se registró en la estación de monitoreo Q-8, mientras que el mayor valor se midió en la estación Q-0. Finalmente, para el sistema de Peine los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial registrados durante abril de 2019 variaron entre 47,43 y 91,17 mS/cm (Tabla 5-43). El menor valor se registró en la laguna Saladita (estación SA-2) mientras que el mayor valor se midió en la laguna Interna en la estación de monitoreo PE-2.

Respecto a la variación en los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial entre los distintos sistemas hidrológicos, los coeficientes de variación indican una mayor heterogeneidad entre los valores de medidos los sitios de monitoreo del sector de Aguas de Quelana (Tabla 5-43 **y** Figura 5-21). En cuanto a la comparación entre sistemas hidrológicos, se detectaron diferencias significativas entre los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial medidos en la actual campaña de monitoreo (KW= 10,95, g.l.= 3, p= 0,0120). Las principales diferencias se dieron entre el sector de Soncor respecto a Puilar y Aguas de Quelana y entre el Sector de Peine respecto al sector de Puilar, Loa valores detectados en Soncor y Peine fueron más altos que los medidos en los otros sectores del Salar de Atacama.

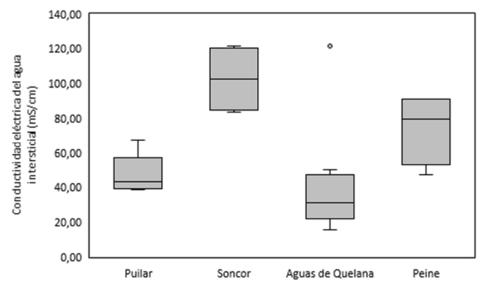
Tabla 5-43. Estadígrafos de la Conductividad eléctrica del agua intersticial en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°	Conductividad eléctrica del agua intersticial mS/cm						
		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)	
Puilar	5	38,40	67,43	46,99	43,01	11,90	25,33	
Soncor	4	83,54	121,80	102,71	102,75	19,14	18,64	
Aguas de Quelana	9	15,34	121,40	40,08	30,78	32,52	81,14	
Peine	4	47,43	91,17	74,52	79,73	20,81	27,92	



geobiota

Figura 5-21. Representación gráfica de la variación de los valores de Conductividad eléctrica\* del agua intersticial medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



Fuente: AquaExpert, 2019.

# 5.6.2 Medio Biótico

## 5.6.2.1 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, el análisis de la Clorofila-a se desarrolla en este capítulo.

# 5.6.2.1.1 <u>Clorofila-a en fitoplancton (columna de agua)</u>

Durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019), los valores de concentración de Clorofila-a medidos en el Sector de Puilar variaron entre 0,38 y 9,29 µg/L (Tabla 5-44). El menor valor se registró en la estación de monitoreo PU-1, mientras que el mayor valor se midió en la estación PU-3. En el sector de Soncor la Clorofila-a varió entre 8,16 y 12,78 µg/L (Tabla 5-44). El menor valor se registró en la estación de monitoreo BN-3, mientras que el mayor valor se midió en la estación BN-2. Para el sector Aguas de Quelana la concentración de Clorofila-a registrada durante la campaña de monitoreo de abril de 2019 varió entre 0,16 y 5,42 µg/L (Tabla 5-44). El menor valor se registró en la estación de monitoreo Q-1 mientras que el mayor valor se midió en la estación Q-0. Finalmente, para el sistema de Peine las concentraciones de Clorofila-a medidas durante abril de 2019, variaron entre 0,04 y 1,97 µg/L (Tabla 5-44). El menor valor se midió en la estación de monitoreo SA-1, mientras que el mayor valor se registró en la estación PE-1.

Respecto a la variación de los valores de Clorofila-a de la fracción planctónica entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio, los coeficientes de variación indican mayor heterogeneidad y mayor variabilidad en las concentraciones de Clorofila medidas en los sitios de monitoreo de los sectores de



<sup>(\*)</sup> La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.



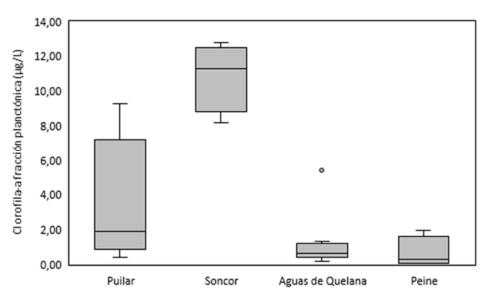
Puilar, Aguas de Quelana y Peine, mientras que las estaciones de monitoreo del Soncor muestran una baja variabilidad en las concentraciones de Clorofila-a medidas durante abril de 2019, indicando que estos sectores corresponden a sistemas homogéneos en relación a la productividad primaria relacionadas a las microalgas planctónicas (Tabla 5-44 y Figura 5-22). En cuanto a la comparación entre sistemas hidrológicos, desde el punto de vista estadístico se detectaron diferencias significativas entre los valores de concentración de Clorofila-a medidos en la actual campaña de monitoreo (KW= 11,66, g.l.= 3, p= 0,086). Estas diferencias se detectaron entre el sector de Soncor respecto de los otros sectores muestreados. El sector de Soncor presentó los mayores niveles de Clorofila-a de toda el área de estudio.

Tabla 5-44. Estadígrafos de la concentración de Clorofila-a de la fracción planctónica medida en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°	Clorofila-a fracción planctónica (ug/L)						
		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)	
Puilar	5	0,38	9,29	3,60	1,91	3,65	101,33	
Soncor	4	8,16	12,78	10,89	11,32	1,98	18,17	
Aguas de Quelana	9	0,16	5,42	1,19	0,64	1,62	136,38	
Peine	4	0,04	1,97	0,65	0,29	0,90	139,04	

Fuente: AquaExpert, 2019.

Figura 5-22. Representación gráfica de la variación de los valores de Clorofila-a de la fracción planctónica medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



<sup>(\*)</sup> La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





### 5.6.2.1.2 <u>Clorofila-a en perifiton (Fitobentos)</u>

Durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019), los valores de concentración de Clorofila-a bentónica medidos en el Sector de Puilar variaron entre 30,30 y 106,10 mg/m² (Tabla 5-45). El menor valor se registró en la estación de monitoreo PU-5 mientras que el mayor valor se midió en la estación PU-4. En el sector de Soncor la Clorofila-a bentónica varió entre 11,60 y 35,20 mg/m² (Tabla 5-45). El menor valor se registró en la estación de monitoreo BN-3, mientras que el mayor valor se midió en la estación BN-1. Para el sector Aguas de Quelana la concentración de Clorofila-a varió entre 1,40 y 142,00 mg/m² (Tabla 5-45). El menor valor se registró en la estación de monitoreo Q-9 mientras que el mayor valor se midió en la estación Q-3. Finalmente, para el sistema de Peine las concentraciones de Clorofila-a medidas durante abril de 2019 variaron entre 8,10 y 38,40 mg/m² (Tabla 5-45). El menor valor se midió en la laguna Interna en la estación de monitoreo PE-2, mientras que el mayor valor se registró en laguna Saladita (estación SA-2).

Respecto a la variación de los valores de Clorofila-a de la fracción bentónica entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio, los coeficientes de variación indican mayor heterogeneidad y mayor variabilidad en las concentraciones de Clorofila medidas en los sitios de monitoreo de los sectores de Soncor, Aguas de Quelana y Peine, mientras que las estaciones de monitoreo del sistemas Puilar muestran una menor variabilidad en las concentraciones de Clorofila-a medidas durante abril de 2019, indicando que este sector corresponde a sistemas más constantes y homogéneos en relación a la productividad primaria relacionadas a las microalgas del bentos (Tabla 5-45 y Figura 5-23). En cuanto a la comparación entre sistemas hidrológicos, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de concentración de Clorofila-a medidos en la actual campaña de monitoreo (KW= 6,555, g.l.= 3, p= 0,0872).

Tabla 5-45. Estadígrafos de la concentración de Clorofila-a de la fracción bentónica medida en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°		(mg/m2)				
	N .	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)
Puilar	5	30,30	106,10	66,12	59,90	27,61	41,75
Soncor	4	11,60	35,20	20,23	17,05	10,99	54,32
Aguas de Quelana	9	1,40	142,00	46,58	21,30	51,06	109,62
Peine	4	8,10	38,40	17,08	10,90	14,38	84,22



16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
0,00
Puilar Soncor Aguas de Quelana Peine

Figura 5-23. Representación gráfica de la variación de los valores de Clorofila-a de la fracción bentónica medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

# 5.6.2.2 <u>Fitobentos</u>

Los valores de abundancia total de las microalgas fitobentónicas determinados durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019) variaron entre 277 y 28.547.646 cél/cm³ (Tabla 5-46, Anexo XIV). Estos valores fueron detectados en los sectores Puilar y Aguas de Quelana, el menor valor se determinó en la estación de monitoreo PU-4 (Puilar) mientras que el mayor valor de abundancia se detectó en la estación Q-8 (Aguas de Quelana).

Los sectores presentaron una alta dispersión de los datos de abundancia, evidenciando mayor heterogeneidad en el sustrato de los distintos sistemas estudiados. El sistema Soncor presentó el menor coeficiente de variación (C.V.=107,9) indicando un sustrato más homogéneo, mientras que el sector de Pullar presentó el mayor coeficiente de variación (C.V.=185,4)(Tabla 5-46 y Figura 5-24).

Respecto a la comparación de las abundancias entre los distintos sistemas hidrológicos muestreados, desde un punto de vista estadístico no existen diferencias significativas entre sectores (KW=4,77, g.l=3, p=0,1896). Sin embargo, el sistema Aguas de Quelana en general presentó los mayores valores de abundancia de toda el área de estudio (Tabla 5-46 y Figura 5-25). Cabe indicar que, durante la actual campaña de monitoreo, se detectaron blooms algales en este componente en todos los sectores de muestreo, quedando en evidencia con los altos valores de abundancia de microalgas. Estas floraciones masivas de microalgas podrían deberse quizás a un aumento en la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua (nitratos y fosfatos). Además, cabe indicar que estas floraciones algales correspondieron a la clase Bacillariophyceae (diatomeas), la cual es dominante en este tipo de sistemas y es particularmente exitosa dentro de condiciones de extrema salinidad, con altas variaciones de temperatura y oxígeno disuelto convirtiéndolo en un grupo poliextremofilo (Angel *et al.*, 2016), por lo que se puede deducir que





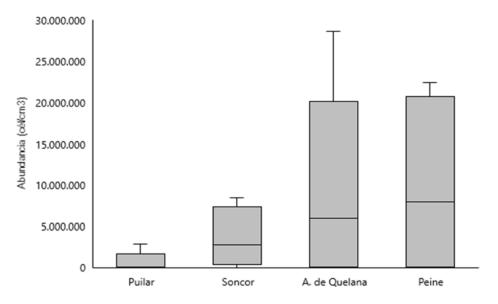
estas fluctuaciones detectadas en la abundancia con patrones de floración corresponden a dinámicas naturales para este grupos en este tipo de sistemas y no tiene implicancias biológicas para el ecosistema.

Tabla 5-46. Estadígrafos de la Abundancia total del Fitobentos registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

		Densidad total (cel/cm3)								
Sector	N°	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var (%).			
Puilar	5	277	2.854.659	668.747,3	4.005,3	1.239.699,3	185,4			
Soncor	4	1.537	8.357.006	3.440.809,4	2.702.347,1	3.712.400,6	107,9			
Quelana	9	1.079	28.547.646	9.643.846,4	5.885.100,0	10.590.637,4	109,8			
Peine	4	2.320	22.440.866	9.562.037,5	7.902.481,7	11.354.927,8	118,8			

Fuente: AquaExpert, 2019.

Figura 5-24. Representación gráfica de la variación de los valores de Abundancia total del Fitobentos medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



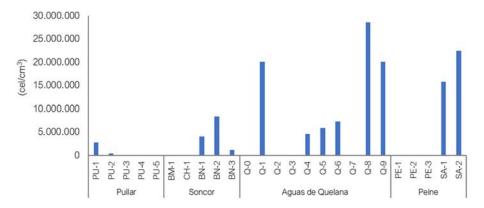
Fuente: AquaExpert, 2019.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.



geobiota

Figura 5-25. Abundancia total del fitobentos medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



Fuente: AquaExpert, 2019.

Por otro lado, las abundancias relativas de taxa por sector indican una predominancia marcada de la Clase Bacillariophyceae, para el sector de Puilar los taxa más dominantes fueron *Achnanthidium brevipes y nitzschia latens* (Figura 5-26). Para el sector de Soncor los taxa más dominantes fueron *Oscillatoria sp. y Halamphora acutiuscula* (Figura 5-27). En el sector Aguas de Quelana los taxa que presentaron mayor dominancia fueron *Achnanthidium brevipes y Oscillatoria sp.* (Figura 5-28). Finalmente, en el sector de Peine los taxa más dominantes fueron *Diatoma spp. Halamphora atacamae y Cocconeis euglypta*. (Figura 5-29) (Anexo XIV).



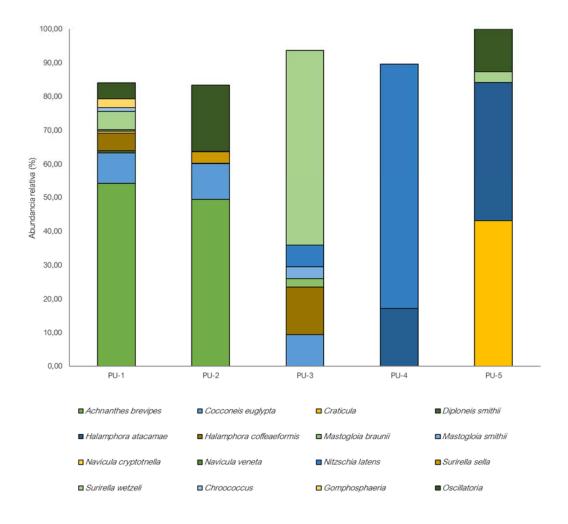


Figura 5-26. Abundancia relativa del fitobentos medida en el Sector Puilar.



100,0 90,0 80,0 70,0 Abundancia relativa (%) 60,0 Estación sin acceso 50,0 40,0 30,0 20,0 10,0 0,0 BM-1 CH-1 BN-1 BN-2 BN-3 ■ Achnanthidium minutissimum ■ Brachysira aponina ■ Cocconeis euglypta ■ Craticula ■ Cyclotella ■ Diploneis smithii ■ Halamphora acutiuscula Halamphora atacamae ■ Halamphora coffeaeformis ■ Mastogloia smithii ■ Navicula cryptotnella ■ Navicula veneta ■ Nitzschia epithemioides ■ Nitzschia liebertruthii ■ Rhopalodia constricta ■ Rhopalodia wetzeli ■ Scoliopleura peisonis ■ Staurosirella pinnata Anabaena ■ Chroococcus ■ Gloeocapsa ■ Oscillatoria

Figura 5-27. Abundancia relativa del fitobentos medida en el Sector Soncor.



100,0 90,0 80,0 70.0 Abundancia relativa (%) 60,0 50,0 40,0 Estación Seca 30,0 20,0 10,0 0,0 ■ Achnanthes brevipes ■ Achnanthidium minutissimum ■ Amphora lineolata ■ Brachysira aponina ■ Campylodiscus bicostatus ■ Cocconeis euglypta ■ Cocconeis lineata Craticula ■ Cyclotella Denticula kuetzingii ■ Denticula thermalis ■ Diatoma elegans ■ Diploneis smithii ■ Halamphora acutiuscula ■ Halamphora atacamae ■ Halamphora coffeaeformis ■ Mastogloia smithii ■ Navicula cryptotnella ■ Navicula salina ■ Navicula veneta ■ Pinnularia Planothidium ■ Nitzschia epithemioides Nitzschia incospicua ■ Proschkinia bulnheimii ■ Psudostaurosira brevistriata Rhopalodia constricta ■ Rhopalodia wetzeli ■ Scoliopleura peisonis ■ Surirella sella ■ Surirella wetzeli Anabaenopsis ■ Chroococcus ■ Gloeocapsa ■ Merismopedia ■ Oscillatoria

Figura 5-28. Abundancia relativa del fitobentos medida en el Sector Aguas de Quelana.



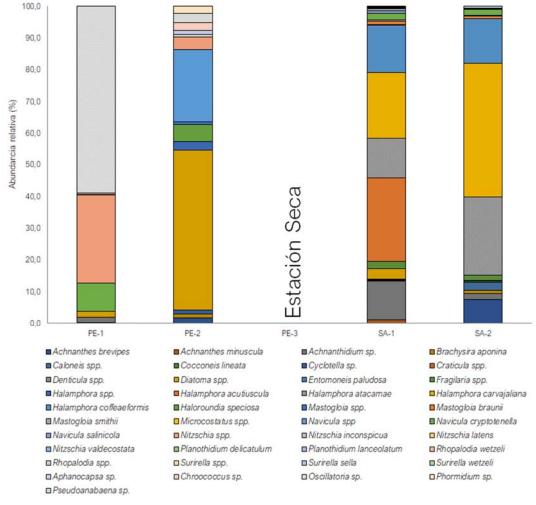


Figura 5-29. Abundancia relativa del fitobentos medida en el Sector Peine.

Respecto a la riqueza total de taxa, los valores determinados durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019) variaron entre 3 y 15 taxa (Tabla 5-47), **e**l menor valor se detectó en el sector de Puilar en la estación de monitoreo PU-4, mientras que el mayor valor de riqueza se detectó en el sector de Peine en la estación de monitoreo SA-2 (Figura 5-30 y Figura 5-31).

El sector que presentó una menor dispersión de los datos de Riqueza corresponde al sistema Soncor (C.V.=22,7) indicando una mayor homogeneidad en la cantidad de taxa de microalgas fitobentónicas presentes en los cuerpos de agua del sistema. Por otro lado, los sectores de Puilar, Peine, y Aguas de Quelana presentaron una mayor variabilidad en la cantidad de taxa del fitobentos dentro de sus estaciones de monitoreo (C.V.= 54,6; 47,0 y 35,9 respectivamente) (Tabla 5-47 y Figura 5-30).

Respecto a la comparación de la Riqueza total determinada entre los distintos sistemas hidrológicos muestreados, al igual que lo ocurrido con la Abundancia total, desde un punto de vista estadístico no existen diferencias significativas entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio (KW=1,65, g.l=3, p=0,6448). Sin embargo, los sistemas Soncor y Peine presentaron los mayores valores de Riqueza total de toda el área de estudio (Tabla 5-47).

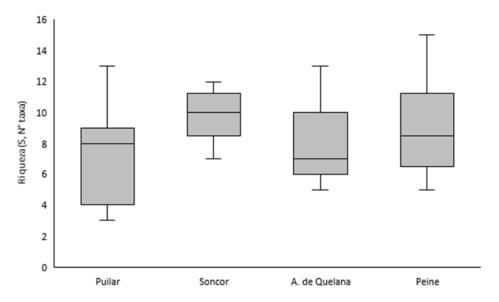




Tabla 5-47. Estadígrafos de la Riqueza total del Fitobentos registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°	Riqueza de taxa (S)							
		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)		
Puilar	5	3	13	7	8	4,0	54,6		
Soncor	4	7	12	10	10	2,2	22,7		
Aguas de Quelana	9	5	13	8	7	2,9	35,9		
Peine	4	5	15	9	9	4,3	47,0		

Figura 5-30. Representación gráfica de la variación de los valores de Riqueza del Fitobentos medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



Fuente: AquaExpert, 2019.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.



16 14 12 (N° taxa) 10 6 4 2 BN-2 BN-3 PU4 PU-5 00 0-3 0.5 9-0 6-0 PU-2 CH-1 BN-1 9 0-2 9 0-7 0.8 PE-1 BM-1 SA-1 SA-2 PU-1 Puilar Soncor Peine Aguas de Quelana

Figura 5-31. Riqueza total del fitobentos medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Respecto a la riqueza total de taxa, los valores determinados durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019) variaron entre 6 y 26 taxa (Tabla 5-48). El menor valor se detectó en el sector de Puilar en la estación de monitoreo PU-3, mientras que el mayor valor de riqueza se detectó en el sector de Peine en la estación de monitoreo SA-1 (Figura 5-32).

El sector que presentó una menor dispersión de los datos de Riqueza corresponde al sistema Soncor (C.V.=9,4) indicando una mayor homogeneidad en la cantidad de taxa de microalgas fitobentónicas presentes en los cuerpos de agua del sistema. Por otro lado, los sectores de Peine, Puilar y Aguas de Quelana presentaron una mayor variabilidad en la cantidad de taxa del fitobentos dentro de sus estaciones de monitoreo (C.V.= 46,1; 36,5 y 28,0 respectivamente) (Tabla 5-48 y Figura 5-32).

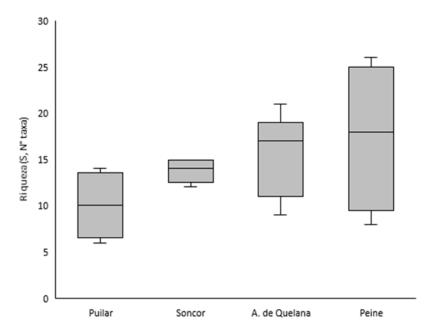
Respecto a la comparación de la Riqueza total determinada entre los distintos sistemas hidrológicos muestreados, al igual que lo ocurrido con la Abundancia total, desde un punto de vista estadístico no existen diferencias significativas entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio (KW=4,60, g.l=3, p=0,198). Sin embargo, los sistemas Aguas de Quelana y Peine presentaron los mayores valores de Riqueza total de toda el área de estudio (Tabla 5-48).

Tabla 5-48: Estadígrafos de la Riqueza total del Fitobentos registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°	Riqueza de taxa (S)						
	1	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)	
Puilar	4	6	14	10	10	3,7	36,5	
Soncor	5	12	15	14	14	1,3	9,4	
Aguas de Quelana	7	9	21	15	17	4,3	28,0	
Peine	4	8	26	18	18	8,1	46,1	

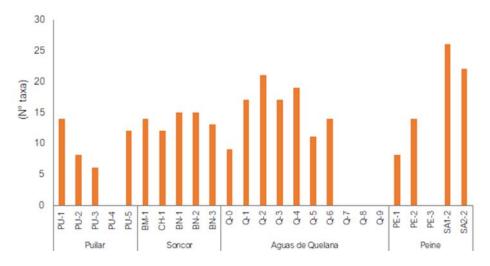


Figura 5-32. Representación gráfica de la variación de los valores de Riqueza del Fitobentos medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Figura 5-33. Riqueza total del fitobentos medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.







#### 5.6.2.3 Fitoplancton

Los valores de abundancia total de las microalgas del fitoplancton determinados durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019) variaron entre 41 y 191.620 cél/L (Tabla 5-49, Anexo XIV). El menor valor se determinó en el sector de Peine en la estación de monitoreo ubicada en la laguna interna (estación PE-1), mientras que el mayor valor de abundancia se detectó en el sector Soncor en la estación BN-2.

El sector que presentó una menor dispersión de los datos de abundancia corresponde al sistema Aguas de Quelana (C.V.=91,7) indicando una mayor homogeneidad en los valores de abundancia de microalgas fitoplanctónicas presentes en los cuerpos de agua del sistema. Por otro lado, los sectores de Peine, Puilar y Soncor presentaron una mayor variabilidad en las abundancias del fitoplancton dentro de sus estaciones de monitoreo (C.V.= 171,5; 139,0 y 116,9 respectivamente) (Tabla 5-49, Figura 5-34 y Figura 5-35).

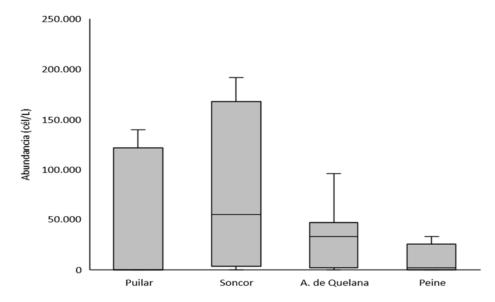
Respecto a la comparación de las abundancias entre los distintos sistemas hidrológicos muestreados, desde un punto de vista estadístico no existen diferencias significativas entre sectores (KW=1,981, g.l=3, p=0,5764). Sin embargo, el sistema Soncor en general presentó los mayores valores de abundancia de toda el área de estudio (Tabla 5-49).

Tabla 5-49. Estadígrafos de la Abundancia total del Fitoplancton registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°						
	IN	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)
Puilar	5	55	139.583	48.796,1	142,0	67.837,4	139,0
Soncor	4	50	191.620	75.445,9	55.056,4	88.229,1	116,9
Aguas de Quelana	9	89	95.467	33.211,1	33.298,6	30.445,9	91,7
Peine	4	41	33.194	9.334,8	2.051,6	16.004,9	171,5

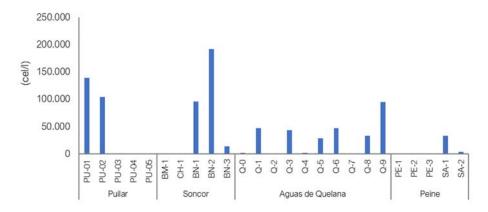


Figura 5-34. Representación gráfica de la variación de los valores Abundancia total del Fitoplancton medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

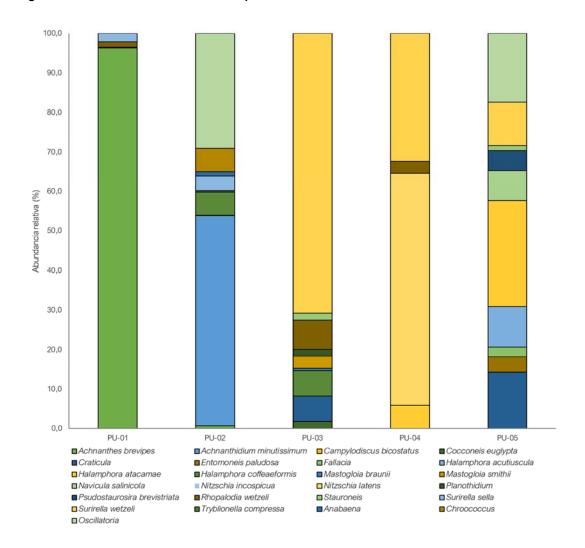
Figura 5-35. Densidad total del fitoplancton medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.





Respecto a las abundancias relativas de taxa por sector estas, al igual que lo ocurrido en el fitobentos, indican una predominancia marcada de la Clase Bacillariophyceae, para el sector de Puilar los taxa más dominantes fueron *Surirella wetzeli y Achnanthes brevipes*. (Figura 5-36). Para el sector de Soncor los taxa dominantes fueron *Oscillatoria sp, Halamphora atacamae y Halamphora coffeaeformis* (Figura 5-37). En el sector Aguas de Quelana los taxa que presentaron mayor dominancia fueron *Achnanthes brevipes y Surirella wetzeli* (Figura 5-38). Finalmente, en el sector de Peine el taxón dominante fue *Halamphora* (Figura 5-39, Anexo XIV).

Figura 5-36. Abundancia relativa del fitoplancton medida en el Sector Puilar.



Fuente: Elaboración propia.



100,0 90,0 80,0 70,0 60,0 Abundancia relativa (%) 50,0 Estación sin acceso 40,0 30,0 20,0 10,0 0,0 ■ Achnanthes brevipes ■ Achnanthidium minutissimum ■ Brachysira aponina ■ Campylodiscus bicostatus ■ Cocconeis euglypta ■ Cyclotella ■ Denticula kuetzingii ■ Diploneis smithii ■ Entomoneis paludosa Fragilaria ■ Halamphora acutiuscula ■ Halamphora atacamae ■ Halamphora coffeaeformis ■ Mastogloia smithii ■ Navicula cryptotnella ■ Navicula salinicola ■ Navicula sp Nitzschia acicularis ■ Nitzschia latens ■ Nitzschia liebertruthii ■ Plagiotropis lepidoptera ■ Proschkinia bulnheimii ■ Rhopalodia constricta ■ Rhopalodia wetzeli ■ Surirella wetzeli ■ Scoliopleura peisonis ■ Stauroneis ■ Staurosirella pinnata Anabaena ■ Chroococcus ■ Gloeocapsa ■ Oscillatoria

Figura 5-37. Abundancia relativa del fitoplancton medida en el Sector Soncor.



100,0 90,0 80,0 70,0 Abundancia relativa (%) 60,0 50,0 40,0 30,0 20,0 10,0 0,0 Q-0 2 Q-3 Q-4 ■Achnanthidium minutissimum Q-9 ■ Achnanthes brevipes ■Campylodiscus bicostatus ■ Cocconeis euglypta ■ Craticula ■ Cyclotella ■Denticula kuetzingii ■ Diatoma elegans ■ Diploneis smithii Entomoneis paludosa ■Halamphora acutiuscula ■ Halamphora atacamae ■ Halamphora coffeaeformis ■ Mastogloia smithii ■Navicula cryptotnella Navicula salina ■ Navicula salinicola ■ Navicula sp ■Navicula veneta ■ Navicymbulla pusilla ■ Nitzschia epithemioides Nitzschia incospicua ■Nitzschia latens ■ Nitzschia liebertruthii ■ Pinnularia ■Rhopalodia constricta ■ Plagiotropis lepidoptera ■Proschkinia bulnheimii ■ Rhopalodia wetzeli ■ Staurosirella pinnata ■Surirella chilensis ■ Surirella sella ■Peridinium ■ Surirella wetzeli ■ Tryblionella compressa Anabaena Anabaenopsis Aphanothece ■Chroococcus ■ Gloeocapsa ■ Gloeotichia ■Lyngbya ■Merismopedia ■ Microcystis ■ Oscillatoria ■ Chlamydomonas ■Closterium ■Surirella wetzeli

Figura 5-38. Abundancia relativa del fitoplancton medida en el Sector Aguas de Quelana.



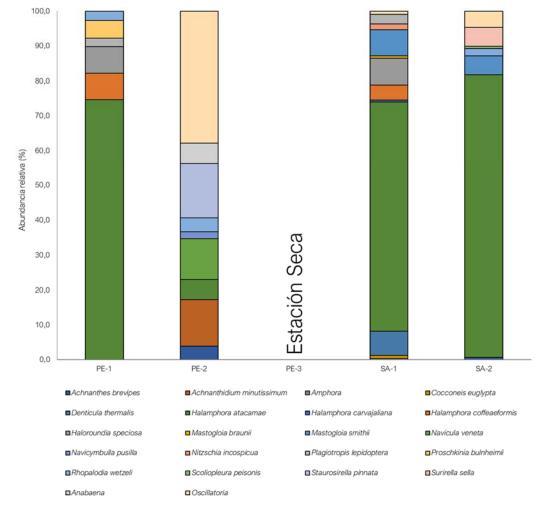


Figura 5-39. Abundancia relativa del fitoplancton medida en el Sector Peine.

Respecto a la riqueza total de taxa, los valores de Riqueza total de microalgas plantónicas determinados durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019) variaron entre 4 y 21 taxa (Tabla 5-50, Anexo XIV). Estos valores fueron detectados en el sector de Puilar y Aguas de Quelana. El menor valor se detectó en la estación de monitoreo PU-1, mientras que el mayor valor de abundancia se detectó en la estación Q-9.

La menor dispersión de los datos de Riqueza total se detectó en los sistemas Soncor y Peine (C.V.=20,2 y 28,6 respectivamente) indicando una mayor homogeneidad en la cantidad de taxa de microalgas fitoplanctónicas presentes en dichos sectores. Por otro lado, los sectores de Aguas de Quelana y Puilar presentaron una mayor variabilidad en la cantidad de taxa del fitoplancton dentro de sus estaciones de monitoreo (C.V.= 43,7 y 49,2 respectivamente) (Tabla 5-50 y Figura 5-40).

Respecto a la comparación de la Riqueza total de microalgas planctónicas determinada entre los distintos sectores muestreados, desde un punto de vista estadístico no se detectaron diferencias significativas entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio (KW=5,722, g.l=3, p=0,123) lo cual indica que





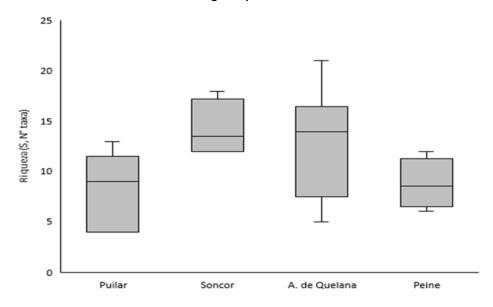
existen niveles de riqueza similares entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio por lo tanto existe una homogeneidad marcada, característica de este tipo de sistemas (Tabla 5-50 y Figura 5-41).

Tabla 5-50. Estadígrafos de la Riqueza total del Fitoplancton registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°	Riqueza de taxa (S)							
	N	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)		
Puilar	5	4	13	8,0	9,0	3,9	49,2		
Soncor	4	12	18	14,3	13,5	2,9	20,2		
Aguas de Quelana	9	5	21	12,4	14,0	5,4	43,7		
Peine	4	6	12	8,8	8,5	2,5	28,6		

Fuente: AquaExpert, 2019.

Figura 5-40. Representación gráfica de la variación de los valores de Riqueza del Fitoplancton medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

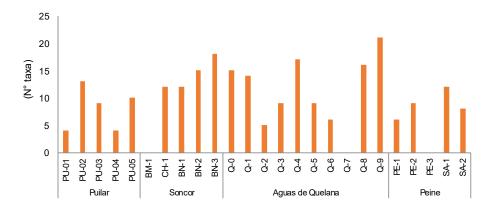


Fuente: AquaExpert, 2019.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.



Figura 5-41. Riqueza total del fitoplancton medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



#### 5.6.2.4 Zoobentos

Los valores de abundancia total de los organismos zoobentónicos determinados durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019) variaron entre 0 y 36.500 ind/m² (Tabla 5-51, Anexo XIV). El menor valor se determinó en los sectores de Puilar (PU-4), Aguas de Quelana (estación Q-4) y Peine (estación PE-1 y PE-2), en los cuales no se determinaron individuos, mientras que el mayor valor de abundancia se detectó en el sector de Aguas de Quelana específicamente en la estación de monitoreo Q-1.

El sector que presento la menor dispersión de los datos de abundancia corresponde al sistema Soncor (C.V.=73,4) mostrando una mayor homogeneidad en la cantidad de individuos de zoobentos presentes en los cuerpos de agua del sistema. Por otro lado, los sectores de Aguas de Quelana, Peine y Puilar presentaron una mayor variabilidad en las abundancias del zoobentos dentro de sus estaciones de monitoreo (C.V.= 108,9, 158,7 y 200,9 respectivamente) (Tabla 5-51 y Figura 5-42) revelando mayor variabilidad en la cantidad de organismos del zoobentos que se encuentran en los distintos sectores de los sistemas, lo cual indica una mayor heterogeneidad en el sustrato de los lugares.

Respecto a la comparación de las abundancias entre los distintos sistemas hidrológicos muestreados, desde el punto de vista estadístico no se detectaron diferencias significativas entre los distintos sectores (KW=6,91, g.l=3, p=0,0728) indicando nuevamente homogeneidad respecto a este parámetro. Sin embargo, cabe señalar que los sectores Aguas de Quelana y Puilar mostraron los valores más altos de abundancia dentro de toda el área de estudio (Tabla 5-51 y Figura 5-43).

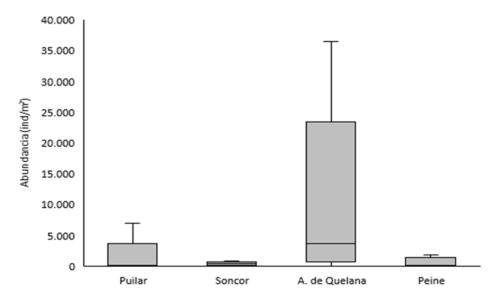




Tabla 5-51. Estadígrafos de la Abundancia total del Zoobentos registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	Abundancia total ind/m2						
	N	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)
Puilar	5	0	7.000	1.525,0	125	3.063,6	200,9
Soncor	4	125	875	468,8	625	344,2	73,4
Aguas de Quelana	9	0	36.500	12.500,0	3.750	13.607,4	108,9
Peine	4	0	1.875	562,5	0	892,7	158,7

Figura 5-42. Representación gráfica de la variación de los valores de Abundancia del Zoobentos medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



Fuente: AquaExpert, 2019.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.



Figura 5-43. Densidad total del zoobentos medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



Respecto a las abundancias relativas de taxa por sector, los taxa más dominante en toda el área de estudio fueron moluscos y artrópodos de la clase Mollusca e Insecta respectivamente. Para el sector de Puilar los taxa más dominantes fueron *Ephydidae sp. y Cyprididae sp.* (Figura 5-44). Para el sector de Soncor el taxón más dominante fue *Ephydidae sp.* (Figura 5-45). En el sector Aguas de Quelana el taxón que dominó fue *Heleobia sp.* (Figura 5-46). Finalmente, en el sector de Peine los taxa dominantes fueron *Chironominae indeterminado* (Figura 5-47).



100 90 80 70 60 Abundancia relativa (%) 50 40 30 20 10 0 PU-1 PU-2 PU-3 PU-4 PU-5  $\blacksquare \textit{Chrironominae indet}.$ ■ Dolichopididae indet. □ Ephydidae indet. ■ Hyalella sp. ■ Heleobia sp. ■ Cyprididae indet.

Figura 5-44. Abundancia relativa del zoobentos medida en el sector Puilar.



100 90 80 70 60 Abundancia relativa (%) 50 Estación sin acceso 40 30 20 10 0 CH-1 BN-1 BN-2 BN-3 ■ Empididae indet. ■ Ephydidae indet.

Figura 5-45. Abundancia relativa del zoobentos medida en el sector Soncor.



100 90 80 70 60 Abundancia relativa (%) 50 40 Estación Seca 30 20 10 0 Q-0 Q-1 Q-2 Q-3 Q-4 Q-5 Q-6 Q-8 Q-9 ■ Naididae indet. ■ Empididae indet. ■ Chrironominae indet. ■ Dolichopididae indet. ■ Ephydidae indet. ■ Hyalella sp. ■ Heleobia sp. □ Cyprididae indet.

Figura 5-46. Abundancia relativa del zoobentos medida en el sector Aguas de Quelana.



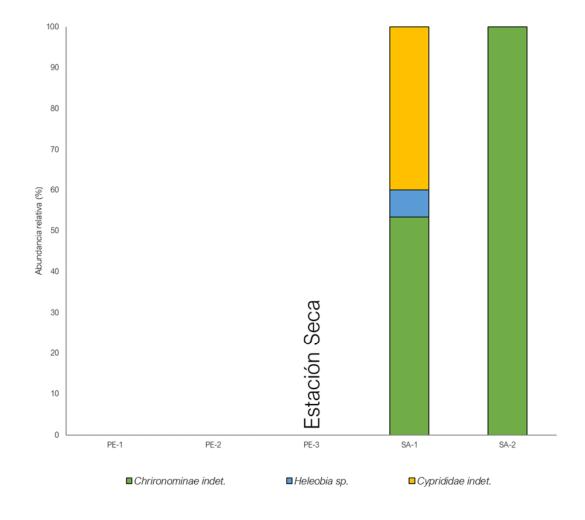


Figura 5-47. Abundancia relativa del zoobentos medida en el sector Peine.

Respecto a la riqueza total de taxa de macroinvertebrados bentónicos, los valores determinados durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019) variaron entre 0 y 6 taxa (Tabla 5-52, Anexo XIV). El menor valor se detectó en las estaciones PU-4 (Puilar), Q-4 (Aguas de Quelana), finalmente PE-1 y PE-2 (Peine), mientras que el mayor valor de riqueza total se detectó en el sector Aguas de Quelana en la estación Q-1.

Los coeficientes de variación del área de estudio muestran la menor dispersión en el sector de Soncor (CV=40,00; Tabla 5-52 y Figura 5-48), indicando mayor homogeneidad en la cantidad de taxa de individuos de macroinvertebrados bentónicos, mientras el sector de Peine presenta la mayor dispersión de todos los sectores (CV=141,42; Tabla 5-52 y Figura 5-48).

Respecto a la comparación de la Riqueza total determinada entre los distintos sectores muestreados, desde un punto de vista estadístico al igual que en la Abundancia total, no se detectaron diferencias significativas entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio (KW=4,973, g.l=3, p=0,1574) lo cual indica que existen niveles de riqueza muy similares entre los distintos sistemas hidrológicos del área



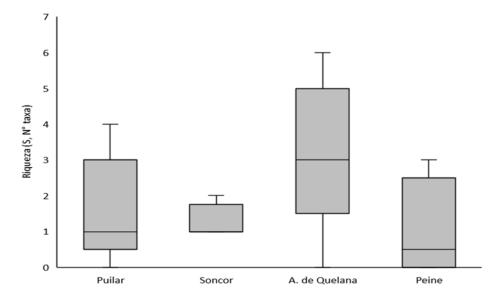
de estudio con una baja cantidad de especies de macroinvertebrados presentes en el bentos, por lo tanto existe una homogeneidad marcada respecto a este parámetro, la cual es característica de este tipo de sistemas (Tabla 5-52 y Figura 5-49).

Tabla 5-52. Estadígrafos de la Riqueza total del Zoobentos registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N	Riqueza de taxa (S)										
Sector	IN	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)					
Puilar	5	0	4	1,6	1	1,52	94,79					
Soncor	4	1	2	1,3	1	0,50	40,00					
Aguas de Quelana	9	0	6	3,1	3	2,03	65,17					
Peine	4	0	3	1,0	0	1,41	141,42					

Fuente: AquaExpert, 2019.

Figura 5-48. Representación gráfica de la variación de los valores Riqueza del Zoobentos medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



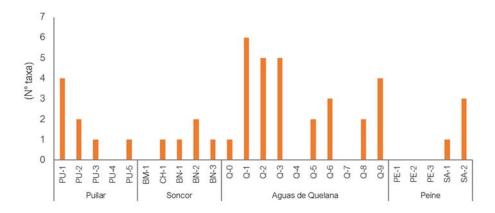
Fuente: AquaExpert, 2019.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





Figura 5-49. Riqueza total del zoobentos medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



• Índice de diversidad de Shannon- Weiner (H)

Los valores de diversidad biológica determinados mediante el índice de Shannon – Weiner durante el actual monitoreo variaron entre 0,000 bits y 1,678 bits. El menor valor fue determinado en distintas estaciones de todos los sectores del Salar de Atacama, mientras que el mayor valor de diversidad fue determinado en la estación Q-9 en el sector Aguas de Quelana (Figura 5-51).

El sector que presentó la mayor dispersión de los datos correspondió al Sector de Soncor (C.V: = 200,00) indicando una heterogeneidad en la diversidad biológica presente en el sector. Por otro lado, la menor dispersión de datos se detectó en el Sector de Aguas de Quelana (C.V.=71,931) indicando que corresponde al sector con mayor homogeneidad respecto a la diversidad biológica.

La comparación estadística entre los sectores monitoreados en el Salar de Atacama indican que no existen diferencias significativas entre ellos (KW=2,851, g.l=3, p=0,3877) (Tabla 5-53 y Figura 5-50)

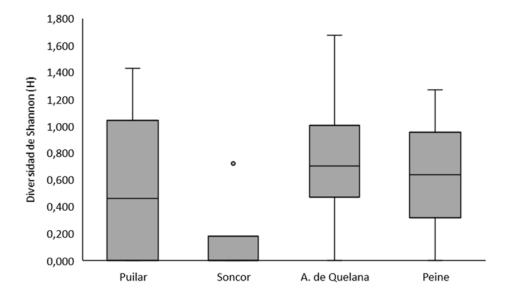
Tabla 5-53. Estadígrafos de la variación de los valores del índice de Shannon - Weiner (diversidad biológica) del Zoobentos registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N			Índice de Sha	nnon - Weiner		
Sector	N N	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)
Puilar	5	0,000	1,431	0,587	0,459	0,710	120,8
Soncor	4	0,000	0,722	0,180	0,000	0,361	200,0
Quelana	9	0,000	1,678	0,737	0,702	0,530	71,9
Peine	4	0,000	1,273	0,637	0,000	0,900	141,4



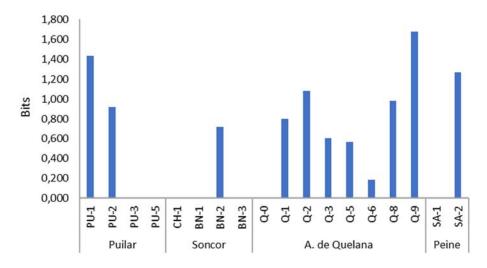
geobiota

Figura 5-50. Representación gráfica de la variación de los valores del índice de Shannon - Weiner (diversidad biológica) del Zoobentos medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Figura 5-51. Índice de Shannon Weiner determinado en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.







#### 5.6.2.5 Zooplancton

Los valores de abundancia total de los organismos zooplanctónicos determinados durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019) variaron entre 0 y 18,01 ind/L (Tabla 5-54, Anexo XIV). El menor valor se determinó en los sectores de Soncor (estaciones BN-2 y BN-3) y Peine (estaciones PE-1, PE-2 y SA-2), mientras que el mayor valor de abundancia se detectó en el sector de Aguas de Quelana específicamente en la estación de monitoreo Q-3.

El sector que presentó la menor dispersión de los datos de abundancia corresponde al sistema Puilar (C.V.=137,35) mostrando una mayor homogeneidad en la cantidad de individuos del zooplancton presentes en los cuerpos de agua del sistema. Por otro lado, el sector de Aguas de Quelana presentó una mayor heterogeneidad respecto a la abundancia de organismos zooplanctónicos dentro de sus estaciones de monitoreo (C.V.= 206,44) (Tabla 5-54 y Figura 5-52) revelando una alta variabilidad en la cantidad de organismos del zooplancton que se encuentran en los distintos sectores de este sistema.

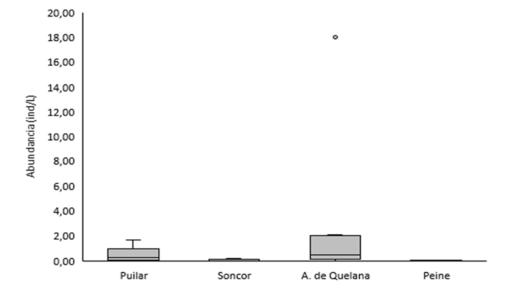
Respecto a la comparación de las abundancias entre los distintos sistemas hidrológicos muestreados, desde el punto de vista estadístico se detectaron diferencias significativas entre los distintos sectores (KW=12,34, g.l=3, p=0,0584). Estas diferencias se generaron principalmente entre el sector de Peine con Puilar y Aguas de Quelana, siendo el sector Peine el que presentó menor abundancia total en promedio. Por otra parte, el sector Aguas de Quelana presentó diferencias con el sector de Soncor, donde la abundancia total del sector de Soncor presentó un promedio de 0,06 ind/L inferior al promedio de Aguas de Quelana 2,79 ind/L (Tabla 5-54, Figura 5-52 y Figura 5-53).

Tabla 5-54: Estadígrafos de la variación de los valores de Abundancia total del Zooplancton registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°	Abundancia total ind/L										
Sector	IN	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)					
Puilar	5	0,09	1,67	0,49	0,25	0,67	137,4					
Soncor	4	0,00	0,19	0,06	0,02	0,09	151,4					
Aguas de Quelana	9	0,02	18,01	2,79	0,46	5,77	206,4					
Peine	4	0,00	0,05	0,01	0,00	0,02	200,0					

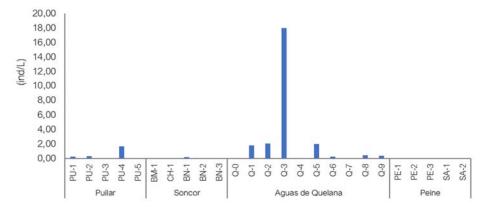


Figura 5-52. Representación gráfica de la variación de los valores Abundancia total del Zooplancton medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Figura 5-53. Densidad total del zooplancton medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.





geobiota

Respecto a las abundancias relativas de taxa, para el sector de Puilar el taxón más dominante fue *Tigriopus sp.* (Figura 5-54). Para el sector de Soncor el taxón más dominante fue Ephydridae indet. (Figura 5-55). En el sector Aguas de Quelana los taxa con mayor dominancia fueron *Tigriopus sp.* y Cyclopoidae indet. (Figura 5-56). Finalmente, en el sector de Peine el único taxón presente fue *Tigriopus sp.* (Figura 5-57, Anexo XIV).

100,0 90,0 80,0 70,0 60,0 Abundancia relativa (%) 50,0 40,0 30,0 10,0 0,0 PU-1 PU-2 PU-3 PU-4 PU-5 ■Ephydidae indet. ■Artemia franciscana ■ Tigriopus sp. □ Chironomidae indet. ■ Hyalella sp. ■ Heleobia sp. ■ Cyprididae indet.

Figura 5-54. Abundancia relativa del zooplancton medida en el sector Puilar.



100,0 90,0 80,0 70,0 Abundancia relativa (%) 60,0 Estación sin acceso 50,0 40,0 30,0 20,0 10,0 0,0 BN-1 BM-1 BN-3 CH-1 BN-2 ■ Tigriopus sp. ■ Ephydidae indet.

Figura 5-55. Abundancia relativa del zooplancton medida en el sector Soncor.





100,0 90,0 80,0 70,0 60,0 Abundancia relativa (%) 50,0 40,0 Estación Seca 30,0 20,0 10,0 0,0 Q-0 Q-1 Q-2 Q-3 Q-4 Q-5 Q-6 Q-7 Q-8 Q-9 ■ Cyclopoidae indet. ■ Tigriopus sp. □ Chironomidae indet. ■Ephydidae indet. ■ Hyalella sp. ■ Heleobia sp. ■ Cyprididae indet.

Figura 5-56. Abundancia relativa del zooplancton medida en el sector Aguas de Quelana.



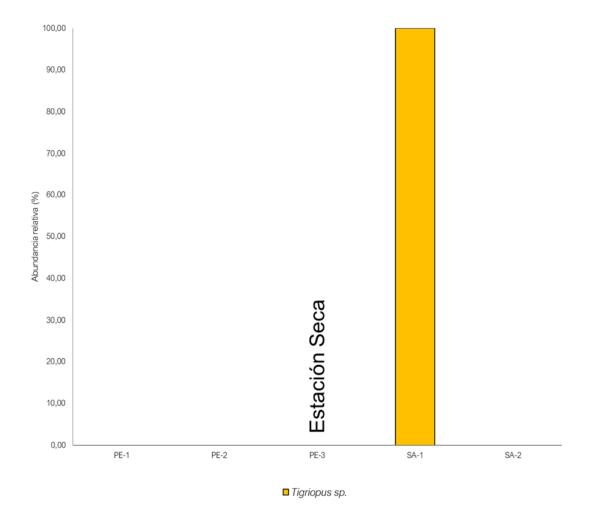


Figura 5-57. Abundancia relativa del zooplancton medida en el sector Peine.

Respecto a la riqueza total de taxa de individuos zooplanctónicos, los valores determinados durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019) variaron entre 0 y 5 taxa (Tabla 5-55, Anexo XIV). El menor valor se detectó en las estaciones BN-2 y BN-3 del sistema Soncor, en el sector de Peine en las estaciones PE-1 y PE-2, mientras que el mayor valor de riqueza se detectó en el sector Aguas de Quelana, estación Q-3.

Los coeficientes de variación de los distintos sectores de muestreo tuvieron diferenciaciones entre los distintos sectores, el sector de Puilar y Aguas de Quelana en general fueron bajos y similares entre sí, e indican una homogeneidad en riqueza del zooplancton, en cambio en el sector de Peine se registró un solo taxón (Tabla 5-55 y Figura 5-58).

Respecto a la comparación de la Riqueza total determinada entre los distintos sectores muestreados, desde un punto de vista estadístico, al igual que lo ocurrido con la Abundancia total, se detectaron diferencias significativas entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio (KW=13,57, g.l=3, p=0,0029). Las principales diferencias se dieron entre los sectores Puilar-Soncor y Puilar-Peine, donde Puilar registró una mayor riqueza, al igual que lo sucedido con Aguas de Quelana-Soncor y Aguas de





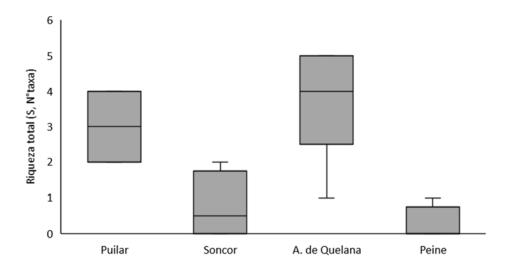
Quelana-Peine, donde Puilar registró una mayor riqueza, lo cual indica que existen niveles de riqueza similares entre los sistemas Puilar-Aguas de Quelana (Tabla 5-55 y Figura 5-59).

Tabla 5-55. Estadígrafos de la variación de los valores de Riqueza total del Zooplancton registradas en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.

Sector	N°			Riquez	za de taxa (S)		
Sector	N	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)
Puilar	5	2	4	3,0	3,0	1,0	33,3
Soncor	4	0	2	0,8	0,5	1,0	127,7
Aguas de Quelana	9	1	5	3,8	4,0	1,5	39,2
Peine	4	0	1	0,3	0,0	0,5	200,0

Fuente: AquaExpert, 2019.

Figura 5-58. Representación gráfica de la variación de los valores Riqueza del Zooplancton medidos en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



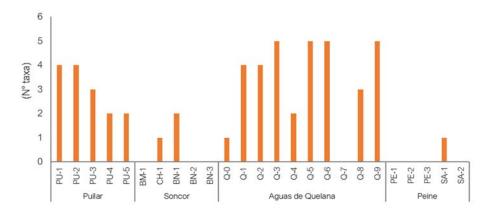
Fuente: AquaExpert, 2019.

(\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





Figura 5-59. Riqueza total del zooplancton medida en los en los distintos sistemas hidrológicos presentes en el área de estudio.



## 5.6.2.6 Plantas Acuáticas (Macrófitas)

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 2019, ya que de la totalidad de las estaciones prospectadas solo el sector Aguas de Quelana presentó la presencia de macrófitas en cinco de sus diez sitios de monitoreo.

Tabla 5-56: Presencia de Vegetación acuática (Macrófitas) presentes en el área de estudio.

		P	Presencia de macrófitas (% cobertura)									
Sector	Estación de monitoreo		Ruppia	filifolia								
		0 - 25	25 - 50	50 - 75	75 - 100							
	PU-1	-	-	-	-							
	PU-2	-	-	-	-							
Puilar	PU-3	-	-	-	-							
	PU-4	-	-	-	-							
	PU-5	-	-	-	-							
	BM-1	S/A	S/A	S/A	S/A							
	CH-1	-	-	-	-							
Soncor	BN-1	-	-	-	-							
	BN-2	-	-	-	-							
	BN-3	-	-	-	-							
-	Q-0	-	-	-	-							
Aguas de Quelana	Q-1			Х								
	Q-2	Х										



Tabla 5-56: Presencia de Vegetación acuática (Macrófitas) presentes en el área de estudio.

			Presencia de macrófitas (% cobertura)									
Sector	Estación de monitoreo		Ruppi	a filifolia								
	I III III III III III III III III III	0 - 25	25 - 50	50 - 75	75 - 100							
	Q-3	Х										
	Q-4	-	-	-	-							
	Q-5	-	-	-	-							
	Q-6	Х										
	Q-7	*	*	*	*							
	Q-8	-	-	-	-							
	Q-9	Х										
	PE-1	-	-	-	-							
	PE-2	-	-	-	-							
eine	PE-3	*	*	*	*							
	SA-1	-	-	-	-							
	SA-2	-	-	-	-							

Durante la actual campaña de monitoreo (abril 2019), se detectó la presencia de un solo taxón de macrófitas, correspondiente a la especie *Ruppia filifolia*, el cual fue encontrado solo en el sistema hidrológico Aguas de Quelana, específicamente en las estaciones de monitoreo Q-1, Q-2, Q-3, Q-6 y Q-9 (Tabla 5-56). La estimación del porcentaje de cobertura absoluta indicó que la estación de monitoreo con mayor presencia fue Q-1 la cual presento un rango de porcentaje de cobertura entre el 50 y 75% según escala de Braun-Blanquet.



<sup>(\*):</sup> Estación de monitoreo seca; (X) Señala presencia de macrófitas; (-) Señala la ausencia de macrófitas; (S/A): Sin acceso



## 6 DISCUSIONES

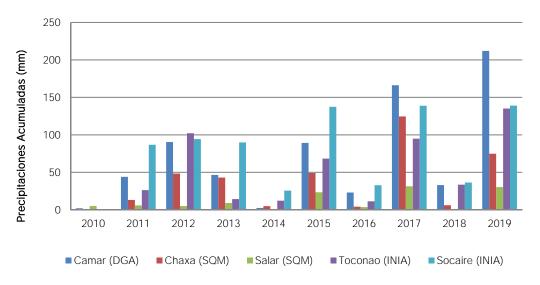
## 6.1 Antecedentes

Para efectos de complementar las discusiones, a continuación, se presentan los registros de precipitaciones ocurridas en el área de monitoreo. Para ellos se utilizó la estación meteorológica Camar de la DGA, las estaciones Chaxa y Salar de SQM y las estaciones Toconao y Socaire del INIA.

La estación Camar perteneciente a la DGA se ubica aproximadamente 10 km al este de la población de Algarrobos, que forma parte del presente monitoreo y por lo tanto es el dato más representativo de las condiciones meteorológicas que afectan a la población de algarrobos. En la Tabla 6-1 se evidencia que las precipitaciones se concentran en el periodo estival, con ocasionales precipitaciones invernales en el área donde se establecen los algarrobos. En verde se destacan los eventos de precipitación más significativos (sobre 15 mm).

Se destaca que la precipitación acumulada a la fecha del monitoreo equivale a 212 mm totales, representando un alza respecto del máximo histórico anual registrado el año 2017 (166,2 mm). Los registros de este año corresponden a la máxima precipitación ocurrida desde que comenzó el monitoreo (Figura 6-1).

Figura 6-1. Precipitaciones acumuladas anuales en el Borde Este del Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia



Tabla 6-1. Precipitaciones mensuales (mm) registradas en la estación meteorológica Camar (DGA).

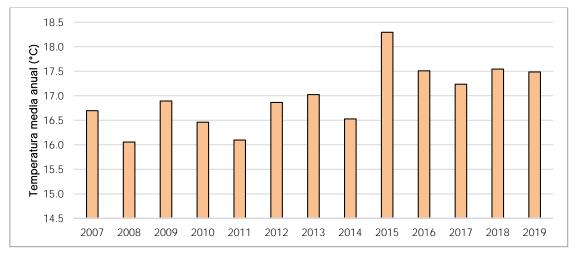
A # -						Mes	3						Total (mana)
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total (mm)
1995	22	-	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,5
1996	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	16
1997	1	51	8,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60,5
1998	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	2
1999	-	18	6	-	-1	-	-	-	-	-	-	1,5	25,5
2000	37,5	-	-	-	1	0,4	-	1	-	-	-	-	37,9
2001	-	16	82,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,5
2002	-	0,1	58	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	58,8
2003	-	7	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	17
2004	3	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	5
2005	23,5	-	1,5	1,5	-1	-	-	-	6,5	-	-	-	33
2006	6	7	-	-	0,2	-	-	0,2	-	-	-	-	13,4
2007	0,6	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,1
2008	1,2	4	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	5,2
2009	-	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
2010	-	-	-	-	2	-	-	1	-	-	-	-	2
2011	-	38,5	-	-	1	1	4	1	-	-	-	-	43,5
2012	14,3	73,8	2,3	-	1	-	-	1	-	-	-	-	90,4
2013	-	25,5	-	-	13	-	2	6	-	-	-	-	46,5
2014	1,4	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2,4
2015	-	24,2	63	-	-	-	-	-	-	2	-	-	89,2
2016	-	3	-	15	-	-	5	-	-	-	-	-	23
2017	44	95,2	-	2	8	17	-	-	-	-	-	-	166,2
2018	-	19,9	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	32,9
2019	101	111	-	-	-	-	-	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	212

Fuente: DGA, 2019. Fecha de consulta 11-11-2019.

Adicionalmente, se ilustra en la Figura 6-2 la gráfica de las temperaturas promedio anuales, extraídas de la estación de monitoreo Peine perteneciente a la DGA, cabe destacar que esta estación fue la única información en línea que presento datos para todo el periodo consultado. Al ser las temperaturas más homogéneas en el territorio esta información igualmente es válida para el sector.



Figura 6-2. Temperatura media anual.



Fuente: Elaboración propia.





# 6.2 Monitoreo de la vegetación del Borde Este 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 sector del Borde Este del Salar de Atacama, se discute el comportamiento histórico observado en los parámetros evaluados durante el período de monitoreo (2006-2019).

## 6.2.1 Análisis de las caracterizaciones en terreno

## 6.2.1.1 Estado vital

Con relación a la vitalidad de la vegetación presente en el Borde Este, durante el período de monitoreo (Figura 6-3) se han reconocido diferencias interanuales para los diferentes tipos vegetacionales presentes. Los resultados obtenidos en abril de 2019 registraron una disminución en la categoría Débil y Muy débil, con disminuciones de 18,1% y 4,1% respecto del año anterior. La categoría de vitalidad Normal presentó un aumento de 20,2%. Mientras que la categoría vigorosa no se registró en el periodo 2019, al igual que en el monitoreo anterior.

Los datos del presente año se asemejan a los datos obtenidos el año anterior 2011, a excepción de la categoría Vigoroso que no se presentó este año.

100% 90% 80% 70% 60% 50% 40% 30% 20% 10% 0% 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 0.0% Vigoroso 12.1% 1.0% 0.0% 7.1% 1.0% 1.0% 0.0% 0.0% 0.0% 2.0% 4.0% 10.1% 0.0% Normal 80.8% 85.9% 87.9% 70.7% 69.7% 89.9% 82.8% 58.6% 57.6% 85.9% 83.8% 76.8% 65.7% 73.7% ■ Débil 33.3% 27.3% 6.1% 7.1% 8.1% 13.1% 19.2% 26.3% 17.2% 15.2% 21.2% 3.0% 1.0% 7.1% ■ Muy débil 0.0% 2.0% 9.1% 0.0% 1.0% 1.0% 0.0% 0.0% 0.0% 0.0% 0.0% 0.0% 5.1% 1.0% ■ Sin Vegetación 4.0% 4.0% 5.1% 6.1% 6.1% 5.1% 5.1% 3.0% 4.0% 6.1% 5.1% 4.0% 4.0% 6.1%

Figura 6-3. Categorías de vitalidad de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Evolución temporal campañas 2006 – 2019.

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la categoría Normal es mayoritaria en todos los monitoreos realizados a la fecha, superando en todos los casos el 50% de las muestras. Una menor proporción de muestras se ha considerado en la categoría débil, siendo su mayor expresión en los periodos 2007 y 2008. Históricamente, se han observado una baja proporción de puntos con vitalidad vigorosa o muy débil.





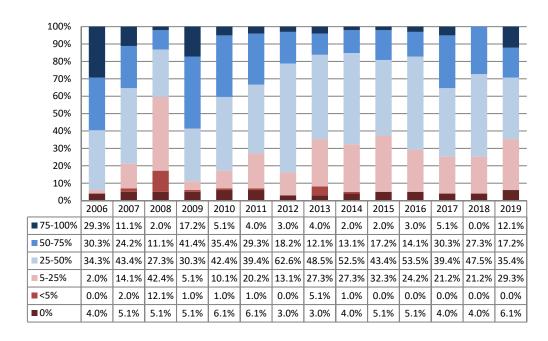
En el presente año, la cantidad de puntos en las categorías normal y débil acumulan el 92,9% de los registros. Al observar las precipitaciones (Tabla 6-1), se puede apreciar que el aumento en la vitalidad observada puede ser causa del alza de las precipitaciones en comparación con el año anterior, donde la precipitación actual corresponde al 644,4% de lo precipitado en 2018. (Figura 6-1).

## 6.2.1.2 <u>Porcentaje de copa viva</u>

Durante el periodo de monitoreo (2006-2019) se ha analizado también el comportamiento del porcentaje de copa viva de la vegetación presente (Figura 6-4). Los resultados han mostrado que la variación de copa viva fluctúan entre las categorías de 5-25% a la 50-75%.

En el período de monitoreo 2019, el 64,7% de las descripciones realizadas presentó categorías mayores a 25% (Figura 6-4). La categoría entre 25-50% presentó una disminución de 12,1% con respecto de 2018, mientras que la categoría de 5-25% aumento en un 8,1%, respecto al mismo periodo, también se observó una disminución en los registros ubicados en la categoría entre 50-75% que alcanzó los 10,1 puntos porcentuales. La disminución de la categoría 50-75% puede ser explicada por una importante alza en los registros sobre 75%, llegando al 12,1%. Cabe destacar que el año 2018 no hubo descripciones bajo esta categoría.

Figura 6-4. Proporción del porcentaje de copa viva de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Campañas abril 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que, si bien existen diferencias en la proporción relativa de las categorías de copa viva entre los distintos años de monitoreo, no se reconocen tendencias que indiquen una variación sostenida en el tiempo.

Respecto a la evaluación de los 14 puntos del margen oriental de la franja de vegetación, que contienen especies como Rica rica (*Aloysia deserticola*), Pingo pingo (*Ephedra multiflora*), Cachiyuyo (*Atriplex* 





atacamensis) y Ojalar (Atriplex imbricata), tienden a mantener su copa viva, respondiendo al carácter perenne de las especies.

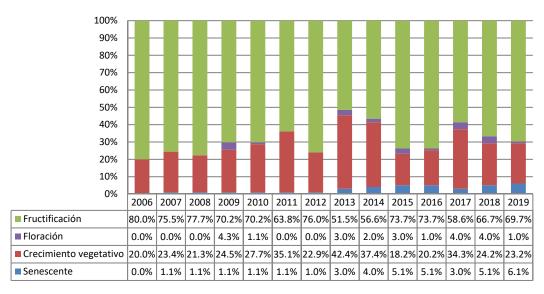
### 6.2.1.3 <u>Fenología</u>

Las observaciones de estado fenológico de la vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama ha mostrado que durante el periodo de monitoreo (2006-2019), la vegetación se encuentra mayoritariamente en estado de fructificación (Figura 6-5). En efecto, en todos los monitoreos, el 50% de las observaciones se encuentran en la etapa de fructificación, identificándose el mínimo en el año 2013 con un 51,5% de las observaciones clasificadas en esta categoría.

El crecimiento vegetativo es el segundo estado fenológico dominante alcanzando en promedio aproximadamente un 20% de los registros realizados desde el año 2006.

Los resultados obtenidos durante el periodo 2019, no muestran grandes variaciones respecto a los años anteriores, reportándose un 69,7% de las observaciones en estado fenológico de fructificación y el 23,2% con crecimiento vegetativo.

Figura 6-5. Fenología de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Resultados Históricos. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que la proporción de puntos identificados en la fase de reproducción, entendido como producción de flores o frutos, es variable año a año, lo cual es normal considerando que ciertos sectores pueden adelantar sus fases reproductivas o bien suprimirlas para favorecer el desarrollo de estructuras o propagación vegetativa en los años con menos acumulación de precipitaciones.

## 6.2.2 Distribución y abundancia de la vegetación mediante imágenes satelitales

En cuanto a la superficie total de vegetación, la superficie total registrada en 2019 fue de 17.495,67 ha. Respecto a la rectificación realizada en el año 2013, se aprecia que la superficie es la máxima en los monitoreos de vegetación (Tabla 6-2). Este incremento se debe principalmente al registro excepcional de Lukupa (*Cistanthes sp.*) en el periodo 2019 y en menor medida a Káuchal (*Tiquilia atacamensis*), cuyas





superficie históricamente se ha presentado como zona de vegetación escasa (cobertura de la vegetación inferior al 5%) en el margen oriental del Borde Este y que actualmente presenta cobertura vegetal semidensa (cobertura de la vegetación entre 50-75%), abierta (cobertura de la vegetación entre 25-50%), muy abierta (cobertura de la vegetación entre 10-25%) y rala (cobertura de la vegetación entre 5 a 10%).

A partir del monitoreo realizado el año 2017, se incorpora una formación vegetal correspondiente al matorral de Káuchal (*Tiquilia atacamensis*). Esta especie es procumbente o semi-erecta de hábito subarbustivo 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* parece ajustarse 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.

Para el periodo 2019 se identificó una formación ocasional dominada por la especie herbácea *Cistanthes sp.*, cuyo crecimiento está sujeto a condiciones climáticas puntuales, por lo cual son denominadas y conocidas como "pastos de lluvias" y su expresión en esta temporada se debería a las abundantes lluvias estivales, acontecidas durante enero a febrero 2019, donde se acumularon 212 mm (Tabla 6-1). Su mayor presencia en el área se verifica también en los registros florísticos, siendo la cuarta especies con mayor abundancia.

Debido a la condición eventual que determina la aparición del matorral de *Tiquilia atacamensis* y la pradera de *Cistanthes sp.*, sería esperable que en el siguiente monitoreo su presencia disminuya considerablemente, salvo que ocurra un evento de precipitaciones similar.

A continuación, en la Tabla 6-2 se presentan las superficies por tipo vegetacionales en cada uno de los monitoreos realizados a la fecha.

Tabla 6-2: Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 a 2019.

			Tip	o vegetaciona	al			
Año de monitoreo	Matorral de Brea	Matorral de Cachiyuyo – Ojalar	Matorral de Rica rica – Pingo pingo	Matorral de Káuchal	Pradera de Grama salada	Pajonal de Junquillo - Totora - Suncho	Pradera de Lukupa	TOTAL (ha)
2006	9.195,0	1.263,0	20,0	0,0	2.569,0	664,0	0,0	13.712,0
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





Tabla 6-2: Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 a 2019.

			Tip	o vegetaciona	al			
Año de monitoreo	Matorral de Brea	Matorral de Cachiyuyo – Ojalar	Matorral de Rica rica – Pingo pingo	Matorral de Káuchal	Pradera de Grama salada	Pajonal de Junquillo - Totora - Suncho	Pradera de Lukupa	TOTAL (ha)
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	8.033,51	2.069,12	547,68	651,7	2.197,58	1.456,45	2.539,64	17.495,67

Fuente: Elaboración propia.

Para los tipos vegetacionales permanentes del Borde Este del Salar de Atacama, la diferencias en las superficies cubierta por vegetación se relacionan con la dificultad de identificación de unidades vegetacionales de baja cobertura, principalmente las zonas de cobertura rala (5-10%). Esta situación se da principalmente 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 y tamaño 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.

En la Figura 6-6 se presentan de forma gráfica las superficies por tipo vegetacional hasta el año 2019. Al comparar los resultados con los datos obtenidos el año anterior, se observa que el matorral de *Tessaria absinthioides* (Brea) y la pradera de *Juncus balticus - Schoenoplectus americanus - Baccharis juncea* (Junquillo - Totora – Suncho) presentaron las mayores alzas en el periodo 2019, alcanzando 8.033,5 ha y 1.456,45 ha respectivamente (184,51 ha y 168,35 ha por sobre el registro del año anterior).

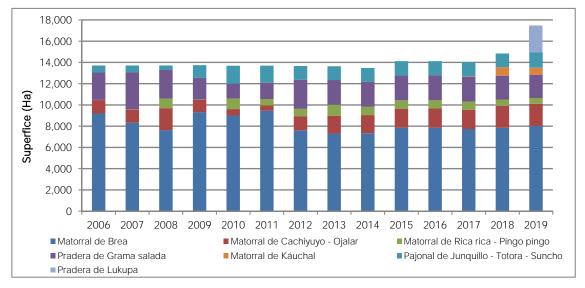
Por otra parte, el matorral de *A. deserticola – E. multiflora* (Rica rica-Pingo pingo) presentan una disminución de aproximadamente 40,22 ha. Mientras que la pradera de Grama salada también presentó una baja en su superficie de ocupación, registrando 37,82 ha menos que el año anterior.

El detalle de la variación de cobertura por tipo vegetacional es presentado en la Tabla 6-3.





Figura 6-6. Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 a 2019.



Fuente: Elaboración propia





Tabla 6-3. Superficie de los Tipos Vegetacionales del Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 - 2019 según cada informe de monitoreo.

F	0 - 1	Cobertura							Superf	icie (Ha)						
Formación	Cobertura	(%)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Matorral de	Semidenso	50-75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65,0	-	-
Aloysia deserticola -	Abierto	25-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83,8	185,4	273,38
Ephedra	Muy abierto	10-25	25,0	25,0	21,0	37,0	135,0	212,0	298,9	358,5	322,5	359,6	367,0	222,2	173,9	166,76
multiflora (Rica rica-Pingo	Ralo*	<10	1.385,0	1.385,0	1.337,0	1.324,0	1.231,0	1.218,0	1.150,8	-	-	-	-	-	-	ī
pingo)	Raiu	5-10%	-	=	T.	=	=	-	-	683,2	453,6	461,8	398,0	398,5	228,6	107,54
	Subtotal		1.410,0	1.410,0	1.358,0	1.361,0	1.366,0	1.430,0	1.449,7	1.041,7	776,1	821,4	765,0	769,5	587,9	547,68
Matorral de	Semidenso	50-75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,6	23,0
Atriplex atacamensis -	Abierto	25-50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,5	49,4	49,1	49,2	244,0	344,5	447,6	757,41
Atriplex	Muy abierto	10-25	65,0	65,0	51,0	43,0	43,0	39,0	196,6	746,3	750,5	753,5	680,0	648,2	783,5	726,02
<i>imbricata</i> (Cachiyuyo -	Ralo*	<10	329,0	329,0	329,0	332,0	334,0	338,0	499,9	-	-	-	-	-	-	-
Ojalar)	Raiu	5-10%	-	-	-	-	-	-	1	887,5	993,0	948,8	882,0	822,4	825,3	562,69
	Subtotal		394,0	394,0	380,0	375,0	377,0	377,0	724,0	1.683,2	1.792,6	1.751,5	1.806,00	1.815,1	2.074,0	2.069,12
	Denso	75-100	50,0	53,0	101,0	139,0	129,0	84,0	81,8	104,6	117,4	124,4	101,0	105,5	79,4	99,24
	Semidenso	50-75	337,0	354,0	491,0	521,0	430,0	321,0	543,1	365,7	375,1	348,2	365,0	500,3	526,5	674,78
Matorral de <i>Tessaria</i>	Abierto	25-50	1.622,0	1.596,0	1.801,0	1.865,0	2.109,0	2.119,0	1.935,3	1.072,2	1.051,0	1.168,4	1.952,0	2.049,1	2.226,3	2.854,31
absinthioides (Brea)	Muy abierto	10-25	2.462,0	2.852,0	3.324,0	3.328,0	3.933,0	3.953,0	3.174,8	2.926,8	2.895,6	3.430,1	3.019,0	2.733,2	2.660,6	2.379,04
, ,	Ralo*	<10	5.706,0	5.476,0	4.708,0	4.593,0	3.811,0	3.880,0	3.944,3	-	-	-	-	-	-	i
	Kalu	5-10%	-	Ξ	T.	Ξ	=	T.	T.	2.831,5	2.891,9	2.794,0	2.434,0	2.347,2	2.327,4	2.026,14
	Subtotal		10.177,0	10.331,0	10.425,0	10.446,0	10.412,0	10.357,0	9.679,3	7.300,8	7.331,0	7.865,1	7.871,0	7.735,3	7.820,2	8.033,51
Matorral de	Muy abierto	10-25	-		i	-	-	•	•	-	-	-	-	-	811,8	651,69
Tiquilia atacamensis	Ralo*	<10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Káuchal)	Naio	5-10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,3	-	-
	Subtotal		-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	34,3	811,8	651,69



Tabla 6-3. Superficie de los Tipos Vegetacionales del Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 - 2019 según cada informe de monitoreo.

	Cobertura	Cobertura							Superf	icie (Ha)						
Formación	Copertura	(%)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Denso	75-100	10,0	10,0	18,0	8,0	8,0	7,0	378,5	116,0	132,1	133,7	134,0	135,6	145,0	154,37
	Semidenso	50-75	8,0	8,0	29,0	26,0	56,0	51,0	248,8	249,7	242,8	221,2	220,0	218,8	190,0	265,78
Pradera de <i>Distichlis</i>	Abierto	25-50	400,0	399,0	477,0	541,0	595,0	572,0	327,6	342,7	322,5	318,3	392,0	393,7	438,3	418,62
<i>spicata</i> (Grama salada)	Muy abierto	10-25	926,0	810,0	804,0	867,0	1.028,0	1.124,0	872,3	795,4	848,3	848,2	966,0	816,9	670,7	937,27
(Grama salada)	Ralo*	<10	2.465,0	2.376,0	2.281,0	2.167,0	1.755,0	1.670,0	1.314,0	-	-	-	-	-	-	-
	Raio	5-10%	-	-	-	-	-	-	-	815,1	815,1	820,4	645,0	784,1	791,1	421,54
	Subtotal		3.809,0	3.603,0	3.609,0	3.609,0	3.442,0	3.424,0	3.141,2	2.318,9	2.360,8	2.341,8	2.357,0	2.349,1	2.235,1	2.197,58
Pajonal de	Denso	75-100	262,0	281,0	331,0	270,0	249,0	200,0	208,9	264,5	292,9	300,4	293,0	254,2	258,8	304,14
Juncus balticus -	Semidenso	50-75	98,0	87,0	69,0	187,0	201,0	181,0	161,9	240,9	243,9	279,4	210,0	228,2	226,9	242,87
Schoenoplectu s americanus -	Abierto	25-50	385,0	419,0	459,0	465,0	493,0	463,0	552,8	291,7	266,1	257,9	315,0	340,4	276,4	470,68
Baccharis juncea	Muy abierto	10-25	469,0	429,0	449,0	390,0	458,0	482,0	472,6	263,9	272,8	290,4	290,0	292,1	310,9	233,35
(Junquillo - Totora –	Ralo*	<10	249,0	249,0	195,0	189,0	301,0	385,0	395,4	-	-	-	-	-	-	-
Suncho)	Raio	5-10%	-	-	-	-	-	-	-	229,1	224,4	213,2	215,0	212,5	215,1	205,41
	Subtotal		1.463,0	1.465,0	1.503,0	1.501,0	1.702,0	1.711,0	1.791,6	1.290,1	1.300,1	1.341,3	1.323,0	1.327,4	1.288,1	1.456,45
	Semidenso	50-75%	•	-	-	1	-	1	ı	-	ı	1	-	-	-	742,86
Pradera	abierto	25-50%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	696,64
Cistanthe sp. (Lukupa)	Muy abierto	10-25%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.003,10
	ralo	5-10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	97,04
	Subtotal		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.539,64
	Total		17.253,0	17.203,0	17.275,0	17.292,0	17.299,0	17.299,0	16.785,8	13.634,7	13.560,6	14.121,1	14.122,0	14.030,7	14.817,1	17.495,67

Entre el año 2006 y 2012 se consideraba que la categoría "Ralo" incluía todos aquellos polígonos cuya cobertura era menor a 10%. Las modificaciones metodológicas efectuadas luego de la campaña de terreno del año 2013 separaron la categoría "Ralo" (cobertura <10%) en las siguientes dos categorías: "Ralo" (cobertura entre 5 y 10%) y "Zona de Vegetación Escaza (cobertura menor a 5%). Fuente: Elaboración propia.



## 6.3 Monitoreo de la vegetación en Zona de Conexión vegetaciónacuífero

La siguiente parte de la discusión recopilará los resultados históricos obtenidos en los puntos de monitoreo distribuidos en la denominada Zona de Conexión vegetación – acuífero. La variación en superficie se ha integrado con el análisis realizado para el monitoreo de Borde Este, dado que los puntos abastecen la base de datos para la actualización del mapa.

## 6.3.1 Vitalidad

Los resultados expuestos en la Tabla 6-4 y Figura 6-7 muestra que la vitalidad medida en los puntos de monitoreo no presenta grandes diferencias entre la medición realizada en enero y abril. Al comparar estos valores entre años se observa que desde el año 2008 la vitalidad se ha distribuido mayoritariamente en la categoría normal.

El año 2015, presenta un comportamiento diferente donde las plantas tuvieron la tendencia a concentrarse en la categoría débil. Al compararlos con los resultados anteriormente discutidos, se aprecia que hubo un fenómeno climático general, asociado a sequia entre marzo de 2013 a enero de 2015 (Tabla 6-1) que provocó el descenso de las categorías de vitalidad y porcentaje de copa viva. El caso contrario se presentó durante el monitoreo de 2017, donde la mayor parte de los puntos de monitoreo se presentaron vigorosos, lo que coincide con la alta acumulación de precipitaciones entre enero y febrero del mismo año.

Para el año 2019, se aprecia que las categorías normal y débil predominan al igual que el año 2018, dominando la categoría normal.

Tabla 6-4. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de vitalidad. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019.

Año de	Mes de		Categorías de vitalidad								
monitoreo	monitoreo	Seco	Muy débil	Débil	Normal	Vigoroso	Total				
2007	Abril	-	-	11	8	-	19				
2000	Enero	-	-	6	13	-	19				
2008	Abril	-	2	10	7	-	19				
2000	Enero	-	-	1	18	-	19				
2009	Abril	-	-	1	18	-	19				
2010	Enero	-	-	-	19	-	19				
2010	Abril	-	-	1	18	-	19				
2011	Enero	-	-	-	19	-	19				
2011	Abril	-	-	2	17	-	19				
2012	Enero	-	-	-	19	-	19				
2012	Abril	-	-	1	18	-	19				
2012	Enero	-	-	-	19	-	19				
2013	Abril	-	-	2	17	-	19				
2014	Enero	-	-	-	18	1	19				



Tabla 6-4. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de vitalidad. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019.

Año de	Mes de		Total					
monitoreo	monitoreo	Seco	Muy débil	Débil	Normal	Vigoroso	- Iotai	
	Abril	-	-	-	19	-	19	
2015	Enero	-	5	14	-	-	19	
	Abril	-	1	18	-	-	19	
2016	Enero	-	-	1	18	-	19	
	Abril	-	-	2	17	-	19	
2017	Enero	-	-	-	1	18	19	
	Abril	-	-	-	5	14	19	
2018	Enero	-	-	4	15	-	19	
	Abril	-	-	2	17	-	19	
2019	Enero	-	-	6	13	-	19	
	Abril	-	-	5	14	-	19	

Fuente: Elaboración propia.



2019 Ahril Enero 2018 Abril Enero 2017 Abril Enero 2016 Abril Enero 2015 Abril Enero 2014 Abril Enero 2013 Abril Enero 2012 Abril Enero 2011 Abril Enero 2010 Abril Enero 2009 Abril Enero Abril Enero 2007 Abril 0 4 6 8 10 12 14 16 18 20 ■ Muy débil Débil Seco Normal ■ Vigoroso

Figura 6-7. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de vitalidad. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019.

Fuente: Elaboración propia

## 6.3.2 Porcentaje de copa viva

El porcentaje de copa viva observado en los puntos de monitoreo de la zona de conexión indica que no existen diferencias significativas entre los resultados del presente año respecto a los años anteriores (Tabla 6-5). La tendencia general de los puntos es a presentar porcentajes de copa viva distribuidos entre 25 a 75%.

En el monitoreo de abril de los años 2008, 2010, 2011, 2013, 2016 y 2017, se ha identificado un aumento en la cantidad los puntos de monitoreo que presentan copa viva inferior al 25%, lo cual puede relacionarse con el inicio de periodos recesivos, debido a que en el monitoreo de enero los mismos puntos fueron descritos con categorías de vitalidad superior.

Tabla 6-5. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Porcentaje de copa viva. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019.

Año de monitoreo	Mes de	Porcentaje de copa viva								
	monitoreo	0%	<5%	5-25%	25-50%	50-75%	75-100%	Total		
2007	Abril	-	-	1	13	5	-	19		





Tabla 6-5. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Porcentaje de copa viva. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019.

Año de monitoreo	Mes de monitoreo	Porcentaje de copa viva									
		0%	<5%	5-25%	25-50%	50-75%	75-100%	Total			
	Enero	-	-	1	7	7	4	19			
2008	Abril	-	-	7	12	-	-	19			
	Enero	-	-	-	6	7	6	19			
2009	Abril	-	-	-	6	13	-	19			
2010	Enero	-	-	-	3	7	9	19			
2010	Abril	-	-	3	6	8	2	19			
0011	Enero	-	-	-	-	-	19	19			
2011	Abril	-	-	3	11	5	-	19			
2012	Enero	-	-	-	6	8	5	19			
	Abril	-	-	-	11	8	-	19			
2013	Enero	-	-	-	6	13	-	19			
	Abril	-	-	5	11	3	-	19			
	Enero	-	-	2	12	4	1	19			
2014	Abril	-	-	-	16	3	-	19			
0015	Enero	-	-	8	11	-	-	19			
2015	Abril	-	-	1	13	5	-	19			
2017	Enero	-	-	-	10	8	1	19			
2016	Abril	-	-	5	14	-	-	19			
2017	Enero	-	-	-	-	9	10	19			
2017	Abril	-	-	5	10	4	-	19			
2010	Enero	-	-	2	9	7	1	19			
2018	Abril	-	-	2	14	3	-	19			
2010	Enero	-	-	2	10	7	-	19			
2019	Abril	-	-	2	9	8	-	19			

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que en el monitoreo de enero se observan mayores valores de porcentaje de copa viva que los evaluados en abril, periodo próximo a que se inicien los procesos recesivos del invierno continental (Figura 6-8).



2019 Abril Enero 2018 Abril Enero 2017 Abril Enero 2016 Abril Enero 2015 Abril Enero 2014 Abril Enero 2013 Abril Enero 2012 Abril Enero 2011 Abril Enero 2010 Abril Enero Abril Enero 2008 Abril Enero 2007 Abril 0 2 6 8 10 12 16 18 20 4 14 **O 5-25**% **50-75**% **75-100%** <5% **25-50%** 

Figura 6-8. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de porcentaje de copa viva. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019.

Fuente: Elaboración propia.

## 6.3.3 Fenología

El estado fenológico registrado para las especies monitoreadas (Figura 6-9), muestra el comportamiento esperado para las especies, donde en el mes de enero, se registra el periodo de mayor vitalidad dada la ocurrencia de precipitaciones en la zona.

Los individuos tienden a encontrarse en estado de floración o iniciando el periodo de fructificación. En el mes de abril se aprecia una concentración de ejemplares en estado de fructificación, lo que corresponde al término del periodo fenológico anual, considerando que, los resultados de porcentaje de copa viva y vitalidad indican que comienza el periodo recesivo de invierno.





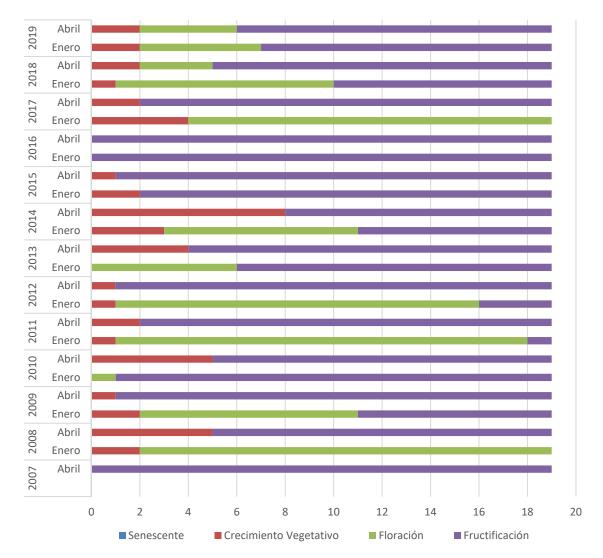
Tabla 6-6: Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Etapas fenológicas. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019.

Año de	Mes de	Etapa fenológica									
monitoreo	monitoreo	Senescente	Crecimiento	Floración	Fructificación	Total					
2007	Abril	-	-	-	19	19					
2008	Enero	-	2	17	-	19					
	Abril	-	5	-	14	19					
2000	Enero	-	2	9	8	19					
2009	Abril	-	1	-	18	19					
2010	Enero	-	-	1	18	19					
2010	Abril	-	5	-	14	19					
2011	Enero	-	1	17	1	19					
2011	Abril	-	2	-	17	19					
2012	Enero	-	1	15	3	19					
	Abril	-	1	-	18	19					
2013	Enero	-	-	6	13	19					
	Abril	-	4	-	15	19					
	Enero	-	3	8	8	19					
2014	Abril	-	8	-	11	19					
0045	Enero	-	2	-	17	19					
2015	Abril	-	1	-	18	19					
2017	Enero	-	-	-	19	19					
2016	Abril	-	-	-	19	19					
2017	Enero	-	4	15	-	19					
2017	Abril	-	2	-	17	19					
2010	Enero	-	1	9	9	19					
2018	Abril	-	2	3	14	19					
2010	Enero	-	2	5	12	19					
2019	Abril	-	2	4	13	19					

Fuente: Elaboración propia



Figura 6-9. Frecuencia de puntos de muestreo en Zona de conexión vegetación – acuífero. Categorías de fenología. Campañas abril 2007, enero-abril de 2008 – 2019.



Fuente: Elaboración propia





# 6.4 Monitoreo de Algarrobos en el sector pozo Camar-2

En las inmediaciones del pozo de extracción Camar 2 de SQM S.A. en el Borde Este del Salar de Atacama, se desarrolla una población de Algarrobo, la cual, en 2006 se integró por 71 individuos, los que fueron identificados y etiquetados para su seguimiento temporal.

La población de algarrobos objeto de estudio han sufrido los efectos de aluviones a través del tiempo, registrándose desde el 2012 individuos desaparecidos o desprendidos. En 2019 se produjo evento aluvial de gran envergadura, el que arrasó con 8 ejemplares.

En vista que se ha producido una variación en el universo de individuos, produciendo imprecisiones en la evaluación temporal y distorsión en la comparación histórica, es que los ejemplares desaparecidos son excluidos de los análisis siguientes<sup>17</sup>.

## 6.4.1 Análisis de variables medidas

#### 6.4.1.1 Vitalidad

Los resultados históricos de las mediciones de la Vitalidad y sus tendencias según categoría realizadas sobre los Algarrobos (período 2006 a 2019) se muestran en la Tabla 6-7 y Figura 6-10.

- Seco: En la línea base del año 2006 se identificaron 12 individuos secos, estos ejemplares 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, llegando en el año 2019 a 29 individuos (Coeficiente de determinación (R²) de 0,8483 Ver Figura 6-10 (1)).
- <u>Muy débil:</u> El presente año no registra ejemplares bajo esta categoría. Siendo 8 individuos menos que el año 2018. No se observa una tendencia a lo largo de los años (R<sup>2</sup> = 0,0043). (Ver Figura 6-10 (2)).
- <u>Débil</u>: En el año 2006 (línea base) se reportaron 6 ejemplares en esta categoría, durante todo este periodo de seguimiento (2006 2019) se han reportado fluctuaciones en el número de individuos, lo que muestra la adaptabilidad de la especie cuando los recursos hídricos son escasos. En el presente monitoreo se registran 4 individuos en la categoría débil, respecto al 2018, son 4 ejemplares menos (Tabla 6-7). Dada la oscilación en el número de ejemplares, no se observa una tendencia general (R² = 0,0016; Figura 6-10 (3)).
- <u>Crecimiento Normal:</u> En el año 2006 (línea base) se reportaron 48 individuos en esta categoría, desde el 2009 el número de ejemplares se ha distribuido entre 20 a 30 ejemplares. La tendencia de los datos es positiva y débil (R<sup>2</sup> = 0,5455). En el presente año se reportan 24 individuos, equivalente a 3 individuos más en relación con el año pasado (21 ejemplares) (Ver Figura 6-10 (4)).
- Excepcionalmente Vigoroso: Muestra una tendencia con valores cercanos a 0 a lo largo de todos los años (R² = 0,0004), (ver Figura 6-10 (5)), con excepción del año 2008 (3 ejemplares), año 2011 (1 ejemplar), 2012 (4 ejemplares), 2018 (un ejemplar) y 2019 (2 ejemplares).
- <u>Individuos desaparecidos:</u> Es importante señalar que 8 ejemplares se definieron como desaparecidos o desprendidos del área de estudio en el momento del monitoreo 2019 (ver). De

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> El monitoreo contempla la prospección de los 71 ejemplares, visitando de igual forma el sitio donde se ubicaron los ejemplares desaparecidos.



-

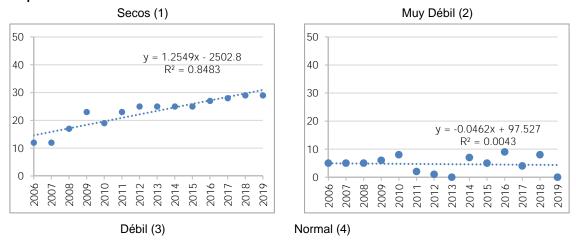


ellos 4 se encontraban con un grado de vitalidad en el momento del evento. La identificación de estos individuos se reportó debidamente a la SMA<sup>18</sup>.

Tabla 6-7. Vitalidad de la población de Algarrobos. Campañas 2006 – 2019.

Vitalidad	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Máximo	Mínimo	Promedio
Seco	12	12	17	23	19	23	25	25	25	25	27	28	29	29	29	12	23
Muy débil	5	5	5	6	8	2	1	0	7	5	9	4	8	0	9	1	5
Débil	6	7	7	15	19	24	14	11	16	16	17	9	8	4	24	4	12
C. normal	48	47	39	27	25	21	26	34	20	22	15	26	21	24	48	15	28
Vigoroso	0	0	3	0	0	1	4	0	0	0	0	0	1	2	4	1	2
Desaparecidos	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	8	-	-	-
Desaparecidos acumulados	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	3	4	4	12	-	-	-
Total, por año	71	71	71	71	71	71	70	70	68	68	68	67	67	59	-	-	-
Total, muestra	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	-	-	-

Figura 6-10. Tendencia de la Vitalidad de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2019.

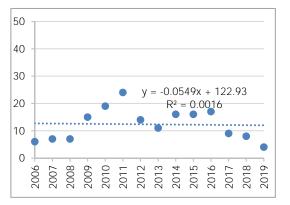


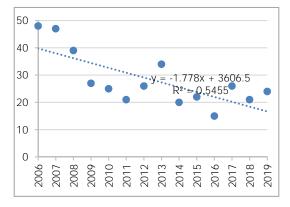
<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> Comprobante reporte de aviso/contingencia/incidente. Cod: RIA4549.



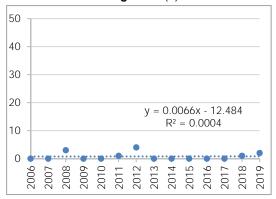
PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL - GEOB.SQM545.INF001

Figura 6-10. Tendencia de la Vitalidad de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2019.





## Vigoroso (5)



(1): Seco (2): Muy débil (3): Débil (4): Crecimiento normal (5): Excepcionalmente vigoroso.

La Figura 6-11 muestra la evolución de la vitalidad de la población de algarrobos en el tiempo, como dato adicional se muestran las precipitaciones acumuladas anuales. En grafico muestra que la categoría seca tuvo un aumento desde el inicio del monitoreo, llegando al doble de ejemplares en 2019 respecto al 2006.

Las categorías intermedias muy débil y débil muestran oscilaciones, sin mostrar una tendencia en el tiempo. La categoría de crecimiento normal muestra disminuciones en el número de ejemplares descritos en cada periodo, pasando de 48 individuos en 2006 a 24 en 2019.



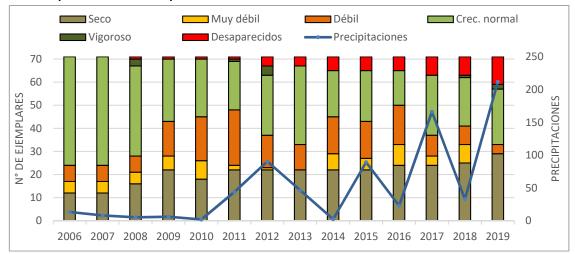


Figura 6-11. Precipitaciones anuales y Número de ejemplares de Algarrobos según vitalidad en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2019.

A lo largo del monitoreo del Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama, se han visualizado ejemplares de algarrobo enterrados y/o desprendidos del suelo, por efecto de la dinámica aluvial activa en el sector.

La Figura 6-12 muestra la cantidad de ejemplares registrados como secos cada año. En la misma figura se observa un periodo de sequía entre los años 2006 a 2010, en el cual, se registró el mayor número de ejemplares secos a la fecha (5 secos en 2008 y 6 en 2009). Sin embargo, cuatro de los seis ejemplares secos en 2009 tuvieron algún grado de vitalidad el año siguiente (estado vital muy débil y débil).

Durante el 2011 y 2013, se observa un alza en las precipitaciones, periodo en el cual, la frecuencia de ejemplares secos fue menor al número de los años anteriores (4 en 2011 y 4 en 2012). De estos, sólo un ejemplar seco en 2011 tuvo algún grado de vitalidad al año siguiente.

En el año 2014, prácticamente no llovió, registrando una precipitación anual de 2,4 mm. En este periodo se identificaron dos individuos secos. Luego, en el periodo 2015 las lluvias alcanzaron 89,2 mm y no se registraron individuos secos. Los años posteriores tuvieron alzas y bajas de precipitaciones, sin llegar a los extremos observados los primeros años de monitoreo y la cantidad de secos varió entre uno a dos ejemplares por año. Mientras que en el 2019, el aumento en significativo de las precipitaciones provocó un evento aluvial de gran volumen, el cual desprendió 8 ejemplares (cuatro de ellos con algún grado de vitalidad).

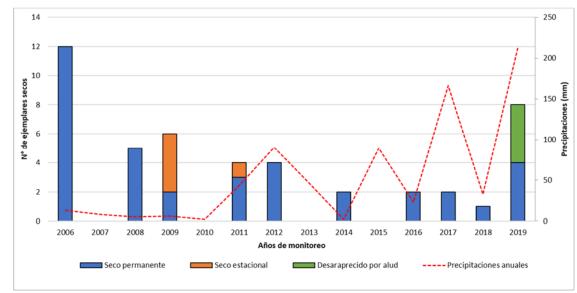


Figura 6-12. Individuos secos por año de monitoreo y su relación con las precipitaciones en la zona

Otro factor por considerar respecto a los individuos secos es la relación con la altura de los ejemplares. En este sentido, la mayoría de los individuos secos (6 ejemplares) tenían una altura entre 0 y 0,25 m (Figura 6-13) y solo un 5% tenía un tamaño mayor a 2 metros (1 individuo).

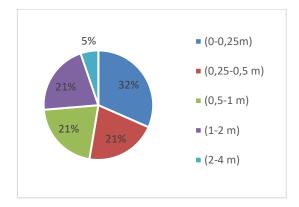


Figura 6-13. Última altura registrada de los individuos secos

## 6.4.1.2 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 2019), se muestran en la Tabla 6-8 y Figura 6-14. Al respecto se observa:

- Copa viva 0%: Para el año 2019, se registraron 29 ejemplares sin follaje. Desde el comienzo del monitoreo, con 12 ejemplares en esta categoría (línea base), se observa una tendencia al aumento del número de individuos en relación con el tiempo, con un R² de 0,8649 (Ver Figura 6-14 (1)).
- Copa viva <5%: Para la categoría <5% de copa verde, en el año 2019, no se registraron individuos, lo que equivale al mínimo histórico a la fecha. Por otro lado, en el año 2018 se reporta el máximo histórico con 8 ejemplares, similar al año 2010. No se observa una tendencia en el tiempo (R²=0,0006), dado que hay años donde aumenta el número de ejemplares y otros en donde disminuye (Ver Figura 6-14 (2)).



- Copa viva 5-25%: En la categoría de 5-25% de copa verde, el año 2019 presento 3 individuos. Uno menos que el año anterior y 11 menos que el año base. Esta categoría ha sido variable en el tiempo, no observándose tendencias significativas, teniendo a la fecha un coeficiente de determinación de 0,0541 (Ver Figura 6-14 (3)).
- Copa viva 25-50%: En la categoría 25-50% de copa verde, el número de individuos registrados en el año 2006 presentó el máximo histórico (22 ejemplares), en el presente monitoreo se registraron 7 individuos bajo esta categoría, 2 ejemplares menos respecto al año anterior (9 ejemplares). Tampoco se observa una tendencia histórica en el número de ejemplares, representados por un R² = 0,1897 (Ver Figura 6-14 (4)).
- <u>Copa viva 50-75%:</u> En cuanto a la categoría 50-75% de copa verde, el presente año registra un valor de 16 ejemplares, 8 individuos más que al año anterior. Respecto al año base, a la fecha existes 7 árboles más que los contabilizados inicialmente. Se observa fluctuaciones en la cantidad de individuos a lo largo de los años presentando un R<sup>2</sup> de 0,0475 (Ver Figura 6-14 (5)).
- <u>Copa viva 75-100%</u>: Finalmente, respecto de la categoría de mayor copa viva (75-100%) en el año 2006 se registraron 13 ejemplares. En la presente campaña se observaron 4 ejemplares, lo que equivale a 5 individuos menos que lo visto el año anterior. El comportamiento histórico muestra una disminución que inicia posterior a los registros del año 2008. Estas fluctuaciones están representadas con un R² de 0,5586 (Ver Figura 6-14 (6)).

Tabla 6-8. Copa viva de la población de Algarrobo. Campañas 2006 – 2019.

Copa viva	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Máximo	Mínimo	Promedio
0%	12	14	17	23	19	23	25	25	25	25	27	28	29	29	29	12	23
<5%	1	7	0	5	8	7	6	7	5	1	6	3	8	0	8	0	5
5-25%	14	5	5	6	6	3	5	5	9	7	10	8	4	3	14	3	6
25-50%	22	7	9	9	11	12	12	10	10	11	7	11	9	7	22	7	11
50-75%	9	12	9	8	13	17	12	14	12	13	10	11	8	16	17	8	12
75-100%	13	26	31	20	14	9	10	9	7	11	8	6	9	4	31	4	13
Desaparecidos	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	8	-	-	-
Desaparecidos acumulados	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	3	4	4	12	-	-	-
Total por año	71	71	71	71	71	71	70	70	68	68	68	67	67	59	-	-	-
Total muestra	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	-	-	-



(1) (2)= 1.2066x - 2405.3  $R^2 = 0.8649$ = -0.0176x + 39.956 $R^2 = 0.0006$ (3)(4)v = -0.167x + 342.58-0.389x + 793.38  $R^2 = 0.0541$ = 0.1897 (5)(6)y = 0.1451x - 280.21 $R^2 = 0.0475$ -1.3956x + 2821 R 0.5586 

Figura 6-14. Tendencia de la Copa viva de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2019.

(1): 0%, (2): <5%, (3): 5-25%, (4): 25-50%, (5): 50-75%, (6): 75-100%.

La proporción de copa viva de la población de Algarrobos y su relación con las precipitaciones locales se ilustra en la Figura 6-15. En el año 2019 las precipitaciones estivales alcanzaron los 212 mm (representando el 100% del total anual), en este periodo se ve un aumento en la cantidad de ejemplares desaparecidos y un aumento de aquellos ubicados en la categoría 50-75%. Este hecho se observa también durante los años anteriores, donde a medida que las precipitaciones aumentan el número de ejemplares en estas categorías también lo hace.

Las oscilaciones de precipitación interanuales impactan en la variable Copa viva de los individuos de *P. flexuosa*, en los años donde las precipitaciones superan los 40 mm los individuos tienden a aumentar la porción de copa viva, lo que guarda relación con la vitalidad, ya que los ejemplares con mejores





características (crecimiento normal), son aquellos más propensos a tener un aumento en su copa. Los individuos secos y muy débiles difícilmente presentan mejoras.

0% <5% 5-25% 25-50% **■** 50-75% 75-100% Desaparecidos Precipitaciones 250 70 60 200 DE EJEMPLARES PRECIPITACIONES 50 150 40 30 100 20 50 10 0 0 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019

Figura 6-15. Precipitaciones anuales y Número de ejemplares de Algarrobo según % de copa viva en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2019.

## 6.4.1.3 Fenología

Respecto a la Fenología, la Tabla 6-9 y Figura 6-16 muestran los resultados a lo largo de los años de monitoreo.

- <u>Secos:</u> Los individuos secos mantuvieron el registro del año anterior, sin embargo, a través del tiempo se aprecia una tendencia al aumento de esta variable, con un coeficiente de determinación de 0,8152 (Figura 6-16 (1)).
- <u>Crecimiento vegetativo:</u> En la categoría crecimiento vegetativo se observa una tendencia a la baja de individuos, disminuyendo en 2019 respecto al año anterior en 8 ejemplares. En cuanto al promedio de individuos bajo esta categoría, se estima que a partir del año 2016 los registros se ubicaron por debajo de este, a excepción de los resultados del año 2012 y 2016 (Figura 6-16 (2)).
- <u>Floración</u>: A lo largo de todos los años no se han registrado individuos con floración, lo cual se debe principalmente a que la etapa de floración de Algarrobo se produce durante los meses de primavera tardía (diciembre a enero).
- <u>Fructificación:</u> La tendencia hacia el registro de individuos en categoría de Fructificación es variable en el tiempo. Se aprecian años donde estos llegan a 0 y años donde este valor se presenta excepcionalmente alto (como es el caso del año 2012, donde hubo 16 registros). Si bien estas variaciones son aisladas en el tiempo, la tendencia a encontrar poca cantidad de individuos con frutos en la época del monitoreo predomina a través de los años, tal como se muestra en la Figura 6-16 (4).

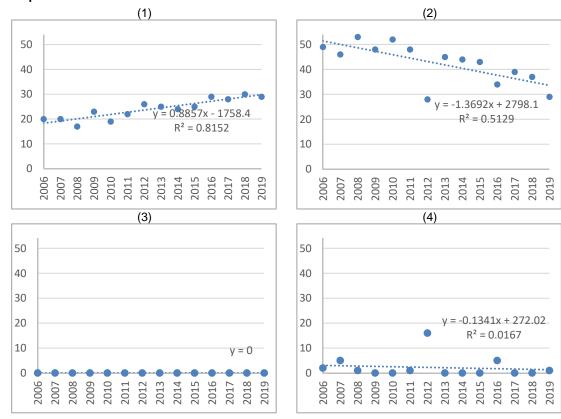




Tabla 6-9. Fenología de los ejemplares de *Algarrobo* en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2019.

Fenología	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Máxima	Mínima	Promedio
Senescente	20	20	17	23	19	22	26	25	24	25	29	28	30	29	30	17	24
C. Vegetativo	49	46	53	48	52	48	28	45	44	43	34	39	37	29	53	28	43
Floración	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fructificación	2	5	1	0	0	1	16	0	0	0	5	0	0	1	16	0	2
Desaparecidos	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	8	-	-	-
Desaparecidos acumulados	0	0	0	0	0	0	1	1	3	3	3	4	4	12	-	-	-
Total por año	71	71	71	71	71	71	70	70	68	68	68	67	67	59	-	-	-
Total	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	-	-	-

Figura 6-16. Tendencia de la Fenología de ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campañas 2006 – 2019.



(1): Senescente (2): C. Vegetativo (3): Floración (4) Fructificación (5): No aplica.





# 6.4.1.4 <u>Daño por agentes externos</u>

Se incluye por tercer año consecutivo la medición del daño en los individuos de Algarrobo (Tabla 6-10). Los resultados indican que un 45,76% de ellos posee deterioro producto de ramoneo, respecto al año anterior hay 29 individuos menos en esta categoría. Además, un 52,54% de los ejemplares no posee daños aparentes. Por otra parte, no se registran individuos con daño antrópico, y solo un 1,69% de la muestra presento ambos tipos de daño (animal y antrópico).

Los individuos desaparecidos a la fecha producto del aluvión registrado en febrero 2019, no son incorporados en el análisis anterior, la condición de los árboles varía de un año a otro, por lo que no es posible extrapolar el tipo de daño que tendrían en 2019.

Tabla 6-10. Proporción (%) del tipo de daño en ejemplares de Algarrobo en el área del pozo Camar 2. Campaña 2017, 2018 – 2019.

	20	17	20	118	20	19
Daño	N° de árboles	% de individuos	N° de árboles	% de individuos	N° de árboles	% de individuos
Ambos daños	3	4,48%	0	0,00%	1	1,69%
Daño animal	36	53,73%	56	83,58%	27	45,76%
Daño antrópico	2	2,99%	0	0,00%	0	0,00%
Sin daño	26	38,81%	11	16,42%	31	52,54%
No aplica	4	-	4	-	12	-

Los individuos con daño animal predominan a través del tiempo en forma variable, esta condición se encuentra conectada directamente con la vitalidad y porcentaje de copa viva de los individuos, debido a que afecta el crecimiento normal de la copa. Los animales tienden a alimentarse de frutos y ramillas con poca lignificación, reduciendo la superficie fotosintética del follaje, lo que genera una degradación de los ejemplares de *P. flexuosa*.

La población en 2019 se encuentra con mejores estadísticas que los años anteriores, principalmente por que la cantidad de individuos en con algún tipo de daño es menor que los periodos pasados y, además el número de ejemplares sin daño aumento respecto al 2018.

En la Figura 6-17 se muestran ejemplos de daño por ramoneo.

Figura 6-17. Muestras de ramoneo en distintos ejemplares de Algarrobo.







Ejemplar: A-48 Ubicación UTM WGS84 H19S 598.314 - 7.409.784





# 6.4.2 Análisis de la dinámica de los algarrobos

El género *Prosopis* posee 44 especies arbustivas y arbóreas que 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, *Prosopis alba* se distribuye en el extremo norte, específicamente en las quebradas costeras de la región de Arica y Parinacota (Luebert & Pliscoff, 2006), en la Pampa del Tamarugal y siguiendo la quebrada del río Loa hasta su desembocadura (Luebert & Pliscoff, 2006, Rodríguez *et al.* 1983, Altamirano & Donoso, 2006).

En el área de estudio la distribución de los Algarrobos se encuentra asociada al cauce aluvial de la Quebrada de Camar (CRICYT, 2018), sector en el cual hay alta radiación, altas oscilaciones térmicas y los suelos son suelos pobres, arenosos rocosos, de baja disponibilidad de agua y con alta salinidad.

Al igual que la mayoría de las especies del género, *P. alba* desarrolla un sistema de raíces dimórfico, con raíces verticales pivotantes que profundizan varios metros y raíces superficiales que se extienden lateralmente y que facilita el acceso al agua en profundidad y superficial, lo que, además, permite redistribuir el agua en el perfil de suelo (Cisneros & Moglia, 2017; Villagra *et al.*, 2010).

Se desconoce la profundidad máxima de enraizamiento de esta especie, pero hay evidencias de que puede llegar a desarrollar raíces superficiales laterales de más de 30 m 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 esta se encuentra entre los 13 y 17 metros de profundidad (Jobbágy *et al.*, 2008; Villagra *et al.*, 2010).

Por otra parte, en consideración a que los algarrobos se ubican en el cono aluvial de la Quebrada de Camar, es esperable que estas plantas estén recibiendo agua de las esporádicas escorrentías sobre este cauce o un posible humedecimiento del perfil del suelo por este aporte de agua (CRICYT, 2018), teniendo un comportamiento vadosófito.

El estudio isotópico de fuentes de agua y agua xilemática de algarrobo realizado por el CRICYT (2018) reafirmaría lo anterior, al indicar que los Algarrobos de Camar estarían consumiendo principalmente agua de horizontes superficiales del suelo, considerando que el agua xilemática de los ejemplares medidos presenta firmas isotópicas distintas a la del agua subterránea y al agua superficial.

En consecuencia, los ejemplares de Algarrobo aprovecharían el agua subsuperficial almacenada en el horizonte arcilloso del suelo, independizándose de los aportes directos de las precipitaciones y de la napa freática. Los aportes hídricos que mantienen húmedos estos horizontes arcillosos provendrían de las precipitaciones directas, que se infiltran por los horizontes superficiales arenosos hasta el horizonte arcilloso y de las lluvias del invierno Altiplánico que escurren esporádicamente por la quebrada de Camar.

Basado en todo lo anterior, la(s) causa(s) del detrimento de los ejemplares de Algarrobo estaría relacionada directamente con una afectación de los cauces de escurrimientos superficiales en el abanico fluvial de Camar. Es así como, se ha identificado variaciones en el patrón de drenaje superficial en el sector, los que evidencian una dinámica aluvial activa, donde se observa que los lóbulos depositacionales asociados a la quebrada Camar van migrando levemente hacia el sur, acorde a la topografía (X-Terrae, 2019).

A partir de imágenes satelitales, Hidroestudios (2020) identificó que previo al 2008, el escurrimiento desbordaba principalmente hacía el norte. Posteriormente, producto de un desborde del cauce principal producido a 1.200 metros aguas arriba del pozo Camar-2, el escurrimiento se dirige con mayor flujo hacía





el sur. La modificación de la red de drenaje 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 6-18. Modificación de los escurrimientos superficiales en el sector de Camar Imagen Google Earth 2007



Imagen Google Earth 2008



Fuente: Hidroestudios, 2020

Esta modificación de cauces provocaría una disminución del aporte hídrico a los algarrobos de estos sectores (EIA Proyecto de Actualización del PAT y PSA del Salar de Atacama), la cual sería la causa principal del detrimento de la vitalidad y la disminución del % de copa viva en los algarrobos en el sector norte.



PLAN DE SEGUIMIENTO BIÓTICO BORDE ESTE DEL SALAR DE ATACAMA

geobiota

geobiota

Estado actual de los Algarrobos (2019)

Desoporacido
Seco
Débil
Normal
Vigoroso
Pozos de bombeo (agua dulce)
Red viol
Area de estudio

Red viol
Area de estudio

Región de
Red viol
Area de studio

Seco
Seco
Debil
Normal
Vigoroso
Red viol
Area de estudio

Red viol
Area de studio

Figura 6-19. Estado actual de los algarrobos (2019) y escurrimientos superficiales en el sector de Camar

En febrero 2019, debido a lluvias inusualmente abundantes (212 mm), se generó un proceso aluvial de gran volumen, el cual escurrió principalmente por los sectores norte (inactivo hasta la fecha) y sur, Mientras que el sector central no parece haber recibido aluviones de consideración. Este aluvión del 2019 es responsable de la afectación de 8 individuos, 4 de los cuales sí tenían algún grado de vitalidad.





# 6.5 Monitoreo de Flora

Se analiza y discute la riqueza y frecuencia de especies de flora, así como las mediciones de conductividad eléctrica y pH del suelo, prospectados en 7 transectos de Este a Oeste, que contempla un total de 375 muestras para flora y 75 muestras para suelo.

En el contexto de la formulación del cargo N°5, presentado a través de la Res. Ex. N°1/ROL F-041-2016, se aplica el protocolo de tendencias elaborado por ECOS CHILE.

Los análisis del comportamiento histórico de cada una de estas variables son descritos a continuación.

# 6.5.1 Riqueza y frecuencia de Flora

# 6.5.1.1 Riqueza de especies de flora

Según Gajardo (1994), la cuenca del Salar de Atacama presenta grandes extensiones carentes de vegetación, a excepción de las comunidades desarrollados en su borde este y sur. La presencia de vegetación está determinada por la presencia de 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 emergencia 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 6-11 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 2019). En la tabla se observa que, la riqueza se mantiene relativamente estable durante la historia del Plan de Seguimiento, registrándose aumentos en la riqueza de especie, principalmente 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).

Tal como lo indica la RCA, el monitoreo de la riqueza se realiza sobre los puntos de monitoreo y se complementa con los puntos fuera de la zona de muestreo, determinándose lo siguiente:

- Considerando sólo los <u>puntos de muestreo</u>, se identificaron 23 especies durante la campaña 2019. Esto representa un aumento en 10 taxa comparado con el año 2018 (13 taxa) y un aumento de 8 taxas con respecto del caso base (2006) (15 taxas).
- Considerando sólo los registros <u>fuera de los puntos de monitoreo</u>, se identificaron 15 taxa en el presente monitoreo (2019), que corresponde a 7 taxa más de los registrado en la línea base del año 2006 (8 taxa). La variabilidad de los registros a lo largo de los años es amplia, variando entre 2 (2014) a 15 (2019).

Se estima que la variabilidad observada tanto dentro como fuera de los puntos de muestreo, puede deberse a las siguientes causas:



- 163
- i. La variabilidad de especies efímeras es una condición dependiente las precipitaciones, lo que permitiría la aparición de praderas con especímenes efímeros como son las que pertenecen a los géneros *Cistanthe* o *Exodeconus*.
- ii. Intervenciones antrópicas (extracción de biomasa) o animal, lo que podría causar la eliminación de ejemplares perennes.



geobiota

Tabla 6-11. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio. Campañas 2006 – 2019.

Nombre Científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Adesmia rahmeri	Fabaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	x(*)	-	-	-	-	-	-	x(*)
Agrostis sp.	Poaceae	Hierba anual	Indetermina do	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	-	-	-	-	-	-	-	-
Aloysia deserticola	Verbenaceae	Arbusto	Nativo	х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	x(*)	Х	Х	Х	Х
Ambrosia artemisioides	Asteraceae	Arbusto	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Х
Aristida adscensionis	Poaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)
Atriplex atacamensis	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	х	х	Х	х	Х	х	х	Х	х	х	х	Х	Х	Х
Atriplex glaucescens	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	-	-	-	-	-	-	-	-
Atriplex imbricata	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	x(*)	x(*)	x(*)	Х	Х
Atriplex madariagae	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	-	-	-	-	-	-	-	-
Baccharis juncea	Asteraceae	Hierba perenne	Nativo	х	х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	x(*)	х	Х	Х	Х
Cistanthe amarantoides	Montiaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x(*)
Cistanthe celosioides	Montiaceae <sup>2</sup>	Hierba anual	Endémico	x(*)	x(*)	-	-	-	x(*)	x(*)	x(*)	-	-	-	-	-	Х
Cistanthe salsoloides	Montiaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	x(*)	-	-	-	-	Х	-	-
Cortaderia jubata	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	x(*)	-	-	-	-	-	-	-						
Cristaria dissecta. var. Dissecta	Malvaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	x(*)	-	-	-	-	-	-	Х
Cryptantha diffusa	Boraginaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x(*)
Descurainia stricta	Brassicaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	x(*)	-	-	-	-	-	-	-
Distichlis spicata	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х
Ephedra multiflora	Ephedraceae	Arbusto	Nativo	Х	Х	Х	Х	Х	х	Х	Х	Х	x(*)	x(*)	Х	x(*)	x(*)



Tabla 6-11. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio. Campañas 2006 – 2019.

Nombre Científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Exodeconus integrifolius	Solanaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	x(*)	-	-	-	-	х	x(*)	Х
Eragrostis nigricans Var. punensis Nicora	Poaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x(*)
Euphorbia amandi	Euphorbiaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x(*)
Festuca hypsophilla	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	х	х	-	-	-	-	Х	х	х	х	х	х	Х	Х
Hoffmannseggia doellii ssp. Doellii	Fabaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-	-	-	-	-	x(*)	x(*)	-	-	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)
Juncus balticus	Juncaceae	Hierba perenne	Nativo	х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х
Juncus balticus ssp. Mexicanus	Juncaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x(*)
Lupinus oreophilus	Fabaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X(*)
Linum usitatissimum	Linaceae	Hierba anual	Adventicio	-	-	-	-	-	-	x(*)	-	-	-	-	-	-	-
Lupinus subinflatus	Fabaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	x(*)	-	-	-	-	-	-	
Lycium humile	Solanaceae	Arbusto	Nativo	х	х	Х	Х	Х	х	Х	Х	х	х	х	Х	Х	Х
Maihueniopsis aff.atacamensis	Cactaceae	Suculento	Endémico	x(*)	-	-	-	-	-	-							
Muhlenbergia asperifolia	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	-	-	-	-	-	-	-
Munroa decumbens	Poaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x(*)
Neuontobotrys tarapacana	Brassicaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x(*)
Nitrophila atacamensis	Chenopodiaceae	Hierba anual	Endémico	х	х	Х	х	х	Х	Х	Х	х	х	х	х	Х	Х
Prosopis chilensis	Fabaceae	Árbol	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x(*)
Puccinellia frigida	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	Х	х	х	х	х	х	Х	х	x(*)	-	-	-	-	x(*)



geobiota

Tabla 6-11. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio. Campañas 2006 – 2019.

Nombre Científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Sarcocornia andina	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	х	х	х	х	Х	х	Х	Х	Х	х	х	х	х	х
Schoenoplectus americanus	Cyperaceae	Hierba perenne	Nativo	Х	х	х	х	Х	Х	Х	Х	Х	х	х	Х	х	Х
Tarasa operculata	Malvaceae	Hierba perenne	Nativo	=	-	-	-	-	-	x(*)	=	-	-	-	x(*)	-	-
Tessaria absinthioides	Asteraceae	Arbusto	Nativo	х	х	х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	х	Х	Х	х
Tiquilia atacamensis	Boraginaceae	Hierba perenne	Endémico	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	Х	x(*)	x(*)	x(*)	х	Х	x(*)	Х
Tribulus terrestris	Zigophyllaceae	Hierba anual	Adventicio	-	-	-	-	-	-	x(*)	-	-	-	-	-	-	Х
Trichocline caulescens	Asteraceae	Hierba perenne	Endémico	=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x(*)
Triglochin concinna	Juncaginaceae	Hierba perenne	Nativo	х	х	х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	х	Х	Х	х
Urocarpidium peruvianum	Malvaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Х
Zameioscirpus atacamensis	Cyperaceae	Hierba perenne	Nativo	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	x(*)	-	-	-	-	-	-	-	-
Riqueza dentro de lo	os puntos de muestreo	•	•	15	15	14	14	14	14	16	15	14	10	13	16	13	20
Riqueza fuera de los	s puntos de muestreo			8	8	7	8	8	9	14	4	2	5	3	3	4	15
Riqueza total				23	23	21	22	22	23	30	19	16	15	16	19	17	35
E I. Elilian 17.	propia (*) Dogistro fu			1	1	1			1		ı			1			

Fuente: Elaboración propia. (\*) Registro fuera de parcela.





## 6.5.1.2 <u>Frecuencia de especies de flora</u>

A continuación, se analiza la frecuencia de especies de flora por transectos, considerando todas las temporadas de monitoreo.

#### a. Transecto 1:

- La riqueza florística registrada en 2006 (línea base) fue de 8 taxa (Ver Figura 6-20). En el presente monitoreo se registraron 11 taxa. Pese a que el registro es mayor en esta temporada, se indica que *Lycium humile* y *Puccinellia frígida* son las especies ausentes respecto del monitoreo inicial (2006).
- Lycium humile (arbusto perenne) sólo ha sido registrada en dos instancias, en los años 2006 y 2013; mientras que, *Puccinellia frígida* (hierba perenne) fue registrada en 5 oportunidades (2006, 2007, 2009, 2010 y 2012) sin nuevos registros en los puntos de monitoreo.
- En 2019, se registró la presencia de *Ambrosia artemisioides*, *Cistanthe celosioides*, *Exodeconus integrifolius* y *Tiquilia atacamensis*, especies que se establecen posterior a la ocurrencia de eventos pluviales (asociado a las intensas lluvias registradas en 2019) y cuyo ciclo de vida es anual o bianual.
- De forma aislada, en este año se registró *Triglochin concinna*. Esta hierba perenne se ha identificado en dos ocasiones anteriormente, específicamente en los monitoreos del 2011 y 2013, con un individuo en este transecto.
- La especie con mayor frecuencia en el transecto es *Distichlis spicata*, observada en 10 de los 19 puntos de muestreo.

## b. Transecto 2:

- La riqueza florística registrada en 2006 (línea base), alcanzó los 9 taxa. Mientras que en el presente monitoreo se registraron 12.
- Se detectan diferencias en la riqueza de especies a través del tiempo, manteniéndose o aumentando respecto al 2006. Sólo los años 2015 y 2016 se observa una riqueza inferior al periodo 2006.
- Respecto del monitoreo inicial, Ephedra multiflora se ha registrado como ausente desde el 2014. Sin embargo, en el área hay registros de la especie fuera de parcela durante el presente monitoreo.
- Especies que históricamente han aparecido en este transecto y se han mantenido durante la presente son las especies *Atriplex atacamensis, Baccharis juncea, Distichlis spicata, Juncus balticus, Lycium humile, Schoenoplectus americanus* y *Tessaria absinthioides*.
- Festuca hypsophilla, aparece constante a partir del año 2012.
- En 2019, se registra la presencia de *Cistanthe celosioides*, *Cristaria dissecta Var. Dissecta* y *Urocarpidium peruvianum*, especies que se establecen posterior a la ocurrencia de eventos pluviales (asociado a las intensas lluvias registradas en 2019) y cuyo ciclo de vida es anual o bianual, desapareciendo para el presente año.
- La especie con mayor frecuencia en el transecto fue *Tessaria absinthioides*, con presencia en 6 de 14 puntos de muestro.

# c. Transecto 3:

La riqueza florística registrada en 2006 (línea base) fue de 9 taxa y para el presente monitoreo fue de 8 taxa.



- Respecto de lo observado en el año 2006 y a través del tiempo los taxa *Festuca hypsophilla*, *Nitrophila atacamensis* y *Triglochin concinna* no presentan registro en el presente monitoreo.
- Aloysa deserticola no se reportada desde 2015 y Lycium humile fue identificada solo en el año 2006. Ambas especies surgieron en la campaña 2019.
- Tras 14 años de monitoreo se registran dos individuos de *Tiquilia atacamensis* y uno de *Exodeconus integrifolius* en el sector.
- Las especies con mayor frecuencia en el transecto fueron *Tessaria absinthioides y Distichlis spicata*, con presencia en 5 de 10 puntos de muestro.

### d. Transecto 4:

- La riqueza florística registrada en 2006 (línea base), fue de 4 taxa y en el presente monitoreo fue de 7 taxa.
- En 2019 se registró la presencia de Tiquilia atacamensis, Exodeconus integrifolius y Cistanthe celosioides especies que se establece posterior a la ocurrencia de eventos pluviales (asociado a las intensas lluvias registradas en el periodo estival) y cuyo ciclo de vida es anual o bianual.
- Las especies con mayor frecuencia en el transecto fueron *Tessaria absinthioides* y *Tiquilia atacamensis*, con presencia en 6 de 9 puntos de muestreo.

#### e. Transecto 5:

- La riqueza florística registrada en 2006 (línea base), fue de 7 taxa y en el presente monitoreo fue de 9 taxa.
- Respecto de lo observado en el año 2006, los taxa *Juncus balticus* y *Nitrophila atacamensis* no presentan registro a partir del 2016.
- Las especies que históricamente han formado parte de la riqueza florística de este transecto se han mantenido para el monitoreo actual (*Aloysia desertícola*, *Atriplex atacamensis*, *Distichlis spicata*, *Lycium humile* y *Tessaria absinthioides*).
- En 2019 se registró la presencia de *Cistanthe celosioides, Tiquilia atacamensis* y *Tribulus terrestris*, especies que se establecen posterior a la ocurrencia de eventos pluviales (asociado a las intensas lluvias registradas en el periodo estival) y cuyo ciclo de vida es anual o bianual.
- La especie con mayor frecuencia en el transecto fue *Tessaria absinthioides*, con presencia en 8 de 14 puntos de muestreo.

#### f. Transecto 6:

- La riqueza florística registrada en 2006 (línea base), fue de 2 taxa y en el presente monitoreo fue de 1 taxa
- El año 2018, *Distichlis spicata* no tuvo registros y apareció *Nitrophila atacamensis*. En el presente monitoreo, *D. spicata* tuvo dos registros y *N. atacamensis* no se observó.
- Tessaria absinthioides no fue registrada en este periodo.

# g. Transecto 7:

- La riqueza florística registrada en 2006 (línea base) fue de 3 taxa, la que fue idéntica en el presente monitoreo.
- Distichlis spicata y Tessaria absinthioides son especies constantes en este transectos.
- Nitrophila atacamensis reaparece este año. El 2018, esta especie desaparece tras ser registrada desde 2006.



geobiota

Las especies con mayor frecuencia en el transecto son *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, con presencia en 2 de 6 puntos de muestreo.

En la Figura 6-20 se refleja la dinámica temporal de la riqueza florística en cada transectos de monitoreo, entre los periodos 2006 y 2019.

Figura 6-20.Riqueza florística de cada transecto de monitoreo. Campañas 2006 – 2019.

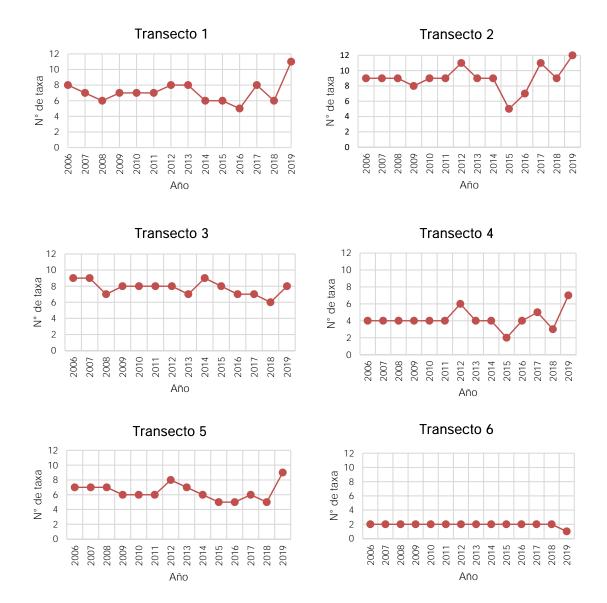




Figura 6-20.Riqueza florística de cada transecto de monitoreo. Campañas 2006 – 2019.



En las Figura 6-20, Tabla 6-12, Tabla 6-13, Tabla 6-14 y Tabla 6-15 se presenta la frecuencia de registros de taxa por cada transecto de monitoreo, es decir, el número de puntos de muestreo donde se registró la taxa.





Tabla 6-12. Frecuencia de especies en el Salar de Atacama durante los años 2006 – 2019, para los transectos 1 y 2.

							T1 (	(19 p	arce	las)											T2 (	(14 p	arce	las)					
ID	Especies	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Ambrosia artemisioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Aloysia deserticola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Atriplex atacamensis	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	1	2	4	4	4	4	2	2	3	5	5	2	2	1	2	3
4	Atriplex imbricata	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Baccharis juncea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
6	Cistanthe salsoloides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7	Cistanthe celosioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
8	Cristaria dissecta Var. Dissecta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	Distichlis spicata	11	11	10	10	10	10	10	11	10	10	10	10	10	10	3	2	2	0	1	1	2	3	3	0	0	2	1	1
10	Exodeconus integrifolius	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
11	Ephedra multiflora	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
12	Festuca hypsophilla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	1
13	Juncus balticus	3	3	3	2	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	0	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2
14	Lycium humile	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
15	Nitrophila atacamensis	5	4	4	4	4	4	4	5	5	5	0	4	4	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
16	Puccinellia frigida	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Sarcocornia andina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Schoenoplectus americanus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
19	Tessaria absinthioides	6	6	6	5	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	6	6	6	6
20	Tiquilia atacamensis	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2
21	Urocarpidium peruvianum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22	Tribulus terrestris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Triglochin concinna	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Especies por transecto	8	7	6	7	7	7	8	8	6	6	5	8	6	11	9	9	9	8	9	9	11	9	9	5	7	11	9	12





Tabla 6-13. Frecuencia de especies en el Salar de Atacama durante los años 2006 - 2019, para los transectos 3 y 4.

						T3 (	10 pı	ıntos	deı	nues	treo)	)								T4 (	9 pui	ntos	de m	nuest	reo)				
ID	Especies	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Ambrosia artemisioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Aloysia deserticola	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	2
3	Atriplex atacamensis	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	2	2	0	1	1	0	1
4	Atriplex imbricata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Baccharis juncea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Cistanthe salsoloides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Cistanthe celosioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
8	Cristaria dissecta Var. Dissecta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Distichlis spicata	5	5	4	4	4	4	4	5	5	3	2	3	4	5	2	2	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1	2	1
10	Exodeconus integrifolius	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
11	Ephedra multiflora	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Festuca hypsophilla	1	1	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Juncus balticus	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Lycium humile	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Nitrophila atacamensis	2	2	2	2	2	2	2	0	3	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Puccinellia frigida	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Sarcocornia andina	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Schoenoplectus americanus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Tessaria absinthioides	7	7	6	6	6	6	7	7	7	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	6	5	6
20	Tiquilia atacamensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	6
21	Urocarpidium peruvianum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Tribulus terrestris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Triglochin concinna	1	1	2	2	2	2	2	1	3	3	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Especies por transecto	9	9	7	8	8	8	8	7	9	8	7	7	6	8	4	4	4	4	4	4	6	4	4	2	4	5	3	7





Tabla 6-14. Frecuencia de especies en el Salar de Atacama durante los años 2006 – 2019, para los transectos 5 y 6.

						T5 (1	Ι4 ρι	ıntos	de ı	nues	treo	)								T6 (	6 pu	ntos	de n	nues	treo)				
ID	Especies	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Ambrosia artemisioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Aloysia deserticola	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Atriplex atacamensis	3	3	3	4	3	2	3	3	4	4	3	3	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Atriplex imbricata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Baccharis juncea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Cistanthe salsoloides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Cistanthe celosioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Cristaria dissecta Var. Dissecta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Distichlis spicata	5	3	4	2	4	3	3	5	5	2	0	3	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2
10	Exodeconus integrifolius	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Ephedra multiflora	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Festuca hypsophilla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Juncus balticus	1	1	1	0	1	1	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Lycium humile	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Nitrophila atacamensis	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
16	Puccinellia frigida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Sarcocornia andina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Schoenoplectus americanus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Tessaria absinthioides	8	8	8	9	9	9	9	8	9	4	7	6	8	8	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	0
20	Tiquilia atacamensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Urocarpidium peruvianum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Tribulus terrestris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Triglochin concinna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Especies por transecto	7	7	7	6	6	6	8	7	6	5	5	6	5	9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1





Tabla 6-15. Frecuencia de especies en el Salar de Atacama durante los años 2006 – 2019, para el transecto 7.

						T7 (	6 pu	ntos	de m	nuest	reo)				
ID	Especie	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Ambrosia artemisioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Aloysia deserticola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Atriplex atacamensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Atriplex imbricata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Baccharis juncea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Cistanthe salsoloides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Cistanthe celosioides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Cristaria dissecta Var. Dissecta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Distichlis spicata	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2	1	2
10	Exodeconus integrifolius	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Ephedra multiflora	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Festuca hypsophilla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Juncus balticus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Lycium humile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Nitrophila atacamensis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
16	Puccinellia frigida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Sarcocornia andina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Schoenoplectus americanus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Tessaria absinthioides	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	2	2	2	2
20	Tiquilia atacamensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Urocarpidium peruvianum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Tribulus terrestris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Triglochin concinna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Especies por transecto	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3

# 6.5.1.3 <u>Protocolo de análisis de tendencias de variables ambientales</u>

Este análisis responde al protocolo de análisis de tendencias ambientales diseñado por ECOS Consultores, para subsanar las faltas imputables al cargo N°5 (Res. Ex. N°1/ ROL F- 041-2016), detallado en el Anexo XXIII del presente informe.

# A- Comparación de monitoreo actual con la serie histórica

Para evaluar si las observaciones de la campaña actual (2019) se comportan según lo observado históricamente, se llevarán a cabo los siguientes análisis:





# A1- Análisis de rangos

Dado que la riqueza y abundancia se evalúan por transecto de flora (7 transectos), la metodología propuesta en el Protocolo de Tendencias de Variables Ambientales (Anexo XXIII), para evaluar la riqueza y frecuencia de flora, no es aplicable a una muestra de siete datos.

## A2- Análisis de distribución

Considerando en conjunto, todos los puntos de monitoreo, se evalúa si el set de datos del monitoreo actual posee la misma distribución de aquella observada durante los años anteriores.

Para ambas variables se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, la cual verifica si las distribuciones de dos muestras son iguales o no, bajo un nivel de confianza del 95%. Este análisis plantea como hipótesis nula (H0) que la distribución de las dos muestras es la misma, mientras que como hipótesis alternativa (H1) que las distribuciones de las dos muestras son diferentes. Los resultados de esta prueba para la riqueza y frecuencia de flora se muestran en la Tabla 6-16.

Tabla 6-16. Prueba de Kolmogorov-Smirnov sobre dos muestras para las variables Riqueza y Frecuencia de flora

Prueba	de Kolmogorov-	-Smirnov riqueza	Prueba c	le Kolmogorov	/-Smirnov frecuencia
Año	D	p-value	Año	D	p-value
2006-2019	0,286	0,938	2006-2019	0,286	0,938
2007-2019	0,286	0,938	2007-2019	0,429	0,541
2008-2019	0,429	0,541	2008-2019	0,571	0,203
2009-2019	0,429	0,541	2009-2019	0,571	0,203
2010-2019	0,286	0,938	2010-2019	0,429	0,541
2011-2019	0,286	0,938	2011-2019	0,571	0,203
2012-2019	0,286	0,938	2012-2019	0,286	0,938
2013-2019	0,286	0,938	2013-2019	0,286	0,938
2014-2019	0,429	0,541	2014-2019	0,143	1,000
2015-2019	0,571	0,203	2015-2019	0,429	0,541
2016-2019	0,571	0,203	2016-2019	0,571	0,203
2017-2019	0,286	0,938	2017-2019	0,571	0,203
2018-2019	0,571	0,203	2018-2019	0,571	0,203

Fuente: Elaboración propia.

Puesto que el valor-p calculado para todas las muestras, tanto para la riqueza como para la riqueza de flora, es mayor que el nivel de significación alfa=0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. Y por lo tanto las distribuciones de los pares de años estudiados son las mismas. Por lo tanto, no se requiere un estudio adicional.





#### B- Evaluación de tendencia

Respecto a las variables Riqueza y Abundancia de flora, es posible observar en la Tabla 6-17, que en la totalidad de transectos las pendientes calculadas presentan valores No significativos, según la prueba de significancia de la pendiente.

Tabla 6-17. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para Riqueza y Abundancia de flora

Transectos		Rique	za	Transectos		Abundanc	ia
de flora	Pendiente	valor p	Significancia	de flora	Pendiente	valor p	Significancia
TRF-1	0,0527	0,6061	No significativo	TRF-1	-0,0637	0,7590	No significativo
TRF-2	0,0615	0,6074	No significativo	TRF-2	0,0484	0,8252	No significativo
TRF-3	-0,1121	0,0537	No significativo	TRF-3	-0,1253	0,5546	No significativo
TRF-4	0,0549	0,5076	No significativo	TRF-4	0,3099	0,1509	No significativo
TRF-5	-0,0396	0,6259	No significativo	TRF-5	-0,0462	0,8486	No significativo
TRF-6	-0,0286	0,1089	No significativo	TRF-6	0,0220	0,5016	No significativo
TRF-7	-0,0242	0,1822	No significativo	TRF-7	-0,0088	0,9043	No significativo

Fuente: Elaboración propia.

Dado que no existe tendencia estadísticamente significativa en el tiempo, para ninguno de los puntos de flora, es que no se requiere de un estudio adicional.

Los resultados de los análisis de comparación del monitoreo actual con la serie histórica y la evaluación de tendencias determinaron que tanto la riqueza, como la abundancia de flora reportada en el monitoreo actual no difiere de la serie histórica y los resultados concuerdan con lo reportado en las secciones anteriores (6.5.1.1 y 6.5.1.2.).

## 6.5.2 pH del sustrato

Tal como se explica en el capítulo 5.4.3, se obtuvieron valores de pH según ETFA (ALS Life Sciences S.A) y según el laboratorio Agroanálisis UC. Esta última entidad ha realizado los análisis desde el año 2012 hasta la fecha. Esta duplicidad de resultados se debe a que ambas metodologías son distintas y se ha prolongado la medición del laboratorio Agroanálisis UC con el objeto de darle continuidad de las mediciones históricas.

Con el objeto de verificar las consistencias y/o diferencias se comparan las mediciones de cada laboratorio.

## 6.5.2.1 <u>pH del sustrato según Agroanálisis UC (2012 – 2019)</u>

Respecto del monitoreo de pH en los transectos, en la Figura 6-21 se representan gráficamente los resultados (2019), indicando además los valores máximos, mínimos y promedios obtenidos en los años anteriores del monitoreo (2007-2018). Las muestras están organizadas desde el borde este del salar hacia el núcleo (Este – Oeste).





Respecto a los datos entregados en la Figura 6-21, cabe destacar que el 93,3% de las muestras se distribuyen entre los rangos observados durante los años anteriores. Un 6,7% de los puntos muestreados presentaron valores por fuera de los rangos monitoreados en el periodo 2007-2018. De los puntos que mostraron diferencias, 2 registraron valores por sobre el pH máximo histórico (TF3-08 y TF4-07), manteniendo las condiciones de alcalinidad. La mayor diferencia de pH fue de 0,4 y se observó en el punto TF3-08. En tres puntos se registró un valor menor al mínimo histórico (TF1-01, TF1-15 y TF1-18), la máxima diferencia observada fue en el punto TF1-01, con 0,2.

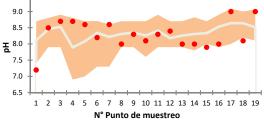
Los valores obtenidos en la caracterización fisicoquímica de las muestras analizadas se encuentran dentro de un rango normal para este tipo de suelos. Los suelos formados a partir de depósitos evaporativos, como el Salar de Atacama, representan condiciones extremas en términos de características y propiedades del suelo (Casanova *et al.*, 2013). En análisis realizados a muestras de otros salares se 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 y la diferencia observada en el 6,7% de las muestras, no parecen tener una directa relación con los resultados de la riqueza y frecuencia de la flora vascular. La variable flora se ve afectada principalmente por la incidencia del factor hídrico en la zona, mientras que los cambios en el pH del suelo se consideran parte de la variabilidad natural de este, 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).

Cabe aclarar que la diferencia observada en aquellos puntos no implica el cambio de la alcalinidad del sustrato o la disponibilidad de nutrientes, es una variación marginal dentro de los parámetros observados normalmente.

Figura 6-21. Comparación del pH actual según laboratorio Agroanálisis UC con el obtenido en años anteriores.





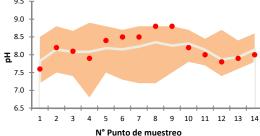
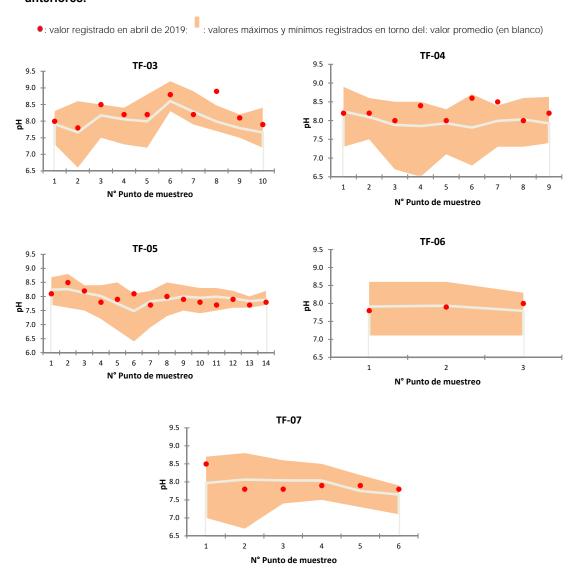




Figura 6-21. Comparación del pH actual según laboratorio Agroanálisis UC con el obtenido en años anteriores.



# 6.5.2.2 pH del sustrato según ETFA ALS Life Sciences (2018 y 2019)

A continuación, se presentan los resultados de pH analizados por ALS Life Sciences S.A. Cabe destacar que, con este laboratorio se dispone de dos años para realizar este análisis (2018 – 2019) y se complementa con el valor promedio del análisis histórico según laboratorio Agroanálisis UC.

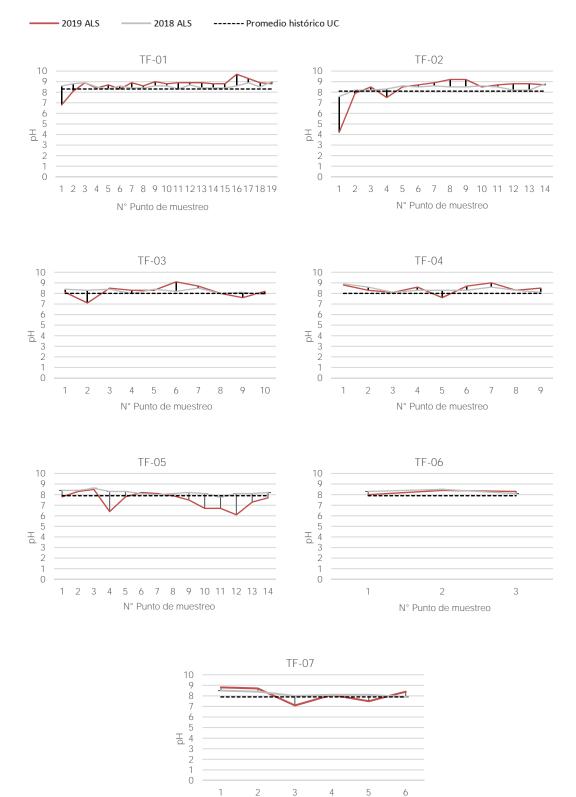
La variación del pH entre los resultados de ambos años fue de 0,5 mientras que la máxima variación alcanzó 2,0 en el TF5-12. El transecto de flora con mayor variación entre ambas mediciones fue el TF5 alcanzando una diferencia promedio de 0,7.

Los gráficos representados en la Tabla 6-18, muestran los resultados de pH en cada puntos de monitoreo que compone cada transecto en los años 2018 y 2019.



# geobiota

Tabla 6-18. pH según ALS Life Sciences S.A para los años 2018 y 2019.



N° Punto de muestreo

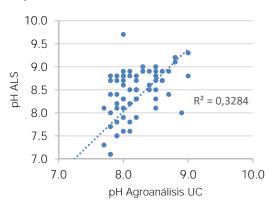


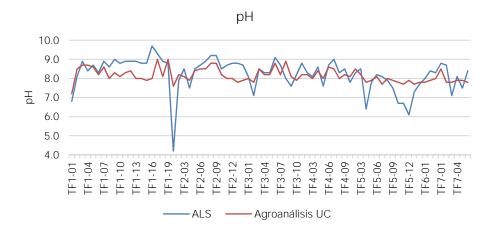
## 6.5.2.3 Comparación de las mediciones de pH entre laboratorios

Al analizar ambas mediciones mediante una regresión lineal se determinó un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> de 0,328, que representa una correlación positiva pero débil entre ambos laboratorios. Esta baja correlación podría explicarse por las diferencias metodológicas implementada para el análisis de las muestras, la que es diferente en ALS y Agroanálisis UC.

Para efectos de representar las relaciones de los valores obtenidos entre las mediciones de ambos laboratorios, se presentan los gráficos Figura 6-22 y Figura 6-26.

Figura 6-22. Comparación del pH obtenida entre laboratorios.





Fuente: Elaboración propia.

# 6.5.2.4 <u>Protocolo de análisis de tendencias de variables ambientales</u>

Este análisis responde al protocolo de análisis de tendencias ambientales diseñado por ECOS Consultores, para subsanar las faltas imputables al cargo N°5 (Res. Ex. N°1/ ROL F- 041-2016), detallado en el Anexo XXIII del presente informe.

# A- Comparación del monitoreo actual con la serie histórica





Para evaluar si las observaciones de la campaña actual (2019) se comportan según lo observado históricamente, se llevarán a cabo los siguientes análisis:

## A1- Análisis de rangos

Este análisis es realizado para evaluar si los datos del pH durante el año 2019 representan un cambio respecto a las observaciones previas, esto mediante una desagregación del monitoreo actual y comportamiento pasado.

Este análisis contempla el cálculo de un umbral para la variable pH para cada punto de monitoreo (UpH-TF), el cual se calculó según la siguiente formula:

$$\bar{X} \mp 1,64485 * \sigma$$

Donde:

 $\bar{X}$ = Promedio del periodo 2006-2018

 $\sigma$ = Desviación estandar periodo 2006-2018

Luego se comparó el valor del pH para el 2019, estimando si se ubica dentro o fuera de los límites establecidos. La Figura 6-23, muestra gráficamente los límites construidos para el pH y el valor 2019.

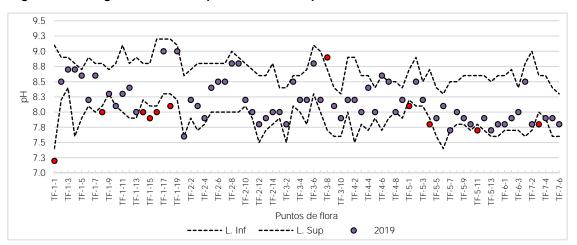


Figura 6-23. Rangos históricos de pH versus valor reportado en 2019.

En 64 muestras, correspondiente 85% del total, se observa que los valores se encuentran dentro de los límites, comportándose dentro de los rangos históricos. Mientras que, sólo 11 muestras (15% del total) se encuentran fuera de los rangos establecidos.

Tabla 6-19. Puntos fuera del UCE-TF para cada punto de muestreo.

Dunto de muestros	UCE	Valor 2040		
Punto de muestreo	L. Inferior	L. Superior	- Valor 2019	
TF-1-1	7,4	9,1	7,2	
TF-1-8	8,1	8,8	8,0	
TF-1-14	8,2	8,8	8,0	
TF-1-15	8,1	8,8	7,9	
TF-1-16	8,1	9,2	8,0	



Punto de muestreo	UCE	- Valor 2019	
runto de maestreo	L. Inferior	L. Superior	Value 2019
TF-1-18	8,3	9,2	8,1
TF-3-8	7,7	8,7	8,9
TF-5-1	8,2	8,7	8,1
TF-5-4	7,9	8,7	7,8
TF-5-11	7,8	8,6	7,7
TF-7-3	8	8,6	7,8

El protocolo establece que la variable medida en el monitoreo analizado difiere de la serie histórica, si la cantidad de muestras fuera del rango es superior a 12 elementos, para el universo de 75 puntos de muestreo estudiados. En vista que, se presentan 11 puntos fuera del rango definido, es que las mediciones de pH realizadas en el periodo 2019 se comportan según los rangos históricamente.

## A2- Análisis de distribución

Este análisis es realizado para evaluar si los datos de pH durante las campañas 2006-2018 representan un cambio previo al comportamiento del año 2019, esto evaluando si el set de datos del monitoreo actual posee la misma distribución de aquella observada durante los años anteriores (comparación del año 2019 con cada año anterior de manera separada). Para esto se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual detecta si hay diferencias significativas entre las distribuciones de dos muestras, bajo un nivel de confianza del 95%, de acuerdo a las siguientes hipótesis:

H0= La distribución de las dos muestras es la misma,

H1= Las distribuciones de las dos muestras son diferentes.

Esta prueba calcula un valor p bilateral, el que al ser mayor al nivel de confianza establecido (0,05), determina que no se puede rechazar la hipótesis nula H0, y por lo tanto las distribuciones de los años comparados son iguales, mientras que, al ser menor a 0,05, se debe rechazar la hipótesis nula H0 y aceptar la hipótesis alternativa H1, por lo que las distribuciones de los años comparados son diferentes.

Los resultados de esta prueba, comparado el monitoreo actual con cada uno de los años anteriores se muestras a continuación:

Tabla 6-20. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la comparación de distribuciones de la pH de 2019 con cada año anterior

Comparación	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	valor-p (bilateral)	Interpretación de la prueba:
2006	7,060	8,830	8,310	0,295	< 0,0001	Las distribuciones de las
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		dos muestras son diferentes.
2007	7,460	8,830	8,219	0,301	0,010	Las distribuciones de las
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		dos muestras son diferentes.
2008	7,400	9,120	8,405	0,370	< 0,0001	





Tabla 6-20. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la comparación de distribuciones de la pH de 2019 con cada año anterior

Comparación	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	valor-p (bilateral)	Interpretación de la prueba:
2019	7.200	9.000	8.153	0.357		Las distribuciones de las dos muestras son diferentes.
	,	,	-,	-,	0.0001	
2009	7,580	8,970	8,380	0,336	< 0,0001	Las distribuciones de las dos muestras son
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		diferentes.
2010	7,640	8,970	8,351	0,312	< 0,0001	Las distribuciones de las
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		dos muestras son diferentes.
2011	7,400	8,760	8,156	0,254	0,027	Las distribuciones de las
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		dos muestras son diferentes.
2012	7,600	9,200	8,325	0,323	0,001	Las distribuciones de las dos muestras son diferentes.
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		
2013	7,400	9,000	8,281	0,324	0,010	Las distribuciones de las dos muestras son diferentes.
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		
2014	7,500	8,900	8,197	0,325	0,395	La distribución de las dos muestras es la misma.
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		
2015	7,700	8,900	8,265	0,286	0,042	Las distribuciones de las dos muestras son diferentes.
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		
2016	7,600	8,800	8,196	0,321	0,787	La distribución de las dos
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		muestras es la misma.
2017	7,540	9,090	8,398	0,311	< 0,0001	Las distribuciones de las
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		dos muestras son diferentes.
2018	7,400	8,900	8,241	0,290	0,010	Las distribuciones de las
2019	7,200	9,000	8,153	0,357		dos muestras son diferentes.

Dado que el Protocolo establece que: "Si la totalidad de los pares de años analizados mostraran diferencias significativas con el período actual, será necesaria la elaboración de un estudio que profundice las causas", y 11 de 13 pares de años analizados muestran diferencias, es que no se requiere un estudio adicional.

# B- Evaluación de tendencia

Se evaluó en cada punto de monitoreo, si la serie de tiempo de pH queda representada por una recta de pendiente cero, mediante un análisis lineal con significancia estadística de la pendiente. Los resultados de la variable pH se presentan en la Tabla 6-21.





Tabla 6-21. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para el pH

ID	Transec	cto de flora	Pendiente de la recta	p - valor	Significancia de la pendiente
1	TF-1	1	-0,10	0,002	Significativo
2	TF-1	2	0,02	0,19	No significativo
3	TF-1	3	0,02	0,05	No significativo
4	TF-1	4	0,08	0,0002	Significativo
5	TF-1	5	0,02	0,17	No significativo
6	TF-1	6	0,002	0,90	No significativo
7	TF-1	7	0,002	0,91	No significativo
8	TF-1	8	-0,02	0,13	No significativo
9	TF-1	9	-0,01	0,45	No significativo
10	TF-1	10	-0,02	0,19	No significativo
11	TF-1	11	-0,02	0,44	No significativo
12	TF-1	12	-0,02	0,22	No significativo
13	TF-1	13	-0,05	0,01	Significativo
14	TF-1	14	-0,02	0,15	No significativo
15	TF-1	15	-0,04	0,02	Significativo
16	TF-1	16	-0,05	0,03	Significativo
17	TF-1	17	0,0005	0,98	No significativo
18	TF-1	18	-0,04	0,05	No significativo
19	TF-1	19	-0,001	0,97	No significativo
20	TF-2	1	-0,03	0,15	No significativo
21	TF-2	2	-0,01	0,44	No significativo
22	TF-2	3	0,01	0,67	No significativo
23	TF-2	4	0,002	0,92	No significativo
24	TF-2	5	0,02	0,17	No significativo
25	TF-2	6	0,01	0,52	No significativo
26	TF-2	7	0,01	0,62	No significativo
27	TF-2	8	0,01	0,53	No significativo
28	TF-2	9	0,002	0,91	No significativo
29	TF-2	10	-0,02	0,28	No significativo
30	TF-2	11	-0,03	0,08	No significativo
31	TF-2	12	-0,06	0,004	Significativo
32	TF-2	13	-0,05	0,001	Significativo
33	TF-2	14	-0,05	0,01	Significativo
34	TF-3	1	-0,01	0,12	No significativo
35	TF-3	2	0,02	0,19	No significativo
36	TF-3	3	-0,004	0,67	No significativo





Tabla 6-21. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para el pH

ID	Transe	cto de flora	Pendiente de la recta	p - valor	Significancia de la pendiente
37	TF-3	4	-0,01	0,16	No significativo
38	TF-3	5	0,04	0,03	Significativo
39	TF-3	6	-0,001	0,97	No significativo
40	TF-3	7	-0,04	0,09	No significativo
41	TF-3	8	-0,02	0,50	No significativo
42	TF-3	9	-0,02	0,18	No significativo
43	TF-3	10	-0,02	0,16	No significativo
44	TF-4	1	-0,02	0,32	No significativo
45	TF-4	2	0,01	0,62	No significativo
46	TF-4	3	0,03	0,10	No significativo
47	TF-4	4	0,05	0,003	Significativo
48	TF-4	5	0,01	0,64	No significativo
49	TF-4	6	0,03	0,08	No significativo
50	TF-4	7	0,002	0,87	No significativo
51	TF-4	8	-0,01	0,46	No significativo
52	TF-4	9	0,02	0,16	No significativo
53	TF-5	1	-0,02	0,14	No significativo
54	TF-5	2	0,004	0,81	No significativo
55	TF-5	3	-0,01	0,19	No significativo
56	TF-5	4	-0,03	0,07	No significativo
57	TF-5	5	0,02	0,14	No significativo
58	TF-5	6	0,02	0,20	No significativo
59	TF-5	7	-0,02	0,33	No significativo
60	TF-5	8	-0,02	0,10	No significativo
61	TF-5	9	-0,03	0,04	Significativo
62	TF-5	10	-0,06	0,001	Significativo
63	TF-5	11	-0,05	0,01	Significativo
64	TF-5	12	-0,05	0,003	Significativo
65	TF-5	13	-0,05	0,001	Significativo
66	TF-5	14	-0,06	0,001	Significativo
67	TF-6	1	0,03	0,12	No significativo
68	TF-6	2	0,02	0,38	No significativo
69	TF-6	3	0,02	0,22	No significativo
70	TF-7	1	0,08	0,0001	Significativo
71	TF-7	2	0,01	0,63	No significativo
72	TF-7	3	-0,02	0,11	No significativo





Tabla 6-21. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para el pH

ID	Transe	ecto de flora	Pendiente de la recta	p - valor	Significancia de la pendiente
73	TF-7	4	-0,03	0,02	Significativo
74	TF-7	5	-0,02	0,12	No significativo
75	TF-7	6	-0,03	0,05	No significativo

Las parcelas sin tendencia llegan a 76% (57 muestras), mientras que el 24% restante (18 muestras) presenta alguna tendencia. Dado que más del 10% de la muestra presenta tendencia significativa, se debe evaluar si estas continúan al momento del monitoreo mediante un análisis de convergencia de datos.

## B1-Evaluación de convergencia de datos

Dado que el análisis de significancia de la pendiente para cada uno de los 75 puntos de monitoreo, arrojo que más del 10% de ellos poseen tendencia (18 puntos de muestreo, equivalentes al 24% del total), es que se evalúa si esta tendencia continúa al momento del monitoreo, mediante un análisis de convergencia de datos.

Este análisis de convergencia se realiza sobre los 18 puntos de monitoreo que presentaron tendencia. Este análisis consiste en suavizar los datos anuales del pH, desde 2006 a 2019, mediante un promedio móvil común, para luego obtener una curva de tendencia ajustada. Con esta nueva curva, se calculan los residuos, es decir, la diferencia entre los datos observados y la curva de tendencia ajustada.

Con los residuos calculados, se evalúa la homogeneidad (heterocedasticidad) de la varianza, que indica si la varianza de los residuos se mantiene constante en el tiempo (Tabla 6-22), con la finalidad de utilizar correctamente el rango [pH del 2019 ajustado  $\pm$  1,64 veces la desviación estándar], aplicable solo si los datos son homogéneos. Finalmente, se evalúa si los datos reales del año 2019 se encuentran dentro del rango calculado.

Tabla 6-22. Comparación de las varianzas de las 18 muestras con significancia estadística

	Prueba	Valor p	Resultado	
Lavana	F (Valor observado)	0.140		
Levene	F (Valor crítico)	0,140	Las varianzas son idénticas.	
Dortlott	Chi-cuadrado (Valor observado)	0,175	Las varianzas son idénticas.	
Bartlett	Chi-cuadrado (Valor crítico)			

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que tres (3) de los 18 puntos de monitoreo, correspondiente a TF1-1, TF5-11 y TF7-continúan mostrando tendencia en el monitoreo 2019. Dado que estos tres puntos equivalen a menos del 10% del total de muestras, es que no se debe realizar un estudio adicional de causalidad de tendencia para el pH, ya que existe un estudio previo<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> INFORME: Análisis Metodologías de Monitoreo de Conductividad Eléctrica y pH, realizado por M. Adriana Carrasco Rimassa, Químico MSc. Especialista en Química de Suelos. 2017. INFORME: Correlaciones pH y Salinidad, realizado por SQM, en 2017.



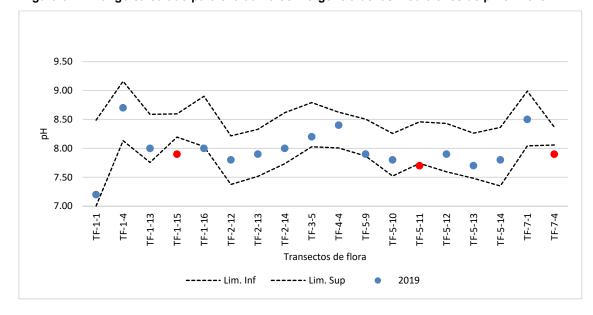


Figura 6-24. Rango calculado para evaluar la convergencia de las mediciones de pH en 2019.

La aplicación del Protocolo de análisis de Tendencias de variables ambientales indicó que al comparar el monitoreo 2019 con la serie histórica, el pH se comportó según lo observado históricamente. Mediante la evaluación de convergencias se detectó que sólo tres (3) muestras la tendencia continuó en el monitoreo actual. En su mayoría, esta tendencia fue a la baja, sin embargo, los valores de pH siempre se mantuvieron en la alcalinidad del sustrato, lo que concuerda con lo reportado para otros salares (Luzio, 2010).

El comportamiento del pH en el tiempo, no parece tener una relación directa con los resultados de la riqueza y frecuencia de la flora vascular, ya que los resultados sugieren que está ligada a la disponibilidad hídrica (régimen de precipitaciones locales y a la napa subterránea), y no a los cambios observados en las variables microambientales del suelo, dado que las plantas que crecen en el Borde Este del Salar de Atacama se encuentran adaptadas a condiciones extremas, logrando desarrollarse a pesar de los niveles de excesiva alcalinidad del sustrato.

# 6.5.3 Conductividad eléctrica del sustrato

Tal como se explica en el capítulo 5.4.4, se obtuvieron valores de Conductividad eléctrica según una entidad ETFA (ALS Life Sciences S.A) y según el laboratorio con el cual se han realizado los ensayos desde el año 2012 hasta el año 2019 (Agroanálisis UC). Esto debido a que la metodología utilizada según la entidad ETFA es distinta a la realizada hasta la fecha por el otro laboratorio, lo que implica que los datos obtenidos no son comparables.

## 6.5.3.1 Conductividad eléctrica del sustrato según Agroanálisis UC (2012 y 2019)

Se observa que el 88% de las muestras medidas el 2019 se encuentran dentro de los valores máximo y mínimo observados entre abril de 2007 a abril de 2018.



De las restantes fuera de rango, 8 muestras (TF1-02, TF1-19, TF2-03, TF2-06, TF4-02, TF4-08, TF5-10 y TF7-02) se encuentran por sobre los registros históricos. De estos, la máxima variación se encuentra en los registros del TF2-03 con 25,3 dS/m. Mientras que sólo una muestra presentó un valor bajo los mínimos históricos (TF2-01).

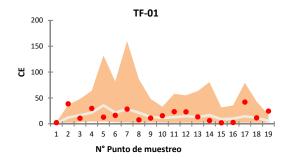
Por otra parte, la conductividad eléctrica del presente año demostró las condiciones de alta salinidad esperables para un salar; donde el 64% de muestras estuvieron distribuidas en la categoría fuertemente salina, validando lo observado en otros salares donde los valores pueden alcanzar hasta los 500 dS/m en superficie (Luzio, 2010).

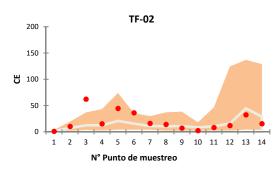
La presencia de flora en sectores con altos valores de salinidad permite inferir que esta variabilidad no estaría afectando a las plantas, dada la alta riqueza y frecuencia de especies observada en la temporada. En este contexto, la persistencia de la vegetación se explicaría por los mecanismos de adaptación de las especies a condiciones de extrema salinidad y probablemente, su expresión en el Borde Este del Salar de Atacama, estaría relacionada principalmente con la disponibilidad de agua.

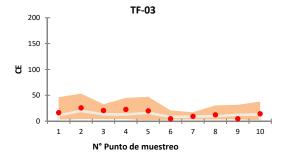
En la Figura 6-25 muestra la comparación de la conductividad eléctrica del año 2019 con el promedio de todos los años anteriores y los valores máximos y mínimos obtenidos. Los puntos de los gráficos también están organizados desde el borde este del salar hacia el núcleo (Este – Oeste).

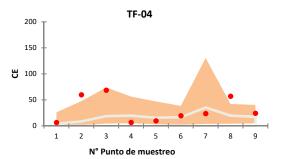
Figura 6-25. Comparación de la conductividad eléctrica (dS/m) actual con la obtenida en años anteriores.

•: valor registrado en abril de 2019 : valores máximos y mínimos registrados en torno del valor promedio (en blanco)



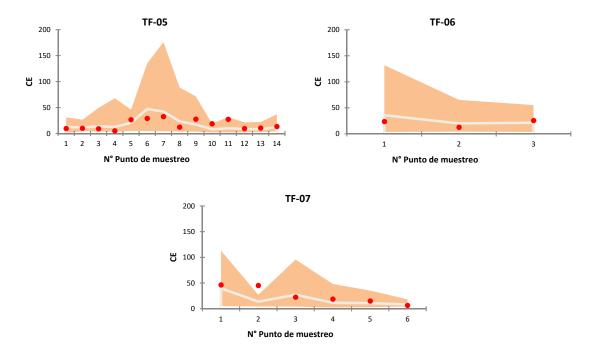












## 6.5.3.2 Conductividad eléctrica del sustrato según ALS Life Sciences (2018 y 2019)

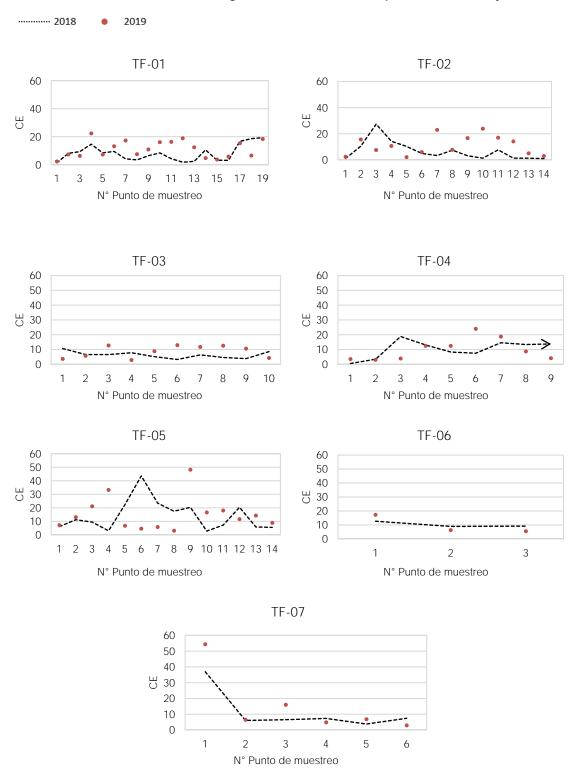
La variación de CE promedio entre los resultados de ambos años fue de 8,0 dS/m mientras que la máxima variación alcanzó 39,01 dS/m en el TF5-06. El transecto de flora con mayor variación entre ambas mediciones fue el TF5 alcanzando una diferencia promedio de 15 dS/m.

Respecto al año anterior, un 63% de las muestras (47 puntos) tuvo valores de CE por sobre lo registrado en 2018, estos se concentraron en los TF  $N^{\circ}$  1, 2, 3, 5 y 7.

Los gráficos representados en la Tabla 6-23, muestran los resultados de la medición de la Conductividad eléctrica para muestras del 2018 y 2019.



Tabla 6-23. Conductividad Eléctrica según ALS Life Sciences S.A para los años 2018 y 2019.







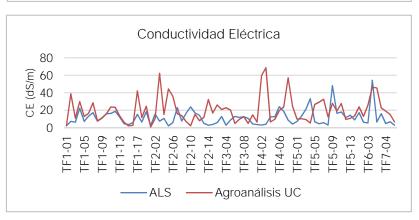
### 6.5.3.3 Comparación de las mediciones de la conductividad eléctrica entre laboratorios

Al analizar la conductividad eléctrica entre laboratorios, se observan registros más altos en las mediciones realizadas por el laboratorio Agroanálisis UC. Del total de 75 puntos, un 68% presenta valores de conductividad mayor para el laboratorio Agroanálisis UC, mientras que el restante corresponde a valores mayores para ALS. El promedio es de 8,2 dS/m, y su desviación estándar es de 17,13.

El análisis de correlación entre mediciones de ambos laboratorios alcanza un valor R2 de 0,0014. Lo que representa una correlación positiva, pero con un nivel de ajuste mínima de los datos. Dado que las muestras son tomadas en los mismos sitios y en iguales condiciones, estas discrepancias significativas estarían dadas por las diferencias metodológicas entre laboratorios.

80 R<sup>2</sup> = 0,0014 R<sup>2</sup> = 0,0014 0 20 40 60 80 CE (dS/m) Agroanálisis UC

Figura 6-26. Comparación de la conductividad eléctrica (dS/m) obtenida entre laboratorios.



Fuente: Elaboración propia.

#### 6.5.3.4 Análisis de tendencias

Este análisis responde al protocolo de análisis de tendencias ambientales diseñado por ECOS Consultores, para subsanar las faltas imputables al cargo N°5 de la Res. Ex. N°1/ ROL F- 041-2016. El cual se detalla en el Anexo XVIII del presente informe.

#### A- Comparación de monitoreo actual con serie histórica

Para evaluar si las observaciones sobre la conductividad eléctrica en la campaña actual (2019) se comportan según lo observado históricamente, se llevarán a cabo los siguientes análisis.

# A1- Análisis de rangos históricos





Este análisis es realizado para evaluar si los datos del CE durante el año 2019 representan un cambio respecto a las observaciones previas, esto mediante una desagregación del monitoreo actual y comportamiento pasado.

Este análisis contempla el cálculo de un umbral para la variable CE para cada punto de monitoreo, el cual se calculó según la siguiente formula:

*Umbral CE* = 
$$\bar{X} \mp 1.64485 * \sigma$$

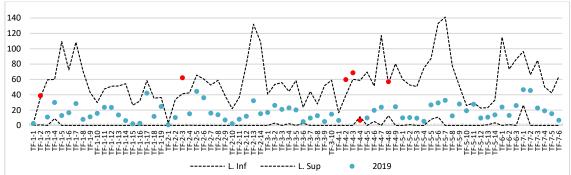
Donde:

 $\bar{X}$ = Promedio del CE del periodo 2006-2018

 $\sigma$ = Desviación estandar de CE del periodo 2006-2018

Luego se comparó el valor de la conductividad eléctrica para el 2019, evaluando si la muestra se ubica dentro o fuera de los límites establecidos. La Figura 6-27, muestra gráficamente los límites construidos para la CE y los valores medidos en la temporada 2019, observándose que en seis puntos de flora el valor registrado en 2019 se ubicó fuera de los límites establecidos.

Figura 6-27. Rangos históricos de conductividad eléctrica y las mediciones reportado en 2019.



En 69 muestras, correspondiente 92% del total, se observa que los valores se encuentras dentro de los límites, comportándose dentro de los rangos históricos. Mientras que sólo seis (6) muestras se encuentran fuera de los umbrales calculados.

Tabla 6-24. Puntos fuera del UCE-TF para cada punto de muestreo.

Punto de muestreo	UCE	UCE-TF					
Punto de muestreo	L. Inferior <sup>1</sup>	L. Superior	- Valor 2019				
TF-1-2	0,91	36,48	38,8				
TF-2-3	0,00	41,31	62,2				
TF-4-2	0,00	39,34	59,8				
TF-4-3	0,00	60,27	68,7				
TF-4-4	11,39	58,74	6,67				
TF-4-8	12,78	54,70	57,1				

(1) Matemáticamente los limites inferiores son menores a cero, pero se restringieron a valores con posibilidad física.





De acuerdo a lo establecido en el protocolo de tendencia, no fue necesario realizar un estudio adicional para determinar causalidad de tendencias, dado que no se superó (seis casos) el número de casos fuera del rango definido (mayor a 12<sup>20</sup>)

#### A2- Análisis de distribución

Este análisis es realizado para evaluar si los datos de la Salinidad, evaluado como conductividad eléctrica, durante las campañas 2006-2019 representan un cambio previo al comportamiento del año 2019, esto evaluando si el set de datos del monitoreo actual posee la misma distribución observada durante los años anteriores (comparación del año 2019 con cada año anterior de manera separada). Para esto se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual detecta si hay diferencias significativas entre las distribuciones de dos muestras, considerando un nivel de confianza del 95%, de acuerdo a las siguientes hipótesis:

H0= La distribución de las dos muestras es la misma.

H1= Las distribuciones de las dos muestras son diferentes.

Esta prueba calcula un valor p bilateral, el que, al ser mayor al nivel de confianza establecido, determina que no se puede rechazar la hipótesis nula H0, y por lo tanto las distribuciones de los años comparados son iguales, mientras que, al ser menor a 0,05, se debe rechazar la hipótesis nula H0 y aceptar la hipótesis alternativa H1, por lo que las distribuciones de los años comparados son diferentes.

Los resultados de esta prueba, comparado el monitoreo actual con cada uno de los años anteriores se muestras a continuación:

Tabla 6-25. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la comparación de distribuciones de la CE de 2019 con cada año anterior

Comparación	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	valor-p (bilateral)	Interpretación de la prueba:
2006	0,320	32,940	9,729	8,497	0,00012	Las distribuciones de las
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		dos muestras son diferentes.
2007	0,560	73,490	18,106	12,369	0,787	La distribución de las dos
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		muestras es la misma.
2008	0,690	81,350	28,126	22,080	0,022	Las distribuciones de las
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		dos muestras son diferentes.
2009	0,620	90,050	23,456	22,663	0,147	La distribución de las dos
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		muestras es la misma.
2010	0,620	73,490	27,179	21,089	0,003	Las distribuciones de las
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		dos muestras son diferentes.
2011	0,510	203,000	45,880	32,982	< 0,0001	

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> Para un conjunto de 75 elementos en donde se define el rango [media ± 1,64485\*desviación], se tiene que, si la variable distribuye normal, la probabilidad de que a lo más 12 elementos estén fuera del rango es de 96,7%. Así, se escoge 12 elementos como la cantidad crítica cumpliéndose que, sin presencia de tendencias, menos del 4% de las veces habrá más de 12 elementos fuera del rango.



-



Tabla 6-25. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la comparación de distribuciones de la CE de 2019 con cada año anterior

Comparación	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	valor-p (bilateral)	Interpretación de la prueba:
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		Las distribuciones de las dos muestras son diferentes.
2012	0,200	176,000	37,080	41,985	0,147	La distribución de las dos
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		muestras es la misma.
2013	0,200	130,400	35,205	34,146	0,006	Las distribuciones de las
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		dos muestras son diferentes.
2014	0,090	81,800	17,615	16,072	0,395	La distribución de las dos
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		muestras es la misma.
2015	0,460	108,400	22,918	17,836	0,518	La distribución de las dos
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		muestras es la misma.
2016	0,200	74,500	15,883	14,887	0,010	Las distribuciones de las
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		dos muestras son diferentes.
2017	0,520	99,900	31,200	21,403	0,0002	Las distribuciones de las
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		dos muestras son diferentes.
2018	0,330	51,800	15,022	11,160	0,147	La distribución de las dos
2019	0,810	68,700	19,914	14,762		muestras es la misma.

Dado que el Protocolo establece que: "Si la totalidad de los pares de años analizados mostraran diferencias significativas con el período actual, será necesaria la elaboración de un estudio que profundice las causas", y solo 7 de 13 pares de años analizados muestran diferencias, es que no se requiere un estudio adicional.

#### B- Evaluación de tendencia

Por otra parte, el protocolo indica que se evaluar para cada punto de monitoreo si su serie temporal queda representada por una recta de pendiente cero, esto para determinar si existen tendencias sostenidas en el tiempo.

En la Tabla 6-26, se presentan los análisis de tendencia de la variable Salinidad, medida como Conductividad Eléctrica, cuyos resultados indican que el 96% de las muestras (72 muestras) no presentan significancia estadística en su serie temporal. Mientras que el 4% de las observaciones, presentan alguna tendencia. Ya que menos del 10% de las parcelas muestran tendencias, no se requiere de un estudio adicional.

Tabla 6-26. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para la Salinidad (CE)

ID	Transe	cto de flora	Pendiente de la recta	p - valor	Significancia de la pendiente			
1	TF-1	1	0,04	0,50	No significativo			
2	TF-1	2	0,51	0,52	No significativo			





Tabla 6-26. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para la Salinidad (CE)

ID	Transe	cto de flora	Pendiente de la recta	p - valor	Significancia de la pendiente
3	TF-1	3	0,40	0,77	No significativo
4	TF-1	4	0,20	0,87	No significativo
5	TF-1	5	0,36	0,89	No significativo
6	TF-1	6	-0,44	0,79	No significativo
7	TF-1	7	0,54	0,85	No significativo
8	TF-1	8	0,70	0,71	No significativo
9	TF-1	9	1,06	0,29	No significativo
10	TF-1	10	1,14	0,07	No significativo
11	TF-1	11	1,53	0,18	No significativo
12	TF-1	12	0,61	0,63	No significativo
13	TF-1	13	0,91	0,48	No significativo
14	TF-1	14	1,54	0,25	No significativo
15	TF-1	15	0,60	0,37	No significativo
16	TF-1	16	0,49	0,56	No significativo
17	TF-1	17	2,25	0,14	No significativo
18	TF-1	18	0,89	0,28	No significativo
19	TF-1	19	0,20	0,84	No significativo
20	TF-2	1	0,08	0,21	No significativo
21	TF-2	2	-0,20	0,81	No significativo
22	TF-2	3	1,47	0,19	No significativo
23	TF-2	4	-0,70	0,41	No significativo
24	TF-2	5	1,90	0,16	No significativo
25	TF-2	6	-0,11	0,93	No significativo
26	TF-2	7	-0,76	0,53	No significativo
27	TF-2	8	0,02	0,99	No significativo
28	TF-2	9	-0,29	0,76	No significativo
29	TF-2	10	0,28	0,58	No significativo
30	TF-2	11	0,41	0,63	No significativo
31	TF-2	12	-0,08	0,97	No significativo
32	TF-2	13	0,80	0,78	No significativo
33	TF-2	14	-0,20	0,94	No significativo
34	TF-3	1	-0,59	0,53	No significativo
35	TF-3	2	1,04	0,29	No significativo
36	TF-3	3	-0,38	0,76	No significativo
37	TF-3	4	-0,65	0,46	No significativo
38	TF-3	5	0,05	0,97	No significativo





Tabla 6-26. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para la Salinidad (CE)

ID	Transe	cto de flora	Pendiente de la recta	p - valor	Significancia de la pendiente
39	TF-3	6	-0,38	0,39	No significativo
40	TF-3	7	-1,12	0,24	No significativo
41	TF-3	8	-0,10	0,86	No significativo
42	TF-3	9	-1,17	0,33	No significativo
43	TF-3	10	-2,33	0,04	Significativo
44	TF-4	1	0,03	0,95	No significativo
45	TF-4	2	-0,26	0,83	No significativo
46	TF-4	3	0,96	0,51	No significativo
47	TF-4	4	-0,97	0,40	No significativo
48	TF-4	5	-0,68	0,67	No significativo
49	TF-4	6	-0,62	0,50	No significativo
50	TF-4	7	0,36	0,90	No significativo
51	TF-4	8	0,63	0,54	No significativo
52	TF-4	9	-2,84	0,06	No significativo
53	TF-5	1	-1,01	0,46	No significativo
54	TF-5	2	-1,85	0,08	No significativo
55	TF-5	3	-1,25	0,23	No significativo
56	TF-5	4	-3,35	0,04	Significativo
57	TF-5	5	-2,34	0,14	No significativo
58	TF-5	6	0,83	0,77	No significativo
59	TF-5	7	-0,41	0,90	No significativo
60	TF-5	8	0,14	0,94	No significativo
61	TF-5	9	1,63	0,18	No significativo
62	TF-5	10	0,21	0,72	No significativo
63	TF-5	11	1,58	0,02	Significativo
64	TF-5	12	0,61	0,18	No significativo
65	TF-5	13	-0,06	0,90	No significativo
66	TF-5	14	-0,17	0,77	No significativo
67	TF-6	1	-0,21	0,93	No significativo
68	TF-6	2	-1,39	0,37	No significativo
69	TF-6	3	-1,61	0,37	No significativo
70	TF-7	1	0,72	0,63	No significativo
71	TF-7	2	-1,04	0,47	No significativo
72	TF-7	3	-0,54	0,76	No significativo
73	TF-7	4	0,84	0,51	No significativo
74	TF-7	5	-0,23	0,82	No significativo





Tabla 6-26. Análisis lineal con significancia de la pendiente en la serie de tiempo 2006-2019 para la Salinidad (CE)

ID	Transe	cto de flora	Pendiente de la recta	p - valor	Significancia de la pendiente				
75	TF-7	6	-2,53	0,09	No significativo				

Basado en todo lo anterior, se puede señalar que la conductividad eléctrica del sustrato con la serie histórica estandarizada evidencia que los suelos monitoreados en los transectos de flora varían entre ligeramente salino a fuertemente salino, cuyos valores son típicos de un salar (Luzio, 2010). El análisis respecto a la comparación del monitoreo actual mostró que el monitoreo 2019 no difiere a la serie histórica (2006-2018). Mientras que, solo dos muestras de monitoreo presentaron tendencia, por lo que la variable se mantiene relativamente estable en términos del comportamiento histórico.



# 6.6 Fauna

En la Tabla 1-1 del Anexo X, se presenta el catastro de especies con la composición de fauna en el área de estudio registrada a lo largo de trece años. Entre estas se incluye la campaña de Línea Base, realizada el año 2006, una campaña en etapa pre-operacional efectuada el año 2007, y trece campañas de monitoreo en etapa operacional, realizadas desde el año 2008 hasta el 2019. De acuerdo con las prospecciones de terreno efectuadas desde abril de 2006 hasta abril-junio 2019, el listado de fauna silvestre del Borde Este del Salar de Atacama está compuesto por un total de 71 especies. Estas corresponden a un anfibio, cuatro reptiles, 57 aves (19 Passeriformes y 38 no Passeriformes) y nueve mamíferos

De las 71 especies descritas en el catastro del PSA, todas corresponden a especies nativas, donde tres de estas son endémicas, perteneciendo exclusivamente a la clase Reptilia. En términos de sus categorías de conservación, 20 especies presentan alguna categoría de conservación, donde 19 especies están clasificadas en el Reglamento de Clasificación de Especies (RCE) y una especie se encuentra definida según el Reglamento de Ley de Caza (D.S. N° 05/98).

# 6.6.1 Reptiles

La Figura 6-28 muestra la abundancia total de reptiles por especie, registrados en cada uno de los años de monitoreo. Se puede observar una disminución en los valores de abundancia en la presente campaña, para la especie *Liolaemus fabiani*. En el caso de *L. constanzae*, existe un aumento en la abundancia con respecto al año 2018, cuyo valor se encuentra sobre el promedio calculado para el periodo de monitoreo del Plan de Seguimiento Ambiental 2006-2019 (Tabla 6-27). Por otra parte, durante la presente temporada no se registró la presencia de *L. puna*, especie que ha sido avistada durante las últimas cuatro campañas, encontrándose siempre en baja abundancia.

En cuanto a la especie *Liolaemus cf. paulinae*, correspondiente a un ejemplar registrado en el año 2015, posiblemente se trataría de un morfotipo perteneciente a la especie *Liolaemus puna*. Según diversos autores, ambas especies son confundidas al compartir características morfológicas y de coloración, diferenciándose solo por su rango de distribución geográfica, en la cual *L. paulinae* se encuentra principalmente en los alrededores del Río Loa (Donoso-Barros, 1961; Pincheira-Donoso & Nuñez, 2005, Demangel, 2016; Mella, 2017). Por su parte, *Liolaemus 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.



18.0 Abundancia (ind/transecto) 16.0 14.0 12.0 10.0 L. constanzae 8.0 L. fabiani 6.0 L. cf. paulinae\* 4.0 2.0 L. puna 0.0 2010 2013 2012 2014 2011 Año de monitoreo

Figura 6-28. Abundancia de reptiles en el área de estudio. Campañas 2006 - 2019.

(\*) En el caso particular de L. cf. paulinae, este ejemplar correspondería a un morfotipo de L. puna.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-27: Abundancia total de reptiles en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2019.

F		Abundancia (*)											A I I		
Especies observadas	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Abund. promedio*
L. constanzae	1,7	5,0	1,7	3,0	3,0	7,6	5,3	9,0	5,3	14,	15,	10,	4,7	7,5	6,71
L. fabiani	5,7	5,6	7,0	2,7	0,3	7,6	8,6	9,0	6,0	11,	4,7	7,3	7,0	3,9	6,22
L. cf. paulinae**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	0,02
L. puna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	4,0	0,7	0,3	-	0,50

<sup>\*</sup> Se calcula a partir de las abundancias de los años en que se observaron ejemplares

Fuente: Elaboración propia

En términos generales, las especies más abundantes durante las trece campañas de monitoreo corresponden a *L. constanzae* y *L fabiani*, con una abundancia promedio de 6,71 y 6,22 ind/transecto, respectivamente. Ambas especies han sido registradas durante los distintos años de monitoreo, encontrándose presentes en los cinco sectores de estudio (Figura 6-29). Sin embargo, es posible observar una diferenciación importante en la preferencia de hábitat de estas especies. *Liolaemus constanzae* es la especie dominante en los ambientes de Rica rica-Pingo pingo y de Brea-Cachiyuyo (i.e. sectores más alejados de ambientes salinos y lacustres), mientras que *L. fabiani* predomina en el ambiente de Marginal de Salar y Salar. Por su parte, en el ambiente de Pajonal ambas especies se encuentran presente, siendo más abundante *L. fabiani* (Figura 6-30).

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



<sup>\*\*</sup> Posiblemente correspondiente a un morfotipo de Liolaemus puna.

especializaciones para optimizar la utilización de los recursos disponibles en su ambiente. Este es el caso de *L. fabiani*, especie de lagartija única que habita en las 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 en los últimos cuatro años de monitoreo solo en ambientes de Pajonal, Brea-Cachiyuyo y Marginal de Salar, en los sectores de Vega de Carvajal, Cruce de Camar y Aguas de Quelana, respectivamente. En términos generales esta especie es la menos abundante, con un promedio de 0,5 ind/transecto, aproximadamente.

2.0 1.8 Abundancia promedio 1.6 ind/transecto) 1.4 1.2 1.0 L. constanzae 0.8 L. fabiani 0.6 L. cf. paulinae\* 0.4 0.2 L. puna 0.0 Cruce Aguas de Vega de Cruce Laguna Carvajal Camar Quelana **SQM** Interna Sector

Figura 6-29. Abundancia promedio de reptiles por sector de estudio. Campañas 2006 – 2019.

(\*) En el caso particular de  $\it L.~cf.~paulinae$ , este ejemplar correspondería a un morfotipo de  $\it L.~puna.$ 

Fuente: Elaboración propia

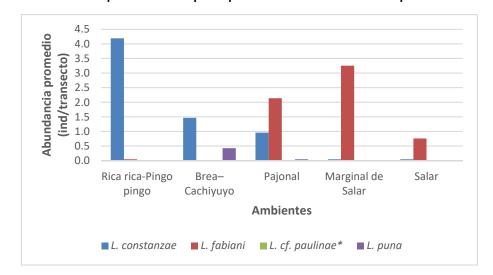


Figura 6-30. Abundancia promedio de reptiles por ambiente de estudio. Campañas 2006 - 2019.

(\*) En el caso particular de  $\it L.~cf.~paulinae$ , este ejemplar correspondería a un morfotipo de  $\it L.~puna.$ 



## 6.6.2 Aves en ambientes terrestres

Durante el periodo de monitoreo del Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) 2006-2019, en el Borde Este del Salar de Atacama, las aves terrestres se han caracterizado por exhibir bajas abundancias en general, independiente de la cobertura y composición de la vegetación predominante en los distintos hábitats (Anexo X, sección 2.2). En la campaña correspondiente al monitoreo de abril 2019, se registraron diez especies de aves asociadas a transectos en ambientes terrestres. El número de ejemplares avistados fue bajo, existiendo concordancia con los registros en años anteriores, salvo en el caso de las parinas grande y chica, lo que es consistente con los registros obtenidos a lo largo de los trece años de seguimiento.

Al considerar las distintas campañas de PSA, se pueden observar fluctuaciones en el tiempo en cuanto al registro de las distintas especies, detectándose en algunos casos, especies en forma intermitente, existiendo algunos años sin avistamientos (Tabla 6-28). De las 34 especies de aves catastradas en los ambientes terrestres, hasta la fecha, 16 tienen registros en uno solo de los catorce años de seguimiento. En contraparte, tres especies mostraron el mayor grado de presencia, donde *Anthus correndera* fue detectada en nueve de los catorce años de monitoreo, mientras que *Geranoaetus polyosoma y Muscisaxicola maculirostris* han sido detectada en ocho de estas campañas.



geobiota

Tabla 6-28. Abundancia total de aves en ambientes terrestres en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2019.

	Formation abnormation							Abunda	ancia (*)	)						Promedio (***)
	Especies observadas	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio (""")
1	Agriornis microptera	-	-	-	1	0,67	0,33	(**)	0,66	0,66 (**)	-	-	(**)	-	-	0,67
2	Agriornis montana	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	2,33	(**)	-	-	1,00
3	Anthus correndera	1,33	0,33	-	-	0,33	0,33	0,33	0,33	-	0,33	1,67	-	-	2	0,78
4	Asthenes modesta	-	-	-	(**)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
5	Athene cunicularia	-	-	-	-	-	-	-	-	(**)	-	0,33	-	-	1	0,67
6	Bubulcus ibis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	0,33
7	Calidris bardii	-	-	-	-	-	-	3	2,34	6,67	-	0,66	0,67	0,67	-	2,34
8	Charadrius alticola	-	-	-	-	-	-	4	3,67 (**)	5,66	2	4,01	2	0,33	-	3,00
9	Circus cinereus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	(**)	-	0,33	0,33
10	Geositta punensis	-	-	-	-	-	-	-	0,67	(**)	-	-	-	-	-	0,67
11	Geranoaetus (=Buteo) polyosoma	-	-	(**)	(**)	0,33 (**)	(**)	(**)	0,33	0,33	0,33	-	-	-	-	0,33
12	Hirundo rustica	-	-	(**)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
13	Larus serranus (Chroicocephalus serranus)	-	-	-	-	-	-	-	(**)	-	-	-	-	-	-	0
14	Leptasthenura aegithaloides	-	0,33	-	-	0,33	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
15	Lessonia oreas	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	0,33
16	Metriopelia aymara	-	-	-	0,33	-	-	-	3,67	10,67	-	8,67	(**)	1	0,5	4,14
17	Metriopelia melanoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5	2,50
18	Muscisaxicola cinerea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	0,33
19	Muscisaxicola flavinucha	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,42
20	Muscisaxicola frontalis	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
21	Muscisaxicola maculirostris	-	0,33	(**)	0,67 (**)	0,67	1,67	(**)	0,33 (**)	0,67	1	-	-	-	-	0,87



geobiota

Tabla 6-28. Abundancia total de aves en ambientes terrestres en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2019.

								Abunda	ancia (*)	)						Dromodio (***)
	Especies observadas	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio (***)
22	Oreopholus rificollis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,7	2,70
23	Phalaropus tricolor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,33	-	-	-	13,33
24	Phalcoboenus megalopterus	-	0,33	(**)	(**)	-	-	-	-	-	0,33	-	(**)	-	-	0,33
25	Phoenicoparrus andinus	-	-	-	-	-	-	-	1,33	5	0,66	5,66	1,33	-	5	3,16
26	Phoenicoparrus jamesi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,33	-	14	4	7,11
27	Phoenicopterus chilensis	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	0,33
28	Pygochelidon cyanoleuca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1,00
29	Recurvirostra andina	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-	0,33
30	Sicalis auriventris	(**)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
31	Sturnella superciliaris	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-	0,33
32	Thinocorus rumicivorus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	0,33
33	Upucerthia dumetaria	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	-	0,33
34	Zonotrichia capensis	-	-	-	0,33	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-	3,5	1,39
Nún	nero de especies	5	5	4	7	5	5	6	12	12	9	12	8	5	10	7,5

<sup>(\*)</sup> Número promedio de ejemplares registrados en tres transectos de 300 m. (un transecto por tres días)



<sup>(\*\*)</sup> Al menos un ejemplar registrado fuera del tiempo de recorrido (fuera de transecto). Estos ejemplares no son incluidos en el cálculo de Abundancia.

<sup>(\*\*\*)</sup> El cálculo del promedio se realizó considerando las abundancias de los años en que se observaron ejemplares



En cuanto al número de especies identificadas a lo largo del PSA, este parámetro ha fluctuado entre cuatro y 12 especies, con un promedio de 7,5 especies por año, detectándose un incremento en el número de especies respecto a la campaña anterior. Los mayores registros fueron obtenidos en los monitoreos de los años 2013, 2014 y 2016, con doce especies en cada uno (Tabla 6-28), mientras que en la actual campaña este valor alcanzo un total de 10 especies detectadas.

El sector que registra la mayor riqueza de especies es Cruce SQM, con 19 especies, mientras que Cruce Camar, Vega de Carvajal y Aguas de Quelana muestran valores similares entre si (Tabla 6-29). Por su parte, en el sector de Laguna interna, se registraron solo cuatro especies, las que se caracterizan por ser especies acuáticas y/o estar asociadas a ambientes acuáticos y salobres (*Calidris bardii, Charadrius alticola, Lessonia oreas* y *Phalaropus tricolor*). 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 6-29. Indicadores generales de aves en ambientes terrestres por sector. Campañas 2006-2019.

			Sector						
Indicador	Vega de Carvajal	Cruce Camar	Aguas de Quelana¹	Cruce SQM	Laguna Interna				
Riqueza de especies	15	16	14	19	4				
Abundancia promedio*	3,40	1,84	1,95	2,61	1,31				
Especies más abundantes (N° de individuos**)	Phoenicoparrus jamesi (64) Phoenicoparrus andinus (33)	Metriopelia aymara (31) Agriornis microptera (9) Metriopelia melanoptera (9)	Charadrius alticola (33) Calidris bardii (25)	Metriopelia aymara (27) Phoenicoparrus andinus (18)	Phalaropus tricolor (40) Charadrius alticola (12)				
Especies registradas en un sector (N° de individuos**)	Asthenes modesta (+) Circus cinereus (1) Larus serranus (+) Oreopholus ruficollis (8) Phoenicoparrus jamesi (64)	Athene cunicularia (4) Muscisaxicola	Hirundo rustica (+) Muscisaxicola flavinucha (2) Muscisaxicola frontalis (1) Phoenicopterus chilensis (1)	Bubulcus ibis (1) Geositta punensis (2) Pygochelidon cyanoleuca (3) Recurvirostra andina (1) Sicalis auriventris (+) Thinocorus rumicivorus (1) Upucerthia dumetaria (1)	Phalaropus tricolor (40)				
Especies compartidas	Metriopelia aymara; Muscisaxicola maculirostris; ; Geranoaetus (=Buteo) polyosoma Phalcoboenus megalopterus; Phoenicoparrus andinus (presentes en cuatro sectores excepto Laguna Interna) Calidris bardii Charadrius alticola (presentes en los cinco sectores)								

<sup>\*</sup>Este valor se obtuvo a partir del promedio del número de ejemplares observados en los transectos de las campañas del 2006 al 2019



<sup>\*\*</sup>Total de ejemplares registrados en transecto en las campañas del 2006 al 2019

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Sector monitoreado en la campaña complementaria realizada en el mes de junio, pudiendo afectar el monitoreo al esta fuera del periodo en que aves migratorias permanecen en la región.

<sup>+</sup> Especies sin valores de abundancia de ejemplares (avistamientos fuera de transecto o por registros circunstanciales).



Dos especies han sido las más abundantes durante los trece años de seguimiento. La primera es *Metriopelia aymara* (tortolita de puna) con un total de 75 avistamientos en transecto, la cual se distribuye ampliamente en el borde este del salar, encontrándose en todos los sectores y utilizando todos los ambientes, principalmente los hábitats Rica rica – Pingo pingo y Brea – Cachiyuyo, con 42 y 25 avistamientos respectivamente. (Tabla 6-29 y Tabla 6-30). La segunda especie es *Charadrius alticola* (chorlo de la puna), 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 50 y 12 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, contabilizando un total de 65 registros.

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. De ellos 25 avistados exclusivamente en en el sector Aguas de Quelana. Cabe mencionar que esta especie es migradora boreal (i.e. se reproduce en el hemisferio norte), por lo cual el desfase en la época de muestreo (junio de 2019) podría dar cuenta de una menor abundancia durante el monitoreo realizado en la presente campaña.

Otras especies relevantes en los diferentes sectores y/o ambientes son *Muscisaxicola maculirostris, Anthus correndera, Geranoaetus polyosoma, Agriornis montana 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 (Tabla 6-29), 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. En el caso de esta especie, al igual como ocurre con el playero de Baird, es una especie 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 en ambientes terrestres exclusiva de alguno de los sectores o ambientes en estudio.





Tabla 6-30. Indicadores generales de aves en ambientes terrestres por ambiente. Campañas 2006 – 2019.

			Ambientes		
Indicador	Rica rica-Pingo pingo	Brea-Cachiyuyo	Pajonal	Marginal de Salar	Salar
Riqueza de especies	21	15	12	9	4
Abundancia promedio*	2,3	1,6	0,7	5,2	1,3
Especies más abundantes (N° de individuos**)	Metriopelia aymara (42) Zonotrichia capensis (11)	Metriopelia aymara (23) Muscisaxicola maculirostris (10)	Anthus correndera (11) Metriopelia aymara (5)	Phoenicoparrus jamesi (64) Phoenicoparrus andinus (56) Charadrius alticola (50) Calidris bardii (40)	Phalaropus tricolor (40) Charadrius alticola (12)
Especies registradas en un ambiente (N° de individuos**)	Bubulcus ibis (1) Larus serranus (+) Metriopelia melanoptera (8) Muscisaxicola frontalis (1) Oreopholus ruficollis (8) Sicalis auriventris (+) Sturnella superciliaris (1) Thinocorus rumicivorus (1) Upucerthia dumetaria (1)	Muscisaxicola cinerea (1) Muscisaxicola flavinucha (2) Pygochelidon cyanoleuca (3)	Astehenes modesta (+) Circus cinereus (2)	Phoenicoparrus jamesi (64) Phoenicopterus chilensis (1) Recurvirostra andina (1)	Phalaropus tricolor (40)
Especies compartidas	Anthus correndera (presentes en cuat Agriornis montana, Zonotrichia capens				

<sup>\*</sup>Se calcula a partir del promedio del número de ejemplares observados en los transectos de las campañas del 2006 al 2019

# 6.6.3 Aves en ambientes acuáticos

# 6.6.3.1 Abundancia de aves en ambientes acuáticos en el Borde Este del Salar de Atacama

En el Anexo XI (sección 2.3, Tabla 2.3), se presenta el registro total de aves presentes en ambientes acuáticos en el Borde Este del Salar de Atacama. Estos han sido obtenidos a partir de los censos realizados desde abril de 2006 hasta la presente campaña (abril-junio 2019), contabilizando un total de 27 especies incluyendo a las 3 especies de flamencos que habitan el Salar de Atacama.

La comparación de abundancia de aves del presente monitoreo muestra que estos valores se encuentran dentro de los rangos observados a lo largo del Plan de Seguimiento Ambiental (PSA), en relación con los



<sup>\*\*</sup>Total de ejemplares registrados en transecto en las campañas del 2006 al 2019

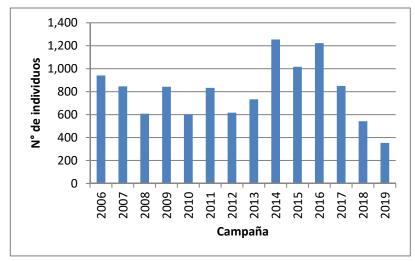
<sup>+</sup> Especies sin valores de abundancia de ejemplares (avistamientos fuera de transecto o por registros circunstanciales).



años anteriores, exceptuando el periodo 2015, donde la riqueza superó al resto de las campañas con 18 taxa.

En cuanto a la abundancia de ejemplares, durante el censo 2019, se registraron 3.093 individuos, valor similar a lo obtenido durante los años 2007, 2012, 2013 y 2016. La abundancia de aves total registrada durante la campaña actual indica un aumento en el censo de estas especies con relación a los años 2017 y 2018 con 1.829 y 1.866 individuos respectivamente. Respecto a este resultado, es importante considerar que el número de ejemplares de flamencos en conjunto, registrados cada año, representan una parte importante de la abundancia total de aves. Durante el monitoreo actual, más de la mitad de las aves censadas pertenecen a alguna de las tres especies de flamencos (2.740 individuos), y en las que es posible detectar fluctuaciones poblacionales importantes a nivel local y/o a una escala más amplia. Por lo anterior, para tener una visión más detallada y clara de estos patrones, el análisis de la variación en abundancias de las aves se realizó en forma separada. La Figura 6-31 muestra la abundancia de las aves, donde no se consideran los flamencos, apreciándose una reducción en el número de aves en la temporada actual (353 individuos). Cabe mencionar que este valor corresponde al más bajo obtenido durante el desarrollo del PSA en el Salar de Atacama para este grupo, pero esto puede deberse a la alta movilidad de estas especies entre lagunas y/o entre salares a lo largo de su distribución.

Figura 6-31. Abundancia de aves en ambientes acuáticos en el Borde Este (sin considerar flamencos). Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia

Como en años anteriores, se observaron a las tres especies de flamencos en los distintos cuerpos de agua presentes en el borde este del Salar de Atacama, siendo el grupo de aves dominante en los ambientes acuáticos monitoreados. En la presente temporada, se detectó un predominio de la especie *Phoenicoparrus andinus* (parina grande), con un total de 966 individuos, incrementando su número respecto al año anterior, ya sea por su alta movilidad entre lagunas y/o salares en su distribución geográfica. Por su parte, para la especie *Phoenicopterus chilensis* (flamenco chileno), se registraron 943 ejemplares, mientras que *Phoenicoparrus jamesi* (parina chica) se encontraron solo 769 ejemplares, significando un aumento en estas dos especies respecto del censo 2018 (Tabla 1.3 Anexo XI). De igual forma, los pollos de flamenco también presentaron un aumento con un total de 62 individuos, en comparación con los 8 ejemplares contabilizados durante la temporada anterior, generando un aumento en la tasa reproductiva en el sector de estudio en el último año.





En la campaña correspondiente al monitoreo 2019, las especies de aves más abundantes en los sistemas lacustres prospectados (sin considerar a las especies de flamencos), fueron: *Recurvirostra andina* (caití) y *Charadrius alticola* (Chorlo de la puna) (Tabla 5-25). Estas corresponden a especies acuáticas o bien están asociadas a este tipo de ambientes, registrándose los mayores números de individuos a lo largo del PSA, siendo observadas en los tres sistemas lacustres estudiados. Estas dos especies, junto con *Larus serranus* (gaviota andina), *Lophonetta specularoides* (Pato juarjual) y *Lessonia oreas* (colegial del norte), así como las tres especies de flamencos han sido registradas en casi todos los años de seguimiento (Tabla 2.3 Anexo XI).

El análisis de datos históricos muestra que las especies de aves más abundantes en el Salar de Atacama son las tres especies de flamencos, con el mayor número de individuos en promedio para la parina grande (*P. andinus*) con 795 individuos, seguida por el flamenco chileno (*P. chilensis*), con 452 individuos y la parina chica (*P. jamesi*) con 414 individuos. La parina grande es la especie más abundante en los tres sistemas lacustres, resultado que concuerda con los antecedentes bibliográficos que indican al Salar de Atacama como un sitio reproductivo clave para esta especie (Rodríguez, 2005).

Respecto a las otras dos especies, sus abundancias varían según el sistema lacustre. La presencia de estas tres especies de flamencos se debe a que, además de ser un sitio de importancia reproductiva, el Salar de Atacama también es un lugar de alimentación para estas especies en época invernal. Esto se debe a su ubicación, en la zona baja de la Puna (a menos de 4.000 msnm), en las cuales sus lagunas no se congelan y mantienen una oferta trófica de microalgas durante el invierno (Rodríguez, 2005).

En términos de diversidad, el Sistema de Aguas de Quelana es el que muestra la mayor riqueza, con 22 especies de aves, siete de las cuales solo han sido observadas en este sector. Si bien la presencia de cinco de estas especies corresponde a registros esporádicos, en el caso del bailarín chico (*A. correndera*) y el colegial del norte (*L. oreas*) se observaron individuos en al menos 11 años de seguimiento, registrando una abundancia promedio de 19,75 y 9,38 individuos, respectivamente (Tabla 6-31). Ambas especies son insectívoras y forrajean entre los pastizales y la vegetación que rodea los cuerpos lacustres. En este contexto, el Sistema de Aguas de Quelana tiene características favorables para la presencia de estas especies, ya que de los tres sistemas lacustres es el que ofrece la mayor diversidad de ambientes y recursos, debido a la vegetación que circunda los cuerpos de agua.

El Sistema de Peine presenta a la fecha una riqueza de 18 especies y la menor abundancia promedio de aves. La mayor parte de las especies presentes en este sector también fueron registradas en los otros dos sistemas lacustres y sólo tres especies tienen registros únicos, aunque en los tres casos corresponden a avistamientos ocasionales, con la presencia de solo un individuo en un año en particular.

Tabla 6-31. Indicadores generales de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2019.

Indicador	Sistema Lacustre			
iliuicauoi	Soncor	Aguas de Quelana	Peine	
Riqueza de especies	16	22	18	
Abundancia promedio*	877,01	406,38	234,31	
Especies más abundantes (Abundancia promedio)	Pollos de flamenco (210,7) Phoenicoparrus andinus (159,8)	Phoenicoparrus andinus (110,5) Charadrius alticola (61,5) Calidris bairdii (46,7)	Phoenicoparrus andinus (181,1) Phoenicoparrus jamesi (82,3) Phalaropus tricolor (43,6)	





Tabla 6-31. Indicadores generales de aves en ambientes acuáticos en el Salar de Atacama. Campañas 2006 – 2019.

lunding de ::	Sistema Lacustre			
Indicador	Soncor	Aguas de Quelana	Peine	
Especies registradas en un sistema lacustre (Abundancia promedio*)	Fulica ardesiaca (0,3)	Anas cyanoptera (3) Anas georgica (3) Anthus correndera (19,75) Gallinula chloropus (1,5) Lessonia oreas (9,4) Muscisaxicola maculirostris (6) Pluvialis dominica (2)	Bubulcus ibis (0,3) Podiceps occipitalis (0,3)	
Especies compartidas	Calidris bairdii Calidris melanotos Charadrius alticola Larus serranus (Chroicoceph Lophonetta specularioides Phalaropus tricolor Phoenicoparrus andinus Phoenicoparrus jamesi Phoenicopterus chilensis Recurvirostra andina Tringa melanoleuca			

<sup>\*</sup>Se calcula a partir de las abundancias de los años en que se observaron ejemplares.

El Sistema de Soncor, pese a ser el sistema con la mayor superficie, es el que presenta la menor riqueza con solo 16 especies, pero con el mayor número de individuos observados. Todas las especies registradas en este sector también han sido observadas en Aguas de Quelana y/o Peine (a excepción de *Fulica ardesiaca*, con un individuo registrado en 2018, en el canal burro muerto). Este sistema destaca por la gran cantidad de pollos de flamencos registrados a lo largo del seguimiento, con un total de 5.750 individuos, cifra muy superior a la obtenida en Aguas de Quelana, con 30 individuos y en Peine, con 253 individuos.

En tanto, para los flamencos en todo el Borde Este, el análisis de los datos históricos muestra variaciones en el número de ejemplares adultos, con valores de máxima abundancia en el censo del año 2006 (línea base), donde se contabilizaron 3.047 individuos, observándose un descenso paulatino en los tres años siguientes, alcanzando una abundancia de 1.382 ejemplares en el año 2009. A partir del año 2010 se observa un aumento en el número de flamencos para llegar a un valor de 3.604 individuos en el año 2015. A partir del año 2016 se registra un nuevo ciclo de disminución en el número de individuos, alcanzando su menor valor histórico en la campaña 2017, con un conteo de 979 individuos, para subir nuevamente a 1.316 individuos durante la campaña 2018 y un nuevo incremento en la presente campaña, alcanzando a los 2.740 individuos (Figura 6-32).

Este patrón oscilante también se puede observar en el número de pollos de flamencos, en donde se registran valores con alta abundancia en el año 2007 y 2008, con 491 y 563 pollos, seguido de un periodo con abundancias bajas, como el comprendido inmediatamente después del 2008, donde los registros son prácticamente nulos, volviendo a registrarse altas abundancias hacia el 2012 y 2016, donde se observa el máximo histórico con 1.251 ejemplares, en 2015 (Figura 6-33).



N° de individuos Campañas Phoenicoparrus andinus ■ Phoenicoparrus jamesi Phoenicopterus chilensis

Figura 6-32. Abundancia de flamencos en el Salar de Atacama. Campañas 2006 - 2019.

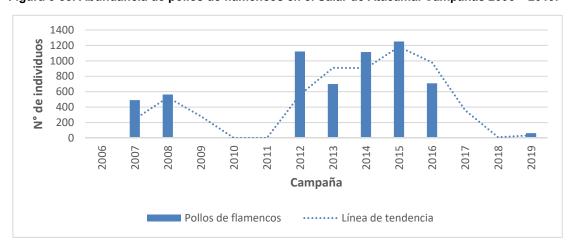


Figura 6-33. Abundancia de pollos de flamencos en el Salar de Atacama. Campañas 2006 - 2019.

Fuente: Elaboración propia

Las fluctuaciones estacionales e interanuales de las tres especies de flamencos han sido documentadas en diferentes salares del altiplano a partir del análisis de los datos de censos realizados por CONAF y GCFA (Grupo para la Conservación de Flamencos Altoandinos). Estas variaciones estarían relacionadas con los continuos desplazamientos a lo largo del año en busca de lugares aptos para la reproducción y/o alimentación. Durante la época estival, factores climáticos como la temperatura y las precipitaciones, junto con la disminución de las superficies lacustres debido a la evaporación, determinan la cantidad de nutrientes y la sequía, inundaciones o congelamiento de los cuerpos de agua, lo que a su vez, se relaciona con la disponibilidad de sitios para la alimentación y condiciones adecuadas para la nidificación (CONAF, 2005; Rodríguez y Contreras, 1998; Caziani *et al.* 1996; Gallardo *et al.*, 1992; Parada, 1990a). Por otra parte, durante la época invernal, se producen desplazamientos desde los sitios reproductivos hacia las áreas de refugio invernal, generalmente en los sectores más bajos de la Puna, donde las condiciones climáticas no son tan rigurosas. En consecuencia, las variaciones en la abundancia de los flamencos de los distintos





sistemas lacustres presentes en el Borde Este del Salar de Atacama, estarían relacionadas con la disponibilidad de recursos y con variaciones en las condiciones ambientales (variaciones intra e interanuales), así como cambios en la dinámica de las poblaciones de las distintas especies involucradas.

## 6.6.3.2 <u>Abundancias de aves acuáticas en el Sistema Lacustre Soncor</u>

En la presente campaña de monitoreo se observaron 2.592 ejemplares pertenecientes a 6 especies de aves, en donde casi el 88% de los registros (2.276 individuos) corresponden a ejemplares de alguna de las tres especies de flamencos. Debido a que la abundancia de los flamencos muestra una alta variabilidad interanual, este grupo será analizado en forma separada de las restantes especies de aves registradas.

Sin considerar a las tres especies de flamencos, en la presente campaña se registraron 316 ejemplares de aves, verificándose un descenso en la abundancia respecto a la campaña anterior (448 individuos en el año 2018), siendo esta fluctuación una característica de estos ambientes. Pese a esta disminución en el número de avistamientos, si se consideran los registros obtenidos a lo largo del seguimiento ambiental (2006 al 2019), los valores se encuentran dentro del rango de variación normal en el Sistema Soncor (Figura 6-34). Similar a lo detectado en campañas anteriores, en Laguna Chaxa se observó la mayor cantidad de registros, con 163 ejemplares, con un predominio de las especies *Charadrius alticola* y *Recurvirostra andina*, mientras que Canal Burro Muerto, Laguna Puilar y Laguna Barros Negros registraron abundancias más bajas.

En el Anexo XI, sección 2.3.2, Tabla 2-4 y Tabla 2-5 se muestra la abundancia por especie, registrada en los cuatro cuerpos de agua del Sistema Soncor, durante los catorce años de seguimiento (2006-2019).

1200 1000 N° de individuos Puilar 800 Chaxa 600 **Barros Negros** 400 Canal Burro Muerto 200 N° Total Línea de tendencia 2014 2016 2009 2010 2013 2015 2012 2017 2011 Campaña

Figura 6-34. Abundancia de aves registradas en el Sistema Soncor (sin flamencos). Campañas 2006 – 2019.

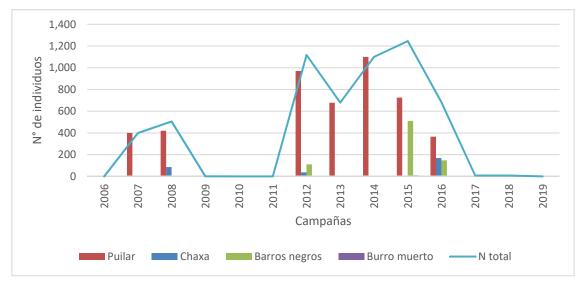
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, los flamencos registrados en la presente campaña suman un total de 2.276 ejemplares, sin contabilizar polluelos, dando cuenta de un año con pocos individuos juveniles presentes en el sector, similar a lo sucedido entre los años 2009-2011 y 2016-2018, en donde prácticamente no se obtuvo registro de pollos de flamencos (Figura 6-35). Cabe destacar que en los años siguientes a estos registros se verificó



una recuperación en el número de pollos, alcanzando su máximo valor en la campaña 2015 con 1.246 ejemplares. Los registros históricos muestran que en la Laguna Puilar ocurre la mayor presencia de polluelos, con un total acumulado de 4.660 individuos, seguido muy por debajo por Laguna Barros Negros, con 777 individuos, Laguna Chaxa, con 301 individuos y Canal Burro Muerto, con 12 individuos contabilizados hasta la fecha.

Figura 6-35. Abundancia de pollos de flamencos registrados en el Sistema Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a los ejemplares adultos de flamencos, la abundancia para la presente campaña es menor a la registrada en las campañas previas. Sin embargo, es posible detectar un incremento respecto a la realizada en los años 2016, 2017 y 2018. En la Figura 6-36, se aprecian los valores de abundancia, apreciándose un incremento en las dos principales lagunas del sistema Soncor (i.e. Lagunas Chaxa y Puilar), y en las cuales se concentra el mayor número de individuos de flamencos, principalmente de parina grande (*P. andinus*) y parina chica (*P. jamesi*).



N° de individuos Campañas Chaxa Barros negros Burro muerto

Figura 6-36. Abundancia de flamencos registrados en el Sistema Soncor (sin pollos). Campañas 2006 – 2019.

Una revisión general de los datos para el sistema Soncor, permite determinar que los valores de riqueza de especies son similares entre lagunas (Tabla 6-32). Pese a esto, la mayor abundancia promedio de aves se registró en Laguna Puilar, con 966,1 individuos, mientras que el menor valor se observa en el sector de Barros Negros, con un total de 234,6 individuos. Gran parte de estas especies registradas se encuentran en todos los cuerpos de agua estudiados (10 especies), siendo las más abundantes los pollos de flamencos, parina grande (*P. andinus*), pollito de mar (*P. tricolor*), parina chica (*P. jamesi*), flamenco chileno (*P. chilensis*) y playero de Baird (*C. bairdii*).

Tabla 6-32. Indicadores generales de aves en ambientes acuáticos por cuerpo de agua en el Sistema Soncor. Campañas 2006 – 2019.

	Laguna o cuerpo de agua			
Indicador	Puilar	Chaxa	Barros Negros	Canal Burro Muerto
Riqueza de especies	11	13	12	14
Abundancia promedio*	1.399,2	951,8	627,6	529,4
Especies o grupos más abundantes (Abundancia promedio*)	-Pollos de flamenco (582,5) -Phoenicoparrus andinus (390,4) -Phoenicoparrus jamesi (80,3)	-Phoenicopterus andinus (121,8) -Phoenicoparrus jamesi (213,9) -Phalaropus tricolor (208,8)	-Pollos de flamenco (194,2) -Phalaropus tricolor (146,3) -Phoenicopterus chilensis (111,4)	-Calidris bairdii (76,6) -Phoenicoparrus andinus (62)
Especies registradas en un solo cuerpo de agua (N° de individuos**)				Fulica ardesiaca (1)



	Calidris bairdii
	Calidris melanotos
	Charadrius alticola
	Larus serranus (Chroicocephalus serranus)
Especies compartidas	Phalaropus tricolor
	Phoenicoparrus andinus
	Phoenicoparrus jamesi
	Phoenicopterus chilensis
	Recurvirostra andina
	Tringa melanoleuca

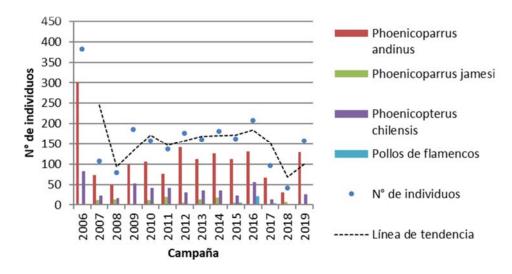
<sup>\*</sup>Se calcula a partir de las abundancias de los años en que se observaron ejemplares.

# 6.6.3.3 <u>Abundancias de aves acuáticas en el Sistema Lacustre Aguas de Quelana</u>

Durante el presente monitoreo, el Sistema Aguas de Quelana presentó un registro de 188 individuos pertenecientes a 7 especies de aves.

De estos 188, individuos observados en la presente campaña, 157 corresponden a flamencos. Al igual que en temporadas anteriores, este sector se caracteriza por presentar un nulo (o bajo) registro de polluelos, dando cuenta de su baja importancia como sitio reproductivo para estas especies. Similar a lo observado durante el monitoreo , la especie predominante en el sector fue la parina grande (*P. andinus*), con 130 registros, seguido por la parina chica (*P. jamesl*) con un individuo y finalmente por el flamenco chileno (*P. chilensis*), con 26 ejemplares censados (Figura 6-37).

Figura 6-37. Abundancia de flamencos en Sistema Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.





<sup>\*\*</sup>Total de ejemplares registrados en transecto en las campañas del 2006 al 2019



En cuanto a las otras especies de aves acuáticas, se detectó un aumento en la tendencia hacia nuevos registros, con incrementos puntuales en los años 2009, 2014, 2016 y 2019 (Figura 6-38). El análisis de los datos indica que estas variaciones se deberían principalmente a la disminución o incremento de las especies con registro continuo durante el monitoreo en el sector (Tabla 6-33). Estas especies más frecuentes, son también las más abundantes, contribuyendo en forma importante al número total de ejemplares registrados cada año, por lo que su variación se traduce en las fluctuaciones observadas en su abundancia.

Cabe señalar que el Sistema de Aguas de Quelana es el cuerpo lacustre de menor superficie, el cual se conforma de diversas lagunas de dimensiones variables en el tiempo. El carácter fluctuante, con reducción o aumento de estos cuerpos de agua, puede generar efectos en recursos como refugios y alimentación, esenciales para estas aves. La disminución en el número de individuos es una tendencia que debe ser confirmada en los monitoreos futuros, especialmente considerando las variaciones observadas durante las distintas campañas del PSA. No obstante, se debe considerar el desfase en la presente campaña, la cual fue realizada en un mes distinto al realizado en otras temporadas (junio 2020), lo que puede tener además incidencia en estas variaciones.

400 350 300 300 250 200 9 150 N 100 50 0 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 Campaña

Figura 6-38. Abundancia de especies de aves en Sistema Aguas de Quelana (sin flamencos). Campañas 2006 – 2019.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se destaca que el Sistema de Aguas de Quelana es el que presenta la mayor riqueza entre los sistemas lacustres, con una riqueza de 22 especies observadas en los catorce años de seguimiento (Tabla 6-33). Sin embargo, se debe señalar que durante la presente campaña no hubo registro de dos especies comúnmente observadas en el sector: *Lophonetta specularioides* y *Anthus correndera*. No obstante, considerando el desplazamiento del monitoreo al mes de juno de 2019, es probable que esto tenga incidencia en variaciones de la abundancia de aves, incluyendo la ausencia de estas especies durante la presente campaña.

Pese a lo anterior, esta mayor riqueza específica se puede asociar a la presencia de condiciones bióticas y abióticas particulares que se generan en los cuerpos de agua y su entorno, permitiendo una mayor diversidad de ambientes, como son la presencia de lagunas salobres, afloramientos de agua menos salobre, vegetación presente entorno a las lagunas, proporcionando más y diversos recursos (e.g. alimento y refugio) a las especies detectadas.



Tabla 6-33: Indicadores generales de aves en ambientes acuáticos en el Sistema Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.

Indicador	Aguas de Quelana	
Riqueza de especies	22	
Abundancia promedio* 406,38		
Especies más abundantes (Abundancia promedio*)	Phoenicoparrus andinus (110,5) Charadrius alticola (65,5) Calidris bairdii (46,7)	
Especies con registro continuo durante campañas 2006 al 2019 (Abundancia promedio*)	Phoenicoparrus andinus (110,5) Charadrius alticola (65,5) Calidris bairdii (46,7) Phoenicopterus chilensis (34) Recurvirostra andina (32,4) Lessonia oreas (9,38)	

<sup>\*</sup>Se calcula a partir de las abundancias de los años en que se observaron ejemplares.

# 6.6.3.4 <u>Abundancias de aves acuáticas en el Sistema Lacustre Peine</u>

Durante la presente campaña, el Sistema Lacustre de Peine arrojó un total de 313 ejemplares de aves pertenecientes a 5 especies, en donde 307 individuos corresponden a alguna de las tres especies de flamencos, incluyendo el registro de pollos. Respecto a los censos anteriores, se observa una mantención en la abundancia de aves (Anexo XI, sección 2.3,2 Tabla 2-6 y Tabla 2-7), apreciándose un incremento en el número de ejemplares de flamencos registrados durante el presente monitoreo, en particular en la Laguna Salada. De esta forma, en la Figura 6-39 se aprecia un leve incremento en la abundancia de flamencos respecto al año anterior (2018), donde se registraron 274 individuos, mientras que en el censo actual se observaron 33 ejemplares más, llegando a 307 individuos (Figura 6-40).

Es importante considerar que la tendencia de los datos históricos muestra una oscilación en la abundancia de flamencos en el Sistema Peine. Si bien, este sector no es un sitio de congregación de individuos reproductivos, lo que se ve reflejado en la baja abundancia de pollos registrada durante los monitoreos, es relevante poner atención en las fluctuaciones observadas en el número de registros en el tiempo. Considerando el incremento de estos en la campaña actual, es necesario verificar si existe una tendencia a la recuperación en el número de ejemplares en los próximos monitoreos. De esta forma, es posible ratificar el comportamiento de las oscilaciones en relación con la variabilidad del número de individuos como un comportamiento normal o anormal para estas poblaciones, teniendo en cuenta los desplazamientos entre lagunas y/o salares dentro de su rango de distribución. Así mismo, se debe evaluar si este sistema puede verse influenciado por múltiples factores como calidad de agua, temperatura y/o disponibilidad de alimentos, tanto en el sistema de Peine u otros sectores utilizados por estas especies, que pudieran condicionar la ocupación de este sistema lacustre en particular.



700 600 N° de individuos 500 400 300 200 100 0 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 Campañas Phoenicopterus chilensis Phoenicoparrus andinus Phoenicoparrus jamesi Pollos de flamencos Flamencos no determinados --- N total

Figura 6-39. Abundancia de flamencos en Sistema Peine. Campañas 2006 – 2019.

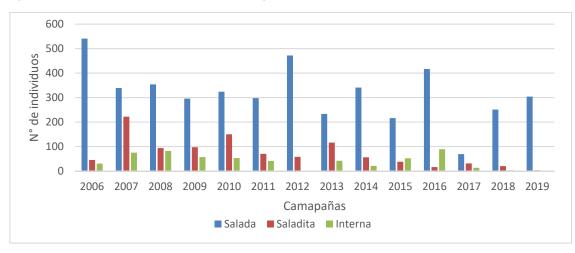


Figura 6-40. Abundancia de flamencos por laguna en el Sistema Peine. Campañas 2006 – 2019.

Fuente: Elaboración propia

En relación con las otras especies de aves registradas en el Sistema Peine, en la temporada 2017 se observa una disminución en la abundancia respecto a la campaña anterior, como se aprecia en la Figura 6-41. Los datos históricos muestran una curva bimodal, con máximos de abundancia en los primeros y últimos años de monitoreos y un mínimo la campaña 2011, en donde solo se registraron nueve aves.



200 180 160 140 de individuos 120 100 80 60 40 20 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 Campañas Salada ■ Saladita Interna

Figura 6-41. Abundancia de especies de aves en Sistema Peine (sin considerar flamencos). Campañas 2006 – 2019.

Cabe destacar que la Laguna Salada es en donde se observa la mayor abundancia de aves, con un promedio de 463,01 individuos registrados durante todo el seguimiento, seguido por 151,51 individuos en la Laguna Saladita y 91,41 individuos en Laguna Interna (Tabla 6-34). La riqueza de especies también muestra un patrón similar, con un mayor valor en Laguna Salada, con 15 especies, en donde cuatro especies presentan registros esporádicos, seguido por once especies en Laguna Saladita y en Laguna Interna.

A modo general, en las tres lagunas las especies dominantes son los flamencos, siendo también importante la presencia constante de pollito de mar (*P. tricolor*), caití (*R. andina*), playero de Baird (*C. bairdii*) y chorlo de la puna (*C. alticola*).

Tabla 6-34. Indicadores generales de aves en ambientes acuáticos por cuerpo de agua en el Sistema Peine. Campañas 2006 – 2019.

Indicador	Laguna o cuerpo de agua			
	Salada	Saladita	Interna	
Riqueza de especies	15	11	10	
Abundancia promedio*	463,01	151,50	88,41	
Especies más abundantes (Abundancia promedio*)	-Phoenicoparrus andinus (181,14) -Phoenicoparrus jamesi (82,3) -Phoenicopterus chilensis (53,1)	-Pollos de flamenco (50,3) -Phoenicoparrus jamesi (33,9) -Phoenicoparrus andinus (24,6)	-Phoenicoparrus jamesi (27,3) -Phoenicoparrus andinus (21,6) -Phoenicopterus chilensis (10,3)	
Especies registradas en un solo cuerpo de agua	Calidris melanotos (27) Anas puna (2) Bubulcus ibis (1) Anas flavirostris oxyptera (1)	Podiceps occipitalis (1)	Fulica ardesiaca (1)	



Tabla 6-34. Indicadores generales de aves en ambientes acuáticos por cuerpo de agua en el Sistema Peine. Campañas 2006 – 2019.

Indicador	Laguna o cuerpo de agua			
indicador	Salada	Saladita	Interna	
(Abundancia promedio*)				
Especies compartidas	Calidris bairdii Charadrius alticola Larus serranus (Chroicocephalus : Phalaropus tricolor Phoenicoparrus andinus Phoenicoparrus jamesi Phoenicopterus chilensis Recurvirostra andina	Charadrius alticola Larus serranus (Chroicocephalus serranus) Phalaropus tricolor Phoenicoparrus andinus Phoenicoparrus jamesi Phoenicopterus chilensis		

<sup>\*</sup>Se calcula a partir de las abundancias de los años en que se observaron ejemplares.

# 6.6.4 Mamíferos

# 6.6.4.1 Micromamíferos

Durante la actual campaña de monitoreo se obtuvieron registros en los dos sectores y en los tres ambientes prospectados, similar a la campaña anterior, capturando ejemplares de las especies *Eligmodontia puerulus*, *Abrothrix andinus* y *Phyllotis xanthopygus*. Cabe señalar que los registros del presente año permiten establecer una disminución en las abundancias, obteniendo valores similares al año 2008 y 2009, con un total de 36 ejemplares capturados (Figura 6-42). Los mayores valores en abundancia promedio fueron para *P. xanthopygus* (2,7 individuos/hábitat), capturados principalmente en el ambiente de Brea-Cachiyuyo y el Pajonal del sector Vega de Carvajal. En forma similar a lo ocurrido en el año 2016, un incremento importante detectado a nivel poblacional de roedores se ve asociado a las altas precipitaciones durante el año anterior (i.e. 2017), entendiéndose como un desfase en el aumento de la oferta trófica en el ambiente, que podría esperarse para el monitoreo del año 2020.



geobiota

Abundancia promedio Vega de Carvajal Aguas de Quelana Total Campaña

Figura 6-42. Abundancia de micromamíferos en los sectores de estudio. Campañas 2006 – 2019.

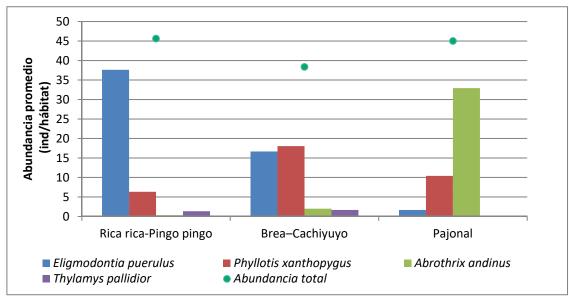
Fuente: Elaboración propia

El análisis de los registros históricos del seguimiento ambiental en el borde este del Salar de Atacama, muestran un predominio de dos especies, en función del ambiente en que viven (Figura 6-43): *E. puerulus*, con una mayor presencia en ambientes de Rica rica-Pingo pingo (37,63 ind/hábitat), mientras que la especie *A. andinus* se encuentra predominantemente en ambientes de Pajonal (32,93 ind/habitat). Por su parte, *P. xanthopygus* ha sido registrada en los tres ambientes con abundancias que van entre los 7 y 15 ind/hábitat, distribuyéndose en forma homogénea en los distintos hábitat y sectores. Por último, *T. pallidior*, ha presentado los menores valores de captura, dando cuenta de sus bajas densidades poblacionales, así como su difícil captura. Así mismo, estos registros se encuentran claramente asociados a ambientes con vegetación arbustiva. 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 y cercanos a cursos de agua, en tanto que la lauchita de pie sedoso (*E. puerulus*) presenta preferencia por sitios de arbustos bajos.



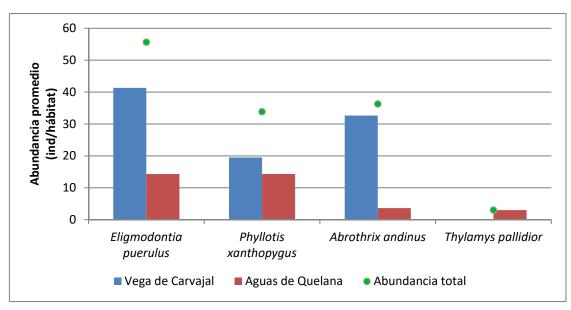


Figura 6-43. Abundancia de micromamíferos por ambiente en los sectores de estudio. Campañas 2006 – 2019.



En cuanto a los sectores de estudio, la riqueza de especies es mayor en Aguas de Quelana, con cuatro especies capturadas durante el monitoreo, mientras que en Vega de Carvajal se han capturado tres especies, no existiendo a la fecha registros de *T. pallidior* en el sector (Figura 6-44).

Figura 6-44. Abundancia de micromamíferos por especie en los sectores de estudio. Campañas 2006 – 2019.







### 6.6.4.2 Macromamíferos

En el presente monitoreo, el registro mediante trampas olfativas arrojó resultados para zorro (*Pseudalopex sp.*), sólo en el ambiente de Brea-Cachiyuyo, en el sector de Aguas de Quelana. Como dato adicional, se pudo confirmar la presencia mediante el uso de cámaras trampas y evidencia indirecta (huellas y fecas) en otros ambientes y sectores dentro del área de estudio.

Durante los distintos años de monitoreo, ha sido posible establecer la presencia de zorros en todos los años de monitoreo, a excepción de la campaña 2012, donde no hubo registros para esta especie. La detección de esta especie en el tiempo ha sido aleatoria en los dos sectores y/o ambientes prospectados (Figura 6-45 y Figura 6-46). Sin embargo, se ha observado una tendencia a utilizar mayormente los ambientes en el sector de Vegas de Carvajal, en particular los de Brea Cachiyuyo (Figura 6-47). A lo anterior se suma el patrón azaroso del número de visitas, dando cuenta del amplio ámbito de hogar de esta especie. Estos resultados son corroborados, durante el monitoreo actual, por la presencia de fecas y huellas en todos los sectores prospectados, así como en los distintos ambientes presentes en el área de estudio, incluyendo registros en el ambiente de salar, en el sector de Peine. Esto sustenta el planteamiento realizado en anteriores monitoreos, en cuanto al amplio ámbito de hogar de esta especie, y al extenso uso que hace del territorio, recorriendo los diferentes sectores del borde Este del Salar de Atacama.

Figura 6-45. Índice de visitas de *Pseudalopex sp* en estaciones olfativas por ambiente en Vega de Carvajal. Campañas 2007 – 2019.

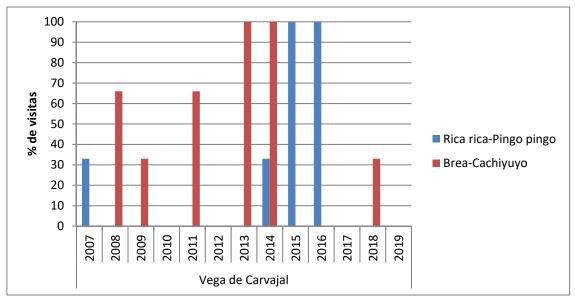




Figura 6-46. Índice de visitas de *Pseudalopex sp* en estaciones olfativas por ambiente en Aguas de Quelana. Campañas 2007 – 2019.

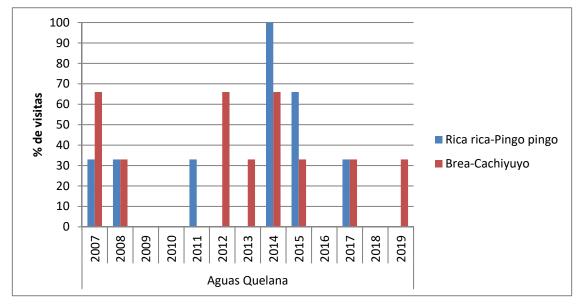
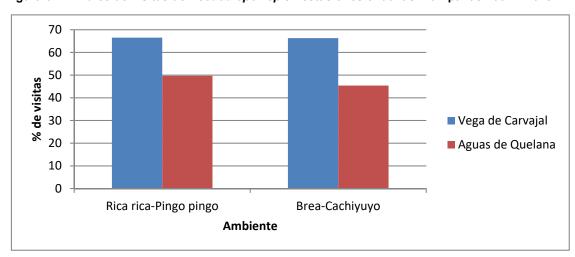


Figura 6-47. Índice de visitas de Pseudalopex sp en estaciones olfativas. Campañas 2007 – 2019.





# 6.7 Biota acuática

#### 6.7.1 Medio Abiótico

Los principales resultados obtenidos de los análisis comparativos interanuales para el medio abiótico se presentan desde la desde la Tabla 6-35 a la Tabla 6-62 y Figura 6-48 a la Figura 6-74.

# 6.7.1.1 <u>Temperatura</u>

La comparación interanual de los datos de temperatura medidos en el área de estudio a lo largo de todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019) indica la existencia de diferencias significativas entre los distintos periodos de estudio. Cabe destacar que, la temperatura presenta de forma natural cambios a nivel diario, estacional e interanual, dependiendo del grado de radiación solar incidente a la hora del muestreo, por lo que las diferencias o similitudes encontradas al analizar los datos medidos a lo largo de los años no tienen una significancia biológica.

Respecto al sector de Puilar, la temperatura durante todo el periodo de monitoreo (2006 – 2019), varió entre 4,2 y 29,0 °C (Tabla 6-35), los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los datos de temperatura registrados en el sector. La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=51,47, g.l=13, p<0,0001, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019), el cual varió significativamente respecto a años 2006-2007-2011-2012-2017 y 2018, estas diferencias mostraron que el año 2019, presentó temperaturas más frías que las medidas los años 2006-2007-2008-2009-2010-2011-2012-2013-2015-2016-2017 y 2018, a su vez presentó temperaturas relativamente más elevadas que las determinadas el año 2014 (Figura 6-48).

Tabla 6-35. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Temperatura registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

	Numero de datos		Temperatura. Puilar							
Periodo	(N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)			
Año 2006	5	13,7	21,7	17,1	17,2	3,0	17,3			
Año 2007	5	23,0	27,4	24,6	23,9	1,7	7,0			
Año 2008	5	11,6	18,2	15,5	15,7	2,7	17,2			
Año 2009	5	10,0	17,5	13,8	15,4	3,4	25,0			
Año 2010	5	11,1	16,7	13,5	13,6	2,0	15,1			
Año 2011	5	15,7	24,0	21,1	21,4	3,4	15,9			
Año 2012	5	23,5	27,8	26,5	27,2	1,7	6,5			
Año 2013	2	25,0	29,0	27,0	27,0	2,8	10,5			
Año 2014	4	4,2	10,2	7,5	7,7	2,5	33,2			
Año 2015	4	12,4	20,1	16,8	17,4	3,3	19,6			
Año 2016	3	11,8	19,6	16,6	18,5	4,2	25,4			

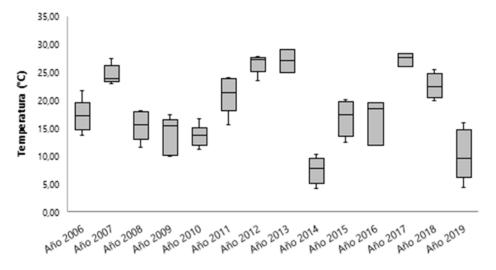




Tabla 6-35. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Temperatura registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Periodo	Numero de datos		Temperatura. Puilar							
	(N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)			
Año 2017	5	26,0	28,4	27,3	27,6	1,1	4,2			
Año 2018	4	19,9	25,4	22,5	22,4	2,3	10,1			
Año 2019	5	4,4	15,9	10,3	9,6	4,6	44,6			

Figura 6-48. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Temperatura medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

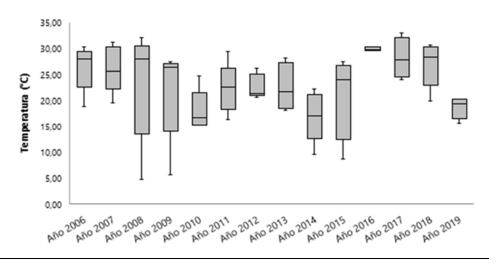
En cuanto al sector de Soncor, los valores de temperatura medidos durante todo el periodo de estudio (2006-2019) variaron entre 4,8 y 33°C, los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los datos de temperatura registrados en el sector (Tabla 6-36). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=27,77, g.l=13, p=0,0097, Anexo XV), el actual periodo de monitoreo (año 2019), varió significativamente respecto a años 2012 y 2017; el periodo de monitoreo 2019 presentó mayores temperaturas que las registradas en el mismo sector durante los años 2010 y 2014 (Figura 6-49).



Tabla 6-36. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Temperatura registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

	Numero			Tempera	tura. Soncor		
Periodo	de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var. (%)
Año 2006	5	18,9	30,2	26,4	27,9	4,4	16,7
Año 2007	5	19,6	31,2	26,2	25,7	4,5	17,2
Año 2008	5	4,8	32,0	23,1	27,9	10,8	46,9
Año 2009	5	5,7	27,5	21,8	26,4	9,2	42,2
Año 2010	5	15,3	24,8	18,1	16,7	3,9	21,8
Año 2011	5	16,4	29,4	22,3	22,6	4,8	21,3
Año 2012	5	20,7	26,2	22,7	21,3	2,4	10,4
Año 2013	4	18,2	28,1	22,4	21,7	4,7	20,9
Año 2014	5	9,5	22,2	16,9	17,1	4,9	28,7
Año 2015	4	8,7	27,4	21,0	24,0	8,4	39,8
Año 2016	3	29,5	30,2	29,8	29,8	0,4	1,2
Año 2017	4	24,1	33,0	28,2	27,9	3,9	13,8
Año 2018	5	19,9	30,6	27,0	28,3	4,3	16,1
Año 2019	4	15,7	20,2	18,7	19,4	2,1	11,3

Figura 6-49. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Temperatura medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo).





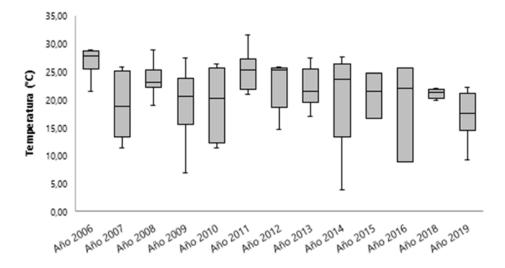
Por otro lado, para el sector Aguas de Quelana por su parte, las temperaturas anuales medidas durante todo el periodo de estudio (2006-2019), variaron entre 3,8 y 31,5 °C, los distintos coeficientes de variación indican alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que también existe variabilidad interanual en los datos de temperatura registrados en el sector (Tabla 6-37). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que existen diferencias significativas (KW=25,9, g.l=12, p=0,0111, Anexo XV), el actual periodo de monitoreo (año 2019) vario significativamente con los años 2006-2008-2011 y 2012, donde el año 2019, presentó menores temperaturas que el resto de los años (Figura 6-50).

Tabla 6-37. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Temperatura registradas entre los años 2006 – 2019, en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de	Temperatura. Aguas de Quelana									
Periodo	datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.				
Año 2006	7	21,5	28,9	26,5	27,7	2,6	9,8				
Año 2007	10	11,4	25,9	19,3	18,8	5,6	29,0				
Año 2008	9	19,0	28,8	23,7	23,2	2,7	11,5				
Año 2009	10	6,9	27,4	19,6	20,6	6,4	32,6				
Año 2010	10	11,4	26,4	19,2	20,4	6,7	35,0				
Año 2011	8	21,0	31,5	25,2	25,4	3,5	13,8				
Año 2012	5	14,7	25,9	22,8	25,3	4,7	20,6				
Año 2013	6	17,1	27,5	22,2	21,6	3,6	16,3				
Año 2014	5	3,8	27,6	20,6	23,7	9,6	46,4				
Año 2015	3	16,7	24,7	21,0	21,5	4,0	19,2				
Año 2016	3	8,9	25,6	18,9	22,1	8,8	46,7				
Año 2017	1	29,0	29,0	29,0	29,0	-	-				
Año 2018	7	20,0	22,0	21,1	21,3	0,8	3,7				
Año 2019	9	9,1	22,2	17,4	17,5	4,3	24,4				



Figura 6-50. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Temperatura medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Finalmente, los valores de temperatura medidos durante todo el monitoreo en el sector de Peine variaron entre 5,2 y 33,0 °C durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), los coeficientes de variación indican mayor variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros, sin embargo, indican una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-38). En relación con la comparación interanual, se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW= 36,08, g.l=13, p=0,0006, Anexo XV). Para el periodo de monitoreo 2019 el sector de Peine vario respecto a los años 2012-2013 y 2015, los valores de temperatura medidos este año fueron menores que los medidos el año 2017, mientras que en comparación al resto de los años, las temperaturas del año 2019 fueron mayores.(Figura 6-51).

Tabla 6-38. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Temperatura registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

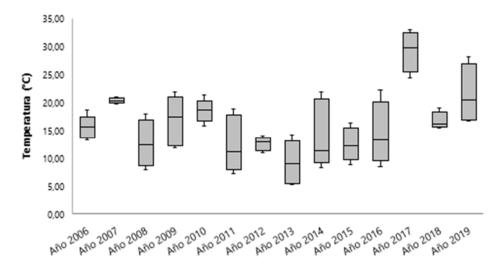
Periodo	Numero de	Temperatura. Peine								
Periodo	datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.			
Año 2006	5	13,3	18,7	15,6	15,7	2,1	13,5			
Año 2007	5	19,7	21,0	20,3	20,2	0,5	2,5			
Año 2008	4	7,9	18,0	12,7	12,4	4,3	33,9			
Año 2009	5	11,8	21,8	16,7	17,4	4,4	26,3			
Año 2010	5	15,8	21,3	18,5	18,7	2,0	10,9			
Año 2011	5	7,3	18,9	12,5	11,1	5,0	40,1			
Año 2012	5	11	14,0	12,6	12,9	1,2	9,9			
Año 2013	5	5,2	14,2	9,2	9,0	3,9	42,7			
Año 2014	5	8,3	21,8	14,2	11,3	6,0	42,4			



Tabla 6-38. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Temperatura registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

Periodo	Numero de	Temperatura. Peine								
	datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.			
Año 2015	5	8,9	16,3	12,5	12,3	3,0	24,2			
Año 2016	4	8,5	22,3	14,4	13,3	5,8	40,3			
Año 2017	4	24,3	33,0	29,2	29,8	3,7	12,5			
Año 2018	4	15,5	19,0	16,7	16,2	1,6	9,4			
Año 2019	4	16,66	28,05	21,4	20,4	5,3	24,8			

Figura 6-51. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Temperatura medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Cabe indicar que a lo largo de todo el periodo de monitoreo la temperatura ha variado entre valores de 3,8°C (sector Aguas de Quelana año 2014) y 33 °C (sector de Soncor y Peine año 2017) indicando fuertes oscilaciones espaciales e interanuales, sin embargo, estas oscilaciones no responden a un patrón determinado y como se mencionó anteriormente están estrechamente ligadas al momento puntual del muestreo, por lo que estas variaciones no tienen una implicancia biológica en las comunidades acuáticas que se desarrollan en los distintos sistemas estudiados.

### 6.7.1.2 pH

El análisis comparativo del parámetro pH a través de todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), indica en general que los valores de pH entre los distintos sectores monitoreados del Salar de Atacama han variado entre 6,21 y 9,31 unidades, indicando ambientes que van desde lugares levemente ácidos a





medianamente alcalinos. Los coeficientes de variación en general fueron bajos en todos los sectores indicando una homogeneidad en los valores de pH. Cabe indicar que todos los valores registrados a lo largo de todo el periodo de estudio se encuentran dentro de los establecido por la normativa ambiental vigente para la conservación de la vida acuática, por lo que se considerarían adecuados para el mantenimiento y desarrollo de las comunidades acuáticas (NCh 1.333 Of. 78).

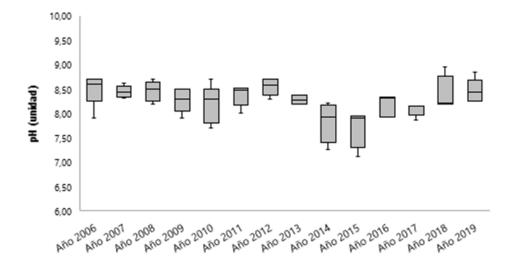
En relación con el sector de Puilar, los valores de pH medidos durante todo el periodo de monitoreo variaron entre 7,11 y 8,94 unidades (Tabla 6-39), los distintos coeficientes de variación indican una leve heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe visualmente variabilidad interanual en los datos de pH registrados en el sector. La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=36,08, g.l=13, p=0,0006, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019) el cual varió significativamente respecto a los años 2014, 2015 y 2017; indicando que el año 2019 presentó valores de pH más básicos que los años 2014, 2015 y 2017 (Figura 6-52).

Tabla 6-39. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de pH registrados entre los años 2006 – 2019, en el sector de Puilar.

			pH. P	uilar			
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2006	5	7,90	8,70	8,50	8,60	0,34	3,99
Año 2007	5	8,32	8,63	8,45	8,44	0,12	1,44
Año 2008	5	8,20	8,70	8,46	8,50	0,21	2,45
Año 2009	5	7,90	8,50	8,28	8,30	0,25	3,01
Año 2010	5	7,70	8,70	8,18	8,30	0,39	4,77
Año 2011	5	8,02	8,53	8,37	8,48	0,21	2,52
Año 2012	5	8,30	8,70	8,55	8,58	0,17	2,01
Año 2013	2	8,20	8,37	8,29	8,29	0,12	1,45
Año 2014	4	7,26	8,22	7,84	7,93	0,42	5,34
Año 2015	4	7,11	7,94	7,71	7,90	0,40	5,23
Año 2016	3	7,92	8,34	8,19	8,31	0,23	2,86
Año 2017	5	7,86	8,16	8,08	8,16	0,13	1,61
Año 2018	4	8,19	8,94	8,39	8,22	0,37	4,36
Año 2019	5	8,25	8,84	8,47	8,43	0,24	2,84



Figura 6-52. Representación gráfica de la variación interanual de los valores pH medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



En cuanto al sector de Soncor, los valores de pH variaron entre 6,51 y 9,31 unidades, por su parte al igual que lo ocurrido en el sistema de Puilar, los distintos coeficientes de variación indican una baja heterogeneidad en tres de los sitios de muestreo, indicando a su vez que existe en general una baja variabilidad interanual en los datos de pH registrados en el sector (Tabla 6-40). Sin embargo, la comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=35,54, g.I=13, p=0,0007, Anexo XV), el actual periodo de monitoreo (año 2019) varió significativamente respecto a los años 2006-2007-2008-2009-2010-2011-2013-2014 y 2015, estas diferencias están dadas principalmente ya que el año 2019, presentó valores de pH más básico que años anteriores mencionados, mientras que el año 2014 presentó los valores más ácidos de todo el periodo de estudio (Figura 6-53). Cabe indicar que todos los valores de pH medidos durante la actual campaña de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico medido para el Salar de Atacama.

Tabla 6-40. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de pH registrados entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

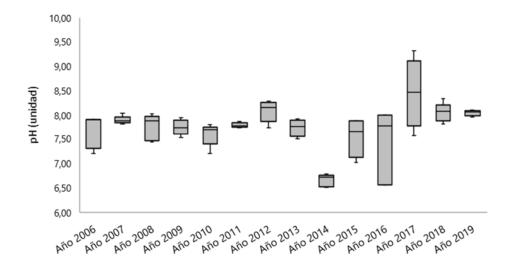
pH. Soncor										
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.			
Año 2006	5	7,20	7,90	7,66	7,90	0,34	4,39			
Año 2007	5	7,82	8,03	7,90	7,88	0,08	1,00			
Año 2008	5	7,44	8,02	7,75	7,88	0,27	3,45			
Año 2009	5	7,53	7,94	7,75	7,74	0,16	2,02			
Año 2010	5	7,20	7,80	7,60	7,70	0,23	3,09			
Año 2011	5	7,74	7,86	7,79	7,77	0,05	0,67			
Año 2012	5	7,74	8,28	8,08	8,15	0,22	2,71			



Tabla 6-40. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de pH registrados entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

	pH. Soncor											
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.					
Año 2013	4	7,50	7,92	7,74	7,76	0,18	2,27					
Año 2014	5	6,51	6,78	6,65	6,71	0,13	1,89					
Año 2015	4	7,01	7,88	7,55	7,66	0,42	5,52					
Año 2016	3	6,56	7,99	7,44	7,77	0,77	10,35					
Año 2017	4	7,57	9,31	8,45	8,47	0,71	8,42					
Año 2018	5	7,81	8,33	8,05	8,08	0,19	2,38					
Año 2019	4	7,96	8,10	8,05	8,06	0,06	0,75					

Figura 6-53. Representación gráfica de la variación interanual de los valores pH medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo).

Para el sector Aguas de Quelana por su parte, los valores de pH variaron entre 6,63 y 8,90 °C, al igual que en los otros sistemas estudiados, los distintos coeficientes de variación indican una baja heterogeneidad entre los distintos sitios muestreados, indicando a su vez que no existe una alta variabilidad interanual en los datos de temperatura registrados en el sector (Tabla 6-41). A pesar de esta baja variabilidad, el análisis estadístico indica que la comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana muestra que sí existen diferencias significativas (KW=30,85 g.l=12, p=0,0021, Anexo XV). Las principales diferencias indican que el actual periodo (año 2019), varió respecto a los años 2010-2014-2015 y 2018; donde estos años presentaron valores de pH levemente ácidos que los medidos el año 2019, que





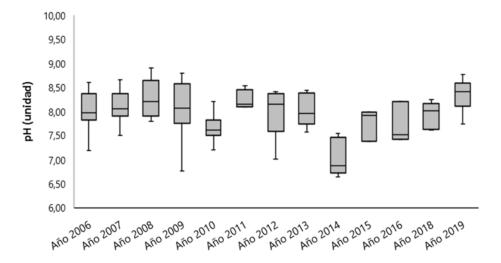
presentó valores de pH más básico respecto a todos los periodos (Figura 6-54). Cabe indicar que los valores de pH medidos en el actual periodo de monitoreo se encuentran dentro del rango de valores históricos medidos en el Salar de Atacama.

Tabla 6-41. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de pH registrados entre los años 2006 – 2019, en el sector de Aguas de Quelana.

			pH. Aguas	de Quelana			
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2006	7	7,18	8,60	8,01	7,98	0,46	5,73
Año 2007	10	7,49	8,66	8,09	8,05	0,33	4,07
Año 2008	9	7,80	8,90	8,29	8,20	0,39	4,73
Año 2009	10	6,76	8,80	8,06	8,08	0,60	7,40
Año 2010	10	7,20	8,20	7,66	7,60	0,28	3,60
Año 2011	8	7,33	8,54	8,15	8,15	0,37	4,59
Año 2012	5	7,01	8,41	8,01	8,15	0,57	7,12
Año 2013	6	7,56	8,44	8,02	7,97	0,34	4,22
Año 2014	5	6,63	7,53	7,04	6,87	0,39	5,49
Año 2015	3	7,37	7,99	7,76	7,92	0,34	4,38
Año 2016	3	7,42	8,21	7,71	7,51	0,43	5,61
Año 2017	1	8,01	8,01	8,01	8,01	-	-
Año 2018	7	7,60	8,25	7,95	8,01	0,26	3,30
Año 2019	9	7 74	8 76	8 33	8 41	0.32	3.89



Figura 6-54. Representación gráfica de la variación interanual de los valores pH medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Finalmente, los valores de pH medidos en el sector de Peine variaron entre 6,21 y 8,94 unidades durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), los coeficientes de variación indican mayor variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros, sin embargo, indican una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-42). En relación a la comparación interanual, se presentaron diferencias significativas entre el periodo 2018 con algunos de los periodos de monitoreo (KW= 39,23, g.l=13, p=0,0002, Anexo XV). Cabe indicar que el periodo de monitoreo 2019, en el sector de Peine, no presentó variaciones respectos a los otros periodos, sin embargo, si se presentaron valores de pH menores que los años 2006-2007-2008-2009-2010-2011-2012-2013-2017 y 2018. (Figura 6-55). Al igual que lo detectado en los otros sitios de muestreo, los valores de pH medidos durante la actual campaña de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico de valores medidos en toda el área de estudio.

Tabla 6-42. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de pH registrados entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

	pH. Peine											
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.					
Año 2006	5	7,96	8,20	8,08	8,04	0,10	1,23					
Año 2007	5	8,00	8,25	8,14	8,19	0,12	1,52					
Año 2008	4	7,00	8,40	8,00	8,30	0,67	8,35					
Año 2009	5	8,12	8,26	8,17	8,16	0,05	0,64					
Año 2010	5	7,70	7,90	7,82	7,80	0,08	1,07					
Año 2011	5	8,12	8,27	8,18	8,17	0,06	0,72					
Año 2012	5	8,57	8,94	8,67	8,60	0,16	1,81					
Año 2013	5	7,99	8,71	8,41	8,41	0,27	3,20					

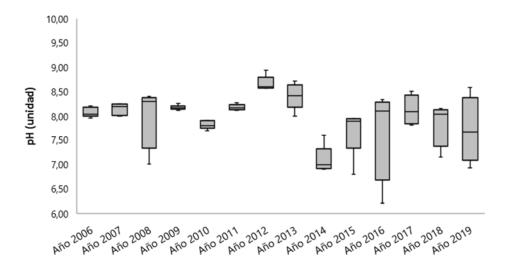




Tabla 6-42. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de pH registrados entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

	pH. Peine											
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.					
Año 2014	5	6,90	7,60	7,09	6,99	0,29	4,11					
Año 2015	5	6,79	7,94	7,69	7,89	0,50	6,54					
Año 2016	4	6,21	8,34	7,69	8,10	0,99	12,88					
Año 2017	4	7,81	8,50	8,12	8,09	0,31	3,77					
Año 2018	4	7,15	8,15	7,84	8,03	0,46	5,92					
Año 2019	4	6,93	8,58	7,71	7,67	0,68	8,85					

Figura 6-55. Representación gráfica de la variación interanual de los valores pH medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Finalmente, cabe señalar que a lo largo de todo el periodo de monitoreo el pH ha presentado un rango de variación de ±3 unidades indicando que existe una tendencia más bien estable en los sectores estudiados a lo largo de los años. En este sentido, como se mencionó anteriormente los rangos observados en los distintos sectores del Salar de Atacama se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa ambiental que establece requisitos para el desarrollo de la vida acuática (NCh 1.333, 6,0-9,0) y aun cuando los máximos valores exceden dicha norma levemente, estas variaciones no tendrían efectos negativos sobre las comunidades acuáticas que se desarrollan en los distintos sistemas estudiados, debido a que el rango de variación del pH en los lagos salinos se ha descrito como extenso, variando entre 3,0 y 11 unidades, rango en el cual distintas comunidades acuáticas pueden desarrollarse (Hammer 1986). Por





ejemplo, El estudio realizado por Conte y Geddes (1988), mostró que en los lagos salinos con bajos valores de pH sólo se registró una especie de invertebrado, mientras que en otras condiciones de pH se pudo encontrar una alta variedad de especies. Cabe indicar también, que toda la biota acuática detectada en estos sitios de muestreo se encuentra altamente adaptada a estas condiciones fisicoquímicas.

# 6.7.1.3 Conductividad eléctrica del agua

La conductividad eléctrica corresponde a un parámetro que permite tener una aproximación de los minerales y sales disueltos en la columna de agua los cuales se descomponen en iones cargados positiva y negativamente, por lo tanto la conductividad se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos, Además, como las sales y también otras sustancias afectan la calidad del agua, también influyen en el desarrollo de la biota acuática, ya cada organismo distinto tolera una gama de valores de conductividad diferentes. Cabe indicar que todos los sistemas del Salar de Atacama corresponden a cuerpos de agua hipersalinos los cuales por su naturaleza imposibilitan sus aguas para actividades tales como riego.

De acuerdo con el monitoreo histórico, el sector de Puilar presentó una baja variación en sus valores de conductividad durante todo el periodo de monitoreo, la cual varió entre 2,50 (valor atípico) y 115,80 mS/cm (Tabla 6-43) los distintos coeficientes de variación medidos durante todo el periodo de estudio indican en general una baja variabilidad en los datos, indicando a su vez que existe una baja variabilidad interanual en los datos de temperatura registrados en el sector. Por su parte, la comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican que no existen diferencias significativas respecto a este parámetro (KW=12,69, g.l=13, p=0,4721, Anexo XV) (Figura 6-56).

Tabla 6-43. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

		Conduc	tividad eléctri	ica del agua. F	Puilar		
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2006	5	2,50	115,80	54,70	42,10	44,13	80,68
Año 2007	5	27,20	87,30	48,16	37,10	25,93	53,85
Año 2008	5	21,00	64,00	40,20	35,00	19,41	48,28
Año 2009	5	22,40	90,00	46,18	24,60	32,01	69,33
Año 2010	5	20,90	79,70	43,04	39,20	22,92	53,26
Año 2011	5	19,20	33,00	26,61	25,05	5,81	21,84
Año 2012	5	27,30	67,10	40,90	28,30	18,39	44,96
Año 2013	2	25,10	25,90	25,50	25,50	0,57	2,22
Año 2014	4	24,10	100,60	50,15	37,95	35,49	70,77
Año 2015	4	34,30	100,20	54,98	42,70	30,75	55,94
Año 2016	3	24,30	31,30	27,90	28,10	3,50	12,56
Año 2017	5	32,40	69,70	48,14	36,70	18,07	37,54
Año 2018	4	30,81	98,50	48,67	32,69	33,26	68,33
Año 2019	5	18,41	43,25	28,85	23,33	11,84	41,06



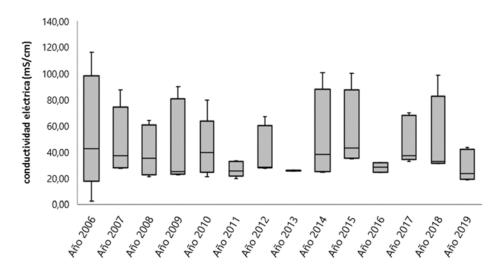
geobiota

Tabla 6-43. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Conductividad eléctrica del agua. Puilar							
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-56. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del agua medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Por otro lado, en el sector de Soncor los valores de conductividad eléctrica del agua variaron entre 84,20 y 225,20 mS/cm, los distintos coeficientes de variación indican homogeneidad en los datos analizados, indicando a su vez que existe una baja variabilidad interanual en los datos de conductividad registrados en el sector (Tabla 6-44). En complemento, la comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican que no existen diferencias significativas (KW=13,45, g.l=13, p=0,4135, Anexo XV) (Figura 6-57) por lo que se puede señalar que en función de este parámetro el sector Soncor se ha comportado de manera estable a través del tiempo y ha presentado baja variabilidad en la cantidad de sales disueltas en la columna de agua.

Tabla 6-44. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Conductividad eléctrica del agua. Soncor									
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.		
Año 2006	5	95,20	221,00	150,96	120,40	60,14	39,84		
Año 2007	5	98,00	164,80	123,96	116,20	25,46	20,54		

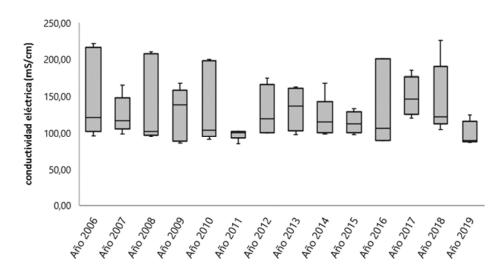




Tabla 6-44. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

		Conduc	tividad eléctri	ca del agua.	Soncor		
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2008	5	94,80	210,00	141,70	101,30	60,14	42,44
Año 2009	5	84,70	167,50	125,86	138,20	36,41	28,93
Año 2010	5	90,20	199,00	137,56	102,90	55,37	40,25
Año 2011	5	84,20	101,20	97,00	99,40	7,23	7,45
Año 2012	5	99,40	174,00	129,74	118,60	33,92	26,15
Año 2013	4	97,30	162,50	132,88	135,85	30,78	23,16
Año 2014	5	98,00	167,70	119,82	114,10	27,98	23,35
Año 2015	4	97,40	132,80	113,30	111,50	14,89	13,15
Año 2016	3	88,10	199,90	131,37	106,10	60,03	45,70
Año 2017	4	119,80	184,50	148,70	145,25	27,02	18,17
Año 2018	5	104,10	225,20	144,92	121,30	48,64	33,56
Año 2019	4	85,51	123,90	96,69	88,67	18,20	18,83

Figura 6-57. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del agua medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Para el sector Aguas de Quelana por su parte, las conductividades históricas variaron entre 3,0 y 243 mS/cm, a pesar del amplio rango en los valores de conductividad para este sector (dado principalmente por la existencia de valores atípicos a la tendencia), los distintos coeficientes de variación indican baja





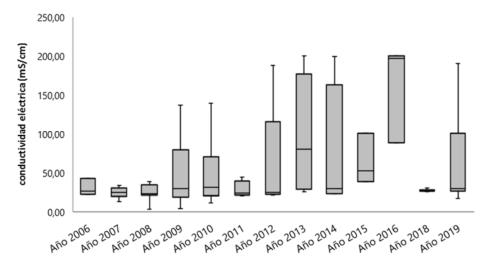
heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que no existe una alta variabilidad interanual en los datos de temperatura registrados en el sector (Tabla 6-45) y además, la comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que no existen diferencias significativas (KW=17,63, g.I=12, p=0,1274, Anexo XV) (Figura 6-58).

Tabla 6-45. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2006	7	22,00	233,00	56,97	26,20	77,91	136,76
Año 2007	10	3,66	234,00	43,08	24,25	67,59	156,91
Año 2008	9	3,00	184,00	40,78	23,00	54,52	133,69
Año 2009	10	3,90	197,00	55,16	29,05	62,41	113,14
Año 2010	10	11,00	197,00	56,13	30,80	61,83	110,15
Año 2011	8	20,40	188,10	45,69	23,20	58,05	127,05
Año 2012	5	21,30	187,80	59,94	24,40	72,07	120,23
Año 2013	6	25,50	199,99	97,12	79,55	77,09	79,38
Año 2014	5	22,30	199,00	80,32	29,10	80,02	99,62
Año 2015	3	38,50	100,20	63,67	52,30	32,38	50,86
Año 2016	3	88,10	199,99	161,70	197,00	63,75	39,43
Año 2017	1	133,00	133,00	133,00	133,00	-	-
Año 2018	7	25,26	29,77	26,69	25,93	1,59	5,96
Año 2019	9	16,78	190,10	61,04	28,96	65,42	107,19



Figura 6-58. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del agua medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Finalmente, la conductividad eléctrica en el sector de Peine varió entre 23,0 y 231,0 mS/cm durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), además, los coeficientes de variación indican mayor variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros, indicando una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-46). En relación a la comparación interanual, a diferencia de lo ocurrido en los otros sectores del Salar de Atacama, en el sector de Peine se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW= 31,64, g.l=13, p=0,0049, Anexo XV). Los valores de conductividad eléctrica del agua medidos el periodo de monitoreo 2019, variaron respecto a los medidos el periodo 2011. Los valores medidos el año 2011 fueron menores que los valores medos el año 2019. (Figura 6-59).

Tabla 6-46. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

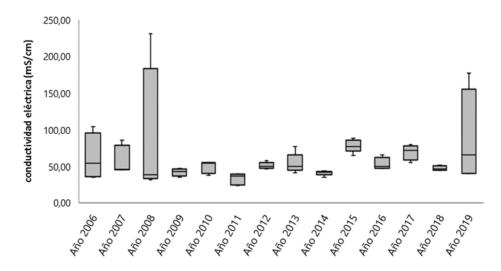
Conductividad eléctrica del agua. Peine									
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.		
Año 2006	5	34,50	103,90	62,96	53,50	31,09	49,37		
Año 2007	5	44,80	85,20	57,98	45,00	18,70	32,25		
Año 2008	4	31,00	231,00	84,50	38,00	97,73	115,65		
Año 2009	5	34,30	46,70	41,16	42,30	4,97	12,08		
Año 2010	5	37,20	54,80	48,48	53,90	8,21	16,94		
Año 2011	5	23,00	38,60	32,28	36,30	7,65	23,69		
Año 2012	5	46,30	57,30	50,32	49,80	4,44	8,82		
Año 2013	5	40,90	76,60	53,78	49,30	13,58	25,25		
Año 2014	5	34,60	43,70	40,70	41,70	3,51	8,64		



Tabla 6-46. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

Conductividad eléctrica del agua. Peine								
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.	
Año 2015	5	64,50	87,90	77,28	76,20	8,63	11,17	
Año 2016	4	46,50	65,00	52,40	49,05	8,51	16,25	
Año 2017	4	54,40	78,60	68,60	70,70	10,18	14,85	
Año 2018	4	43,94	51,46	46,85	45,99	3,52	7,52	
Año 2019	4	39,56	176,80	86,47	64,76	64,68	74,80	

Figura 6-59. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del agua medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Cabe indicar que las diferencias dadas respecto a este parámetro se suscitaron principalmente debido a la existencia de valores atípicos medidos en momentos puntuales que no representan la tendencia del parámetro en la mayoría de los sitios de estudio. Cabe señalar también, que, dada la naturaleza del sector estudiado (sistemas hidrológicos hipersalinos), el recurso hídrico no es apto para riego, y que los grandes valores de conductividad medidos a través de todo el periodo de monitoreo incluyendo los valores de línea de base, indican que no existirían implicancias para el desarrollo de la biota acuática en el sector, la cual está adaptada a estas grandes concentraciones de sales y minerales disueltos en la columna de agua. Por último, todos los valores de Conductividad medidos en los distintos sitios del Salar de Atacama durante la actual campaña de monitoreo se encuentran dentro del rango de valores históricos determinados para estos sitios.



#### 6.7.1.4 Salinidad

Las sales en solución ejercen efectos derivados de la presión osmótica sobre los organismos vivientes en la columna de agua. Existe una estrecha relación entre la salinidad y la conductividad, ya que ambos parámetros indican la cantidad de solutos presentes en el agua y se derivan de la misma medición, los cuales nos entregan información sobre los posibles efectos que pudiese tener el recurso hídrico para el desarrollo de la vida acuática, principalmente sobre organismos que presenten una alta sensibilidad a distintos rangos de presión osmótica.

De acuerdo con la comparación histórica de los valores de Salinidad obtenidos a través de todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), se puede indicar que los únicos sectores que presentaron diferencias significativas en la variabilidad interanual en los valores de Salinidad fueron Aguas de Quelana y Peine, mientras que los sectores de Puilar y Soncor no presentaron diferencias a través del tiempo.

Respecto al sector de Puilar, la salinidad medida durante todo el periodo de monitoreo varió entre 10,96 y 100,0 PSU (Tabla 6-47) los distintos coeficientes de variación indican baja heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una baja variabilidad interanual en los datos de temperatura registrados en el sector. La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar que no existen diferencias significativas en los valores de Salinidad medidos a través de los años en el sector de Puilar (KW=13,93, g.l=13, p=0,3788, Anexo XV) por lo que este parámetro en este sector se ha comportado de manera estable, al igual que la conductividad.

Tabla 6-47. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Salinidad registrados entre los años 2006 – 2019, en el sector de Puilar.

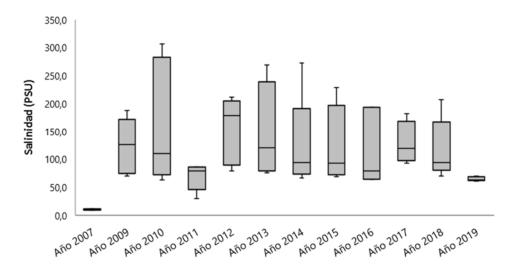
			Salinidad del	agua. Puilar			
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2006	4	12,70	56,30	28,85	23,20	19,16	66,41
Año 2007	5	16,70	62,40	32,20	23,60	19,62	60,94
Año 2008	5	12,60	42,90	25,64	21,10	13,72	53,52
Año 2009	5	13,70	100,00	42,54	20,00	37,08	87,17
Año 2010	5	17,10	52,00	28,02	24,00	13,71	48,93
Año 2011	5	14,00	28,00	17,78	14,50	5,97	33,57
Año 2012	5	17,10	48,00	27,10	17,80	13,93	51,39
Año 2013	2	15,60	16,30	15,95	15,95	0,49	3,10
Año 2014	4	14,40	68,00	32,08	22,95	25,16	78,44
Año 2015	4	17,60	52,00	28,35	21,90	16,25	57,30
Año 2016	3	13,50	15,80	14,60	14,50	1,15	7,90
Año 2017	5	19,40	58,00	33,48	22,00	17,46	52,16
Año 2018	4	19,17	63,95	30,97	20,39	22,01	71,07
Año 2019	5	10,96	27,65	17,87	14,12	7,89	44,07





En cuanto al sector de Soncor, los valores de Salinidad medidos durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), variaron entre 8,70 y 306,0 PSU, por su parte, los distintos coeficientes de variación indican homogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una baja variabilidad interanual en los datos de Salinidad registrados en este sector (Tabla 6-48). Por su parte, la comparación estadísticas entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican que no existen diferencias significativas en los valores de salinidad medidos (KW=19,91, g.l=11, p=0,0464, Anexo XV) por lo que al igual que lo detectado en el sector de Puilar este parámetro en este sector se ha comportado de manera estable a lo largo del tiempo al igual que la conductividad.

Figura 6-60. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Salinidad medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Tabla 6-48. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Salinidad registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

	Salinidad del agua. Soncor									
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.			
Año 2006	1	69,30	69,30	69,30	69,30	-	-			
Año 2007	2	8,70	11,00	9,85	9,85	1,63	16,51			
Año 2008	1	65,50	65,50	65,50	65,50	-	-			
Año 2009	5	70,00	187,00	123,00	126,00	50,13	40,76			
Año 2010	5	63,00	306,00	163,60	109,00	111,02	67,86			
Año 2011	5	29,00	86,00	68,40	79,00	23,87	34,90			
Año 2012	5	79,00	211,00	153,00	178,00	60,01	39,22			
Año 2013	4	75,00	268,00	145,75	120,00	87,94	60,33			

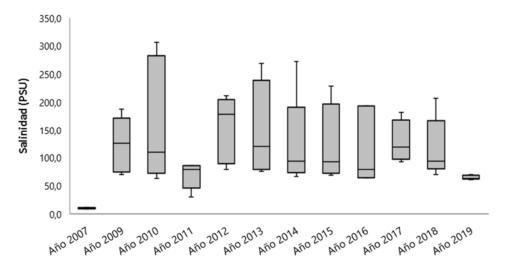




Tabla 6-48. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Salinidad registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Salinidad del agua. Soncor									
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.		
Año 2014	5	66,00	272,00	124,20	93,00	84,20	67,80		
Año 2015	4	68,00	228,00	120,25	92,50	73,09	60,78		
Año 2016	3	64,00	193,00	112,00	79,00	70,55	62,99		
Año 2017	4	92,00	182,00	128,00	119,00	38,50	30,08		
Año 2018	5	70,00	206,51	116,95	93,20	53,95	46,13		
Año 2019	4	60,49	70,00	64,14	63,03	4,09	Año 2019		

Figura 6-60. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Salinidad medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Por otro lado y a diferencia de los sectores de Puilar y Soncor, el sector Aguas de Quelana, presentó valores de salinidad que variaron entre 0,70 y 329,0 PSU, además, los distintos coeficientes de variación indicaron heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los datos de Salinidad registrados en el sector (Tabla 6-49). A diferencia de lo ocurrido con la conductividad, la comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que existen diferencias significativas (KW=24,53, g.l=12, p=0,0172, Anexo XV). Esta diferencia se presentó entre el año 2019 y el año 2007, principalmente debido a que los valores medidos de salinidad fueron mucho menores durante el año 2007 respecto al monitoreo actual. (Figura 6-61).

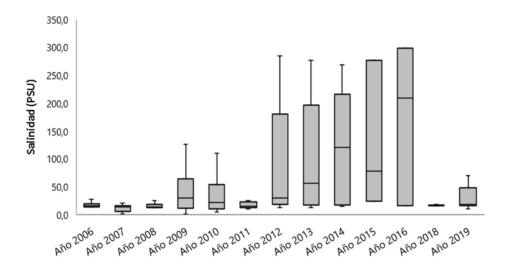




Tabla 6-49. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Salinidad registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2006	6	13,20	26,80	17,10	16,10	5,01	29,33
Año 2007	10	0,70	20,80	11,92	13,70	6,59	55,27
Año 2008	8	1,60	24,50	14,09	13,70	6,45	45,81
Año 2009	10	0,70	329,00	63,51	29,00	99,56	156,76
Año 2010	10	4,45	232,00	48,72	21,40	71,32	146,40
Año 2011	8	9,51	237,00	42,30	14,05	78,79	186,27
Año 2012	5	12,70	284,00	85,14	30,00	113,77	133,63
Año 2013	6	12,60	276,00	98,23	56,00	106,09	108,00
Año 2014	5	14,90	268,00	116,94	120,00	106,40	90,99
Año 2015	3	24,00	276,00	126,00	78,00	132,68	105,30
Año 2016	3	15,50	298,00	174,17	209,00	144,44	82,93
Año 2017	1	105,00	105,00	105,00	105,00	-	-
Año 2018	7	15,41	18,35	16,40	15,89	1,03	6,28
Año 2019	9	9,90	70,00	29,29	17,94	23,49	80,20

Figura 6-61. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Salinidad medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





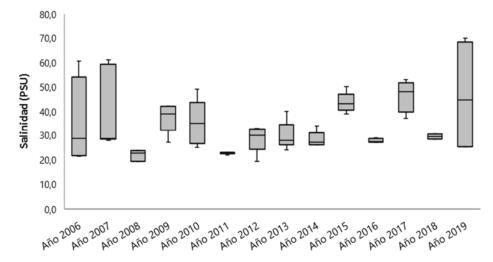
Finalmente, la Salinidad en el sector de Peine varió entre 19,3 y 61,2 PSA durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), por su parte los coeficientes de variación indican mayor variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros, además, indican una heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-50). En relación a la comparación interanual, estadísticamente se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo respecto al año 2011 de monitoreo (KW= 31,64, g.l=13, p=0,0027, Anexo XV). Esta diferencia se debe a que el año 2011, presentó menores valores de salinidad. (Figura 6-62).

Tabla 6-50. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Salinidad registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

	Conductividad eléctrica del agua. Peine											
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.					
Año 2006	4	21,30	60,50	34,83	28,75	18,11	52,02					
Año 2007	5	28,00	61,20	40,80	28,80	16,90	41,43					
Año 2008	3	19,30	23,70	21,93	22,80	2,32	10,60					
Año 2009	5	27,00	42,00	37,40	39,00	6,19	16,55					
Año 2010	5	25,00	49,00	35,00	35,00	9,41	26,88					
Año 2011	5	22,00	23,00	22,80	23,00	0,45	1,96					
Año 2012	5	19,30	33,00	28,66	30,00	5,47	19,07					
Año 2013	5	24,00	40,00	29,80	28,00	6,02	20,19					
Año 2014	5	26,00	34,00	28,20	27,00	3,35	11,87					
Año 2015	5	39,00	50,00	43,60	43,00	4,04	9,26					
Año 2016	4	27,00	29,00	27,75	27,50	0,96	3,45					
Año 2017	4	37,00	53,00	46,50	48,00	6,76	14,53					
Año 2018	4	28,39	30,64	29,52	29,53	1,19	4,02					
Año 2019	4	25,31	70,00	46,19	44,72	24,14	52,26					



Figura 6-62. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Salinidad medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Cabe indicar que a pesar de que la salinidad está estrechamente ligada con la conductividad, algunos sectores mostraron diferencias significativas en la comparación interanual, el principal motivo que explicaría esta variabilidad es la existencia de valores atípicos en las mediciones que no necesariamente representan la tendencia que ha mostrado este parámetro a lo largo de todos los periodos de estudio. Además, cabe señalar que estas variaciones, al igual que lo ocurrido con varios parámetros anteriores no tienen una implicancia biológica en las comunidades acuáticas que se desarrollan en los distintos sistemas estudiados. Al respecto, Williams y colaboradores (1995), basado en un reconocimiento de la naturaleza química y la fauna de invertebrados de siete lagos salinos en el Altiplano de Bolivia meridional se determinó que en un rango de salinidades entre 4,4 y 156 g/l, la fauna de invertebrados se caracterizó por la ausencia de rotíferos en salinidades superiores a 5 g/l. Por otro lado, a altas salinidades (> 50 g/l), solamente se registraron individuos de *Artemia, Boeckella*, Ephydridae y Dolichopodidae. Por último, los valores de Salinidad medidos durante la actual campaña de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico medido en los sitios de muestreo.

### 6.7.1.5 Oxígeno disuelto

Una característica física y química fundamental del agua salina es la disminución en la capacidad de disolver el oxígeno, por lo que, por consiguiente, los cuerpos de agua salina presentan menores concentraciones de oxígeno disuelto que los cuerpos de agua dulce en condiciones ambientales similares, convirtiendo a estos parámetros en variables importantes para determinar la calidad del agua (Roldán, 2003; Wetzel, 2001). Es importante considerar las interdependencias que se dan entre los distintos parámetros que definen la calidad del agua y que se ven estrechamente ligados, definiendo la disponibilidad de oxígeno disuelto en la columna de agua.

Considerando todos los datos levantados en terreno, la comparación interanual de las concentraciones de oxígeno disuelto medidas a lo largo de todo el periodo de monitoreo (2006-2019), se observaron diferencias





significativas en todos los sectores de estudio, presentando un rango de concentraciones amplio y que varió entre 0,50 mg/L (Aguas de Quelana, año 2014) y 13,90 mg/L (Aguas de Quelana, año 2008).

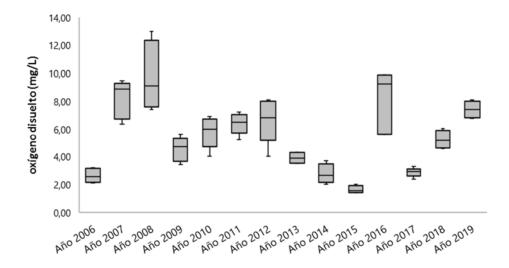
Respecto al sector de Puilar, las concentraciones de oxígeno disuelto medidas durante todo el periodo de monitoreo variaron entre 1,40 y 13,00 mg/L (Tabla 6-51), además, los distintos coeficientes de variación medidos a lo largo del tiempo indican una alta heterogeneidad en los datos, mostrando que existe una alta variabilidad interanual entre los datos de oxígeno disuelto registrados en el sector. Complementariamente, la comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW= 52,93, g.l=13, p<0,0001, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019) respecto a los años 2006-2009-2010-2014-2015- 2017 y 2018. El año 2019 presentó mayores concentraciones de Oxígeno que los años 2006-2009-2010-2014-2015-2017 y 2018 y menores concentraciones que los años 2007-2008. (Figura 6-63). Cabe indicar que los valores de concentración de oxígeno disuelto aumentaron respecto a los medidos el periodo 2018, para este mismo sector, evidenciándose una oscilación interanual sin un patrón especifico respecto a este parámetro.

Tabla 6-51. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Oxígeno disuelto registraos entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

			Oxígeno disu	ielto. Puilar			
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2006	5	2,09	3,20	2,62	2,56	0,51	19,34
Año 2007	5	6,37	9,45	8,17	8,87	1,37	16,71
Año 2008	5	7,40	13,00	9,80	9,10	2,45	25,05
Año 2009	5	3,40	5,60	4,52	4,70	0,88	19,38
Año 2010	5	4,00	6,90	5,76	6,00	1,13	19,66
Año 2011	5	5,20	7,20	6,40	6,50	0,77	12,05
Año 2012	5	4,00	8,10	6,62	6,80	1,65	24,85
Año 2013	2	3,50	4,30	3,90	3,90	0,57	14,50
Año 2014	4	2,00	3,70	2,75	2,65	0,70	25,63
Año 2015	4	1,40	2,00	1,63	1,55	0,29	17,68
Año 2016	3	5,60	9,85	8,22	9,22	2,29	27,89
Año 2017	5	2,39	3,27	2,86	2,92	0,32	11,16
Año 2018	4	4,56	6,03	5,22	5,15	0,66	12,57
Año 2019	5	6,76	8,10	7,39	7,38	0,59	8,05



Figura 6-63. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Oxígeno disuelto medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



En cuanto al sector de Soncor, los valores de oxígeno disuelto variaron entre 0,60 y 13,54 mg/L y al igual que lo detectado en el sector de Puilar, los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en las concentraciones de registrados en el sector (Tabla 6-52). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW= 36,46, g.l=13, p=0,0005, Anexo XV), el actual periodo de monitoreo (año 2019) varió significativamente respecto a los periodos 2007-2009-2014 y 2015 ya que, en el año 2019, presentó mayores valores de concentración de oxígeno que los años 2009-2014 y 2015 y menores que el año 2007 (Figura 6-64).

Tabla 6-52. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Oxígeno disuelto registrados entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Oxígeno disuelto. Soncor											
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.				
Año 2006	5	2,40	11,28	6,83	5,67	3,66	53,54				
Año 2007	5	5,77	9,53	7,19	6,78	1,45	20,11				
Año 2008	5	4,07	13,54	8,35	6,47	4,69	56,17				
Año 2009	5	1,13	5,00	2,42	1,89	1,54	63,48				
Año 2010	5	0,90	5,20	3,32	4,20	1,94	58,38				
Año 2011	5	3,20	7,60	4,92	4,40	1,68	34,05				
Año 2012	5	2,30	7,30	4,04	3,00	2,11	52,12				
Año 2013	4	1,10	4,90	2,80	2,60	1,67	59,62				
Año 2014	5	0,80	2,30	1,48	1,40	0,66	44,67				

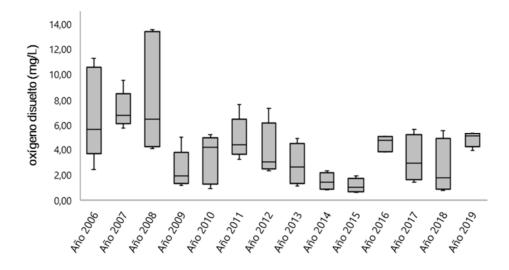




Tabla 6-52. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Oxígeno disuelto registrados entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

	Oxígeno disuelto. Soncor										
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.				
Año 2015	4	0,60	1,90	1,13	1,00	0,57	51,00				
Año 2016	3	3,83	5,03	4,53	4,73	0,62	13,79				
Año 2017	4	1,42	5,63	3,24	2,95	1,89	58,46				
Año 2018	5	0,76	5,55	2,66	1,78	2,13	80,23				
Año 2019	4	3,95	5,35	4,87	5,10	0,63	12,94				

Figura 6-64. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Oxígeno disuelto medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Para el sector Aguas de Quelana, las concentraciones de oxígeno disuelto variaron entre 0,50 y 13,90 mg/L, en este sector los distintos coeficientes de variación determinados en los distintos periodos de monitoreo nuevamente, al igual que en los anteriores sectores estudiados, indican alta heterogeneidad en los datos, indicando a que una alta variabilidad interanual en las concentraciones de oxígeno disuelto presente en la columna de agua registrados en el sector (Tabla 6-53). En complemento, la comparación estadística entre los distintos periodos de estudio para el sector de Aguas de Quelana indican que existen diferencias significativas (KW=61,31, g.l=12, p<0,0001, Anexo XV). Los valores de oxígeno disueltos medidos el 2019 variaron respecto a los años 2007-2008-2010-2013-2014 y 2015, donde los años 2007 y 2008 registraron mayores valores de concentración de oxígeno respecto al presente periodo, en cambio los años 2010-2013-2014 y 2015 registraron concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua menores al año 2019 (Figura 6-65).

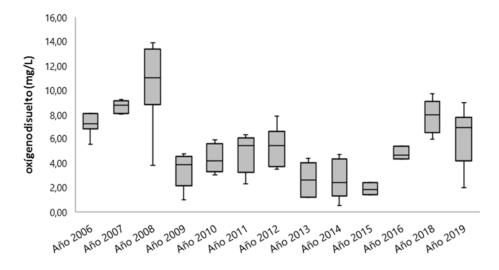




Tabla 6-53. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Oxígeno disuelto registradas entre los años 2006 – 2019, en el sector de Aguas de Quelana.

		Oxíge	no disuelto. A	Aguas de Que	lana		
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2006	7	5,52	12,10	7,81	7,23	2,08	26,61
Año 2007	10	6,22	11,00	8,68	8,75	1,20	13,83
Año 2008	9	3,80	13,90	10,61	11,00	3,23	30,44
Año 2009	10	0,99	8,33	3,70	3,84	2,05	55,23
Año 2010	10	3,00	5,90	4,32	4,15	1,10	25,47
Año 2011	8	2,30	6,30	4,88	5,45	1,54	31,64
Año 2012	5	3,50	7,90	5,22	5,40	1,73	33,11
Año 2013	6	1,20	4,40	2,65	2,60	1,45	54,57
Año 2014	5	0,50	4,70	2,74	2,40	1,66	60,45
Año 2015	3	1,40	2,40	1,87	1,80	0,50	26,96
Año 2016	3	4,34	5,37	4,79	4,66	0,53	11,01
Año 2017	1	3,79	3,79	3,79	3,79	-	-
Año 2018	7	5,95	9,70	7,82	7,96	1,39	17,72
Año 2019	9	1,98	8,98	6,22	6,94	2,46	39,55

Figura 6-65. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Oxígeno disuelto medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





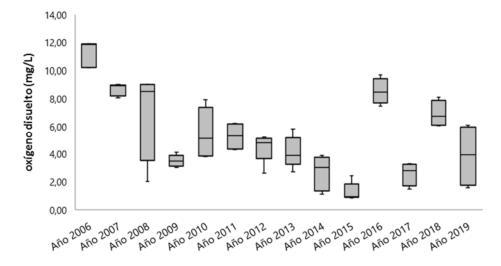
Finalmente, el oxígeno disuelto medido en el sector de Peine varió entre 0,80 y 11,89 mg/L durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), por su parte, los coeficientes de variación determinados para los distintos monitoreos indican alta variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros, además, indican una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-54). En relación a la comparación estadística interanual, se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW= 47,92, g.l=13, p<0,0001, Anexo XV). Para el periodo de monitoreo 2019 en el sector de Peine los valores de oxígeno disuelto variaron significativamente respecto a los valores medidos los años 2007 y 2016. El año 2019 presentó valores de concentración de oxígeno menores que los medidos el año 2007 y 2016. (Figura 6-66).

Tabla 6-54. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Oxígeno disuelto registrados entre los años 2006 – 2019, en el sector de Peine.

			Oxígeno dis	uelto. Peine			
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2006	3	10,20	11,89	11,31	11,85	0,96	8,52
Año 2007	5	8,02	8,99	8,64	8,90	0,44	5,05
Año 2008	4	2,00	9,00	7,00	8,50	3,37	48,09
Año 2009	5	3,01	4,10	3,48	3,45	0,42	12,07
Año 2010	5	3,80	7,90	5,50	5,10	1,81	32,85
Año 2011	5	4,30	6,20	5,26	5,30	0,90	17,14
Año 2012	5	2,60	5,20	4,46	4,80	1,06	23,71
Año 2013	5	2,70	5,80	4,14	3,90	1,13	27,36
Año 2014	5	1,10	3,90	2,62	3,00	1,26	47,93
Año 2015	5	0,80	2,40	1,24	0,90	0,67	53,68
Año 2016	4	7,45	9,70	8,52	8,47	0,92	10,82
Año 2017	4	1,44	3,28	2,57	2,78	0,82	32,02
Año 2018	4	6,03	8,08	6,88	6,70	0,93	13,57
Año 2019	4	1,54	6,06	3,87	3,94	2,30	59,42



Figura 6-66. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Oxígeno disuelto medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Como se mencionó anteriormente, la principal característica de estos sistemas hipersalinos, la cual tiene una estrecha relación con la conductividad, es la disminución en la capacidad de disolver el oxígeno, por lo que los cuerpos de agua salina en general presentan menores concentraciones de oxígeno disuelto que los cuerpos de agua dulce bajo las mismas condiciones y, por consiguiente, la biota presente en estos sistemas se encuentra adaptada a estas condiciones de hábitat. Esto indicaría que estas fuertes oscilaciones interanuales detectadas respecto al parámetro oxígeno disuelto medido en los distintos sistemas hidrológicos estudiados no tendrían implicancias biológicas. Además, al igual que lo ocurrido con el parámetro temperatura, las concentraciones de oxígeno disuelto dependen estrechamente de la hora y momento puntual del muestreo mostrando variaciones naturales a distintos niveles (diarios, mensuales, interanuales, entre otros). Finalmente, cabe indicar que todos los valores de oxígeno disuelto medido durante la actual campaña de muestreo se encuentran dentro del rango histórico medido en todos los sitos prospectados en el Salar de Atacama.

#### 6.7.1.6 Conductividad eléctrica del sedimento

Tal como se mencionó con la conductividad eléctrica de agua, esta variable corresponde a un parámetro que permite tener una aproximación de la cantidad de los minerales y sales presentes en los distintos sustratos, los cuales se descomponen en iones cargados positiva y negativamente, Además, como las sales y también otras sustancias afectan la calidad del agua, también influyen en el desarrollo de la biota acuática, ya cada organismo distinto tolera una gama de valores de conductividad diferentes. Cabe indicar que la medición de esta matriz tiene como finalidad detectar diferencias que pudiesen presentarse debido a las diferencias entre la composición y tipo de sustrato sedimentológico que presenta cada lugar estudiado, además, su comportamiento fue distinto al de la conductividad eléctrica media en la columna de agua ya que a diferencias de la conductividad del agua, respecto a este parámetro si se presentaron diferencias significativas a nivel interanual para todos los sectores del Salar de Atacama.





Respecto al sector de Puilar, la conductividad del sedimento determinada durante todo el periodo de monitoreo varió entre 7,66 y 93,80 mS/cm (Tabla 6-55) los distintos coeficientes de variación indican heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una variabilidad interanual en los valores de conductividad del sedimento registrados en el sector. La comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW= 33,04, g.l=10, p=0,0003, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019), el cual varió respecto a los periodos 2009, 2010, 2012, 2014, 2015 y 2018. Los valores de conductividad fueron significativamente más bajos en el año 2019 respecto a los valores medidos en los periodos mencionados. (Figura 6-67).

Tabla 6-55. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del sedimento registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Puilar.

		Conduc	tividad eléctric	ca del sedime	nto. Puilar		
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2009	4	34,60	71,30	52,73	52,50	19,93	37,81
Año 2010	4	20,00	66,70	44,75	46,15	20,23	45,21
Año 2011	4	18,30	31,00	24,85	25,05	7,05	28,38
Año 2012	4	23,80	67,60	41,63	37,55	20,07	48,21
Año 2013	1	15,80	15,80	15,80	15,80	-	-
Año 2014	3	36,70	93,80	56,27	38,30	32,51	57,79
Año 2015	3	32,00	64,20	45,80	41,20	16,59	36,21
Año 2016	2	12,50	13,10	12,80	12,80	0,42	3,31
Año 2017	4	10,54	25,85	16,99	15,79	6,80	40,03
Año 2018	3	20,06	20,13	20,10	20,11	0,04	0,18
Año 2019	5	7,66	17,40	14,56	16,14	3,93	26,99



100,00 90,00 conductividad eléctrica (mS/cm) 80.00 70,00 60,00 50,00

Figura 6-67. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del sedimento medidos en el sector de Puilar. Campañas 2009 - 2019.

Año 2013

Año 2014

Año 2016

Año 2017

Año 2015

Año 2018

Año 2019

Año 2012

En cuanto al sector de Soncor, los valores de conductividad variaron entre 4,90 y 199,00 mS/cm, los distintos coeficientes de variación indican nuevamente una alta heterogeneidad en los datos, mostrando que existe una alta variabilidad interanual en los valores de conductividad eléctrica medida en el sedimento del sector (Tabla 6-56). La comparación entre los distintos periodos de monitoreo en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW= 39,9, g.l=10, p <0,0001, Anexo XV), el actual periodo de monitoreo (año 2019) varió respecto a todos los demás periodos prospectados. Los valores de conductividad del año 2019 fueron menores respecto a los periodos anteriores (Figura 6-68).

Tabla 6-56. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del sedimento registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Soncor.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2009	5	4,90	23,70	13,18	10,00	8,07	61,24
Año 2010	5	84,50	198,20	140,32	114,20	53,61	38,21
Año 2011	5	60,40	102,00	85,22	90,00	17,83	20,92
Año 2012	5	105,50	177,90	150,82	158,80	27,02	17,91
Año 2013	4	73,10	160,20	130,23	143,80	39,71	30,49
Año 2014	5	98,60	147,10	117,22	110,00	18,46	15,74
Año 2015	4	71,90	101,30	88,03	89,45	12,12	13,77
Año 2016	3	78,00	199,00	125,27	98,80	64,70	51,65
Año 2017	4	37,25	76,48	54,52	52,17	16,48	30,23
Año 2018	5	20,01	20,08	20,04	20,05	0,03	0,14
Año 2019	4	22,70	31,06	26,84	26,81	3,41	12,72

Fuente: Elaboración propia.

40,00 30,00 20,00 10,00 0,00

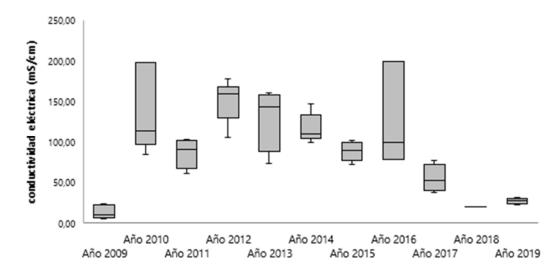
Año 2010

Año 2011

Año 2009



Figura 6-68. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del sedimento medidos en el sector de Soncor. Campañas 2009 – 2019.



Por otro lado, para el sector Aguas de Quelana, las conductividades del sedimento 1,50 y 199,00 mS/cm, además, al igual que en los sectores de Puilar y Soncor, los distintos coeficientes de variación determinados a través de todos los periodos de estudio indican heterogeneidad en los datos y la existencia de mayor variabilidad interanual en los niveles de conductividad eléctrica media en los sedimentos del sector (Tabla 6-57). Por su parte, la comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que existen diferencias significativas (KW= 24,7, g.l=10, p= 0,0059, Anexo XV). Las principales diferencias estuvieron dadas entre el actual periodo respecto a los años 2012, 2013, 2015 y 2016. Los valores de conductividad eléctrica del sedimento medidos durante el actual año 2019 fueron menores respecto a los detectados en los años periodos mencionados (Figura 6-69).

Tabla 6-57. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del sedimento registradas entre los años 2009 – 2019, en el sector de Aguas de Quelana.

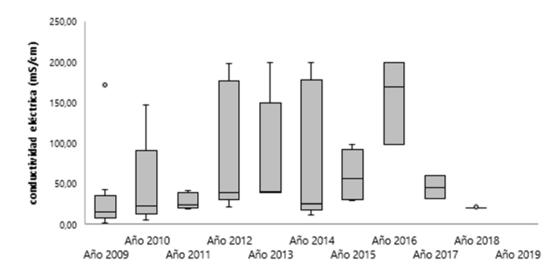
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2009	10	1,50	172,00	32,72	15,25	50,59	154,64
Año 2010	10	4,70	146,60	46,44	22,00	50,61	108,99
Año 2011	8	18,20	170,00	43,23	23,00	51,76	119,75
Año 2012	5	20,40	197,00	89,86	38,90	80,36	89,43
Año 2013	6	38,00	199,00	81,15	39,80	68,72	84,68
Año 2014	5	11,10	199,00	83,34	25,20	87,86	105,42
Año 2015	5	27,80	97,20	59,36	55,30	30,92	52,09
Año 2016	3	98,10	199,00	155,37	169,00	51,81	33,35
Año 2017	2	30,40	58,92	44,66	44,66	20,17	45,16



Tabla 6-57. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del sedimento registradas entre los años 2009 – 2019, en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2018	7	20,02	20,56	20,16	20,11	0,18	0,90
Año 2019	13,11	39,18	20,91	18,60	8,62	41,24	13,11

Figura 6-69. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del sedimento medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2009 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Por último, la conductividad del sedimento en el sector de Peine varió entre 11,60 y 76,58 mS/cm durante todo el periodo de monitoreo (años 2009-2019) y los coeficientes de variación indican mayor variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros, además indican una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-58). En relación a la comparación interanual, se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW= 34,28, g.l=10, p=0,0002, Anexo XV). El periodo de monitoreo 2019 varió respecto a los años 2009-2011-2012 y 2014, donde los valores medidos de conductividad eléctrica del sedimento fueron menores que en el año 2019 (Figura 6-70).

Tabla 6-58. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del sedimento registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Peine.

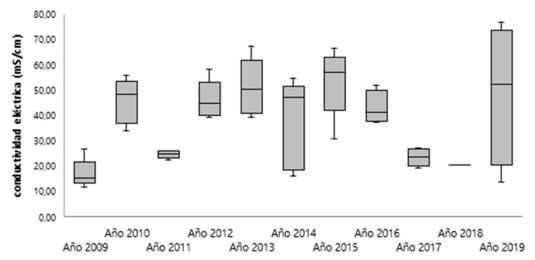
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2009	5	11,60	26,60	16,72	15,20	5,77	34,54
Año 2010	5	33,40	55,80	56,80	48,40	8,96	15,77



Tabla 6-58. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del
sedimento registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Peine.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.
Año 2011	5	22,00	25,70	52,53	24,50	1,51	2,87
Año 2012	5	39,10	58,00	70,56	44,50	7,46	10,58
Año 2013	5	39,10	67,30	71,02	50,10	11,24	15,82
Año 2014	5	16,00	54,50	67,80	47,20	17,70	26,10
Año 2015	5	30,30	66,30	53,20	56,90	13,68	25,71
Año 2016	4	37,20	51,80	87,76	41,00	6,70	7,63
Año 2017	4	18,83	26,95	33,67	23,48	3,42	10,15
Año 2018	4	20,00	20,08	16,21	20,06	0,04	0,22
Año 2019	4	13,32	76,58	48,58	52,20	27,74	57,12

Figura 6-70. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del sedimento medidos en el sector de Peine. Campañas 2009 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

# 6.7.1.7 <u>Conductividad del Agua intersticial en Sedimentos</u>

Al igual que lo detectado para la conductividad eléctrica del sedimento, los valores de conductividad del agua intersticial presentaron variaciones significativas desde el punto de vista estadístico en todos los sectores monitoreado, con excepción del sector Aguas de Quelana donde no se detectó una variación temporal significativa.

Respecto al sector de Puilar, la conductividad del agua intersticial medida durante todo el periodo de monitoreo varió entre 14,50 y 147,70 mS/cm (Tabla 6-59), los distintos coeficientes de variación indican





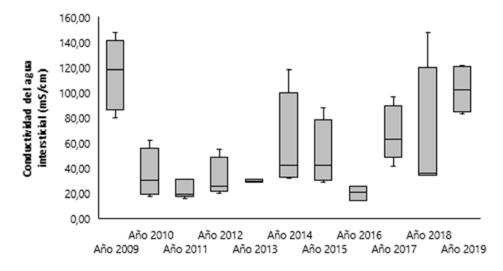
una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los valores de conductividad registrados en el sector. Por su parte, la comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=28,81, g.l=10, p=0,0013, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019) el cual varió significativamente respecto a los año 2009, 2011 y 2016, dado que los valores de conductividad fueron más altos en el año 2009 y más bajos en los años 2011 y 2016 respecto del actual periodo (Figura 6-71).

Tabla 6-59. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Puilar.

Conductividad eléctrica del agua intersticial. Sector Puilar											
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.				
Año 2009	5	80,00	147,70	114,62	118,00	28,05	24,47				
Año 2010	5	17,50	62,30	35,78	30,10	19,10	53,39				
Año 2011	5	15,80	30,80	22,98	19,30	7,12	30,99				
Año 2012	5	19,50	55,00	33,20	25,10	15,04	45,31				
Año 2013	2	28,30	30,60	29,45	29,45	1,63	5,52				
Año 2014	4	31,40	118,00	58,25	41,80	40,37	69,30				
Año 2015	4	28,40	88,40	50,28	42,15	27,04	53,79				
Año 2016	3	14,50	25,50	20,13	20,40	5,50	27,34				
Año 2017	5	41,23	96,60	67,83	62,64	21,90	32,28				
Año 2018	4	33,88	147,50	63,13	35,57	56,26	89,13				
Año 2019	5	38,40	67,43	46,99	43,01	11,90	25,33				



Figura 6-71. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Conductividad eléctrica del agua intersticial medidos en el sector de Puilar. Campañas 2009 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

En cuanto al sector de Soncor, los valores de conductividad del agua intersticial variaron entre 12,30 y 228,90 mS/cm y los distintos coeficientes de variación medidos a través del tiempo indican heterogeneidad en los datos, mostrando una variabilidad interanual en valores de conductividad del agua intersticial registrados en el sector (Tabla 6-60). La comparación desde el punto de vista estadístico entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=27,61 g.l=10, p=0,0021, Anexo XV). Los valores de conductividad eléctrica del agua intersticial medidos el año 2019 variaron significativamente respecto a los medidos los años 2009 y 2017. Los valores de conductividad fueron más bajos en el año 2009, respecto al periodo actual (año 2019) mientras que en el año 2017 los valores medidos fueron mayores que los determinados durante el actual año 2019. (Figura 6-72).

Tabla 6-60. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Soncor.

Conductividad eléctrica del agua intersticial. Sector Soncor										
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.			
Año 2009	5	12,30	83,50	43,90	30,10	30,44	69,35			
Año 2010	5	78,40	175,10	123,08	103,70	44,08	35,81			
Año 2011	5	62,00	101,00	81,12	78,00	15,20	18,74			
Año 2012	5	102,80	161,60	145,76	153,50	24,25	16,64			
Año 2013	4	69,20	163,20	127,43	138,65	43,81	34,38			
Año 2014	5	98,00	192,50	149,94	143,80	41,41	27,62			
Año 2015	4	77,90	130,90	100,30	96,20	23,24	23,17			
Año 2016	3	89,00	200,00	126,30	89,90	63,83	50,54			

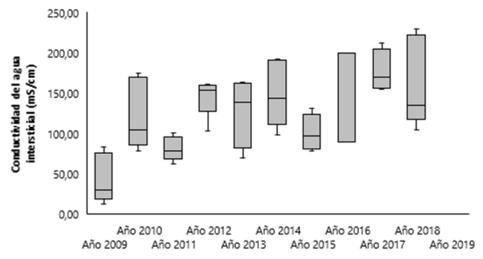




Tabla 6-60. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Soncor.

Conductividad eléctrica del agua intersticial. Sector Soncor										
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.			
Año 2017	4	155,60	212,40	177,08	170,15	25,89	14,62			
Año 2018	5	104,70	228,90	162,80	134,70	55,32	33,98			
Año 2019	4	83,54	121,80	102,71	102,75	19,14	18,64			

Figura 6-72. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial medidos en el sector de Soncor. Campañas 2009 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Para el sector Aguas de Quelana por su parte, las conductividades del agua intersticial variaron entre 2,60 y 247,80 mS/cm y los distintos coeficientes de variación indican mayor heterogeneidad en los datos para los años 2009-2010-2011 y 2019 respecto a los otros periodos de monitoreo, sin embargo, en su mayoría los valores medidos indican que existe una baja variabilidad interanual en los valores de conductividad registrados en el sector (Tabla 6-61). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana, desde un punto de vista estadístico indican que no existen diferencias significativas (KW=16,58, g.l=10, p=0,0843, Anexo XV) (Figura 6-73). Cabe indicar que los valores de conductividad del agua intersticial medidos durante el actual periodo (año 2019), estuvieron dentro del rango histórico medido en este sector del Salar de Atacama.



Tabla 6-61. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial registradas entre los años 2009 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Conductividad eléctrica del agua intersticial. Aguas de Quelana Numero de Periodo Mínimo Máximo Media Mediana Desv. Est. Coef. Var. datos (N) Año 2009 2.60 197.00 54.57 30.35 67.01 122.79 10 Año 2010 10 2,77 149,60 44,02 17,85 50.96 115,77 Año 2011 8 19.70 170,00 43,46 23,00 51.60 118,72 5 79.14 70,77 Año 2012 19.60 181.30 35.20 89,43 Año 2013 6 28,30 199,00 77,08 37,50 71,06 92,19 5 Año 2014 23,30 199,00 85,66 28,10 84,69 98,87 Año 2015 5 12,30 100,20 33,20 33,39 71,95 46,40 3 99,50 170,00 Año 2016 200,00 156,50 51,59 32,97 2 Año 2017 141,10 247,80 194,45 194,45 75,45 38,80

Fuente: Elaboración propia.

Año 2018

Año 2019

7

9

25,63

15,34

Figura 6-73. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2009–2019.

39,59

40,08

32,72

30,78

23,54

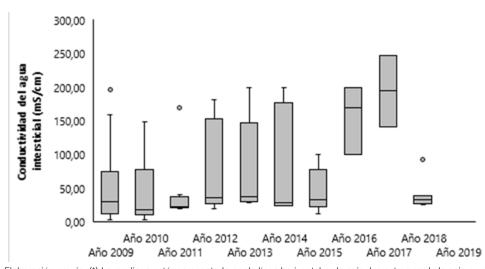
32,52

59,47

81,14

91,78

121,40



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Finalmente, la conductividad del agua intersticial medida en el sector de Peine varió entre 21,70 y 91,17 mS/cm durante todo el periodo de monitoreo (años 2009-2019), por su parte, los coeficientes de variación determinados a través del tiempo indican la existencia de una baja variabilidad en los datos y baja heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-62). Sin embargo, a pesar de esta baja heterogeneidad, desde un punto de vista estadístico la comparación interanual presentó diferencias significativas entre el actual periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW= 36,05; g.l=10, p





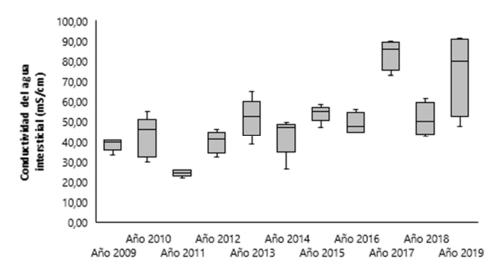
<0,0001, Anexo XV). Para el periodo de monitoreo 2019, en el sector de Peine los valores de conductividad del agua intersticial medidos variaron respecto a los valores medidos en los años 2009-2011- y 2012. El año 2019, presentó valores de conductividad más altos que el resto de los años. (Figura 6-74).

Tabla 6-62. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial registradas entre los años 2009 – 2019, en el sector de Peine.

	Conductividad eléctrica del agua intersticial. Peine										
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	Coef. Var.				
Año 2009	5	33,20	40,80	38,54	39,90	3,16	8,19				
Año 2010	5	29,90	55,20	42,66	46,20	10,28	24,09				
Año 2011	5	21,70	25,70	24,22	24,50	1,62	6,70				
Año 2012	5	32,30	46,30	39,86	41,40	5,50	13,79				
Año 2013	5	38,60	64,90	51,72	52,80	9,67	18,70				
Año 2014	5	26,10	49,70	42,82	47,10	9,62	22,47				
Año 2015	5	47,30	58,40	54,08	55,10	4,10	7,58				
Año 2016	4	44,70	56,10	48,93	47,45	5,23	10,69				
Año 2017	4	72,92	89,72	83,59	85,86	7,60	9,09				
Año 2018	4	42,62	61,32	51,04	50,12	8,42	16,49				
Año 2019	4	47,43	91,17	74,52	79,73	20,81	27,92				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-74. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Conductividad eléctrica del agua intersticial medidos en el sector de Peine.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





### 6.7.1.8 Consideraciones

Todos los sistemas muestreados presentaron en condiciones de temperatura variables y valores de pH que permiten la mantención y conservación de la Vida Acuática según la normativa nacional vigente. Históricamente y durante la actual campaña de monitoreo la mayor parte de los sitios monitoreados presentaron bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Sin embargo, cabe destacar y como se mencionó con anterioridad, una característica física y química fundamental del agua salina, y la cual tiene una estrecha relación con la conductividad, es la disminución en la capacidad de disolver el oxígeno, por lo que los cuerpos de agua salina en presentan menores concentraciones de oxígeno disuelto que los cuerpos de agua dulce y por consiguiente, la biota presente en estos sistemas se encuentra adaptada a estas condiciones de hábitat, lo cual se ve evidenciado con la presencia de las comunidades de biota acuática en todos los sectores prospectados. Cabe indicar que, en el caso de variables como temperatura superficial y oxígeno disuelto, las principales diferencias detectadas tanto en el actual periodo, como en las comparaciones interanuales estarían dadas principalmente por la condición y horario ambiental al momento del muestreo.

Por su parte los parámetros conductividad eléctrica de agua, sedimento, agua intersticial y Salinidad presentaron concentraciones que permiten indicar que en función de estos parámetros el recurso hídrico se cataloga como aguas no aptas para riego por sus características naturalmente hipersalinas. Sin embargo, estas elevadas conductividades y salinidades no tienen una implicancia directa en el desarrollo de la vida acuática, la cual se encuentra adaptada a dichas condiciones.

## 6.7.2 Medio Biótico

Los principales resultados obtenidos de los análisis comparativos para el medio biótico se presentan desde la Tabla 6-63 a la Tabla 6-102 y Figura 6-75 a la Figura 6-114.

## 6.7.2.1 <u>Clorofila-a de la Fracción Planctónica</u>

El análisis de las variaciones interanuales de la concentración de la clorofila-a presente en la fracción fitoplanctonica es un indicador de la condición trófica, más específicamente de la productividad de un sistema, ya que proporciona una medida indirecta de la cantidad de organismos fotosintéticos presentes en el lugar. Este parámetro se encuentra estrechamente ligado con la abundancia de microalgas planctónicas presentes en la columna de agua.

De acuerdo con el análisis interanual de las concentraciones de clorofila-a presente en la fracción planctónica se evidenció la presencia de diferencias significativas en la cantidad de clorofila medida en los distintos sectores monitoreados en el salar de Atacama.

Los valores de clorofila-a a lo largo de todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), han variado entre valores cercanos a 0 y 264,00  $\mu$ g/L. los menores valores de clorofila han sido determinados todos los sectores, mientras que el mayor valor se detectó en el sector de Aguas de Quelana el año 2016.

Respecto al sector de Puilar, la clorofila-a planctónica medida durante todo el periodo de monitoreo varió entre  $0,00~y~41,00~\mu g/L$ . (Tabla 6-63) los distintos coeficientes de variación medidos a lo largo de todo el periodo de estudio indican una alta heterogeneidad en los datos, evidenciando la existencia de una alta variabilidad interanual en los datos de clorofila planctónica medidas en el sector. Por su parte, la comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=33,84; g.l=12, p=0,0007, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019) el cual varió significativamente





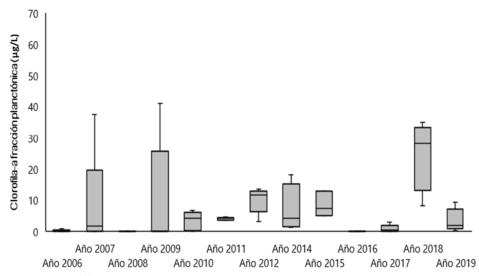
en sus concentraciones de clorofila-a planctónica respecto a las medidas durante los años 2006-2008-2012 y 2016. En general, los valores de clorofila-a planctónica medidos el año 2019 fueron mayores que los valores medidos los años 2006-2012 y 2016 (Figura 6-75).

Tabla 6-63. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a del Fitoplancton registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Estación	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	0,0170	0,9000	0,2128	0,0250	0,3858	181,2867
Año 2007	5	0,1000	37,3800	8,2280	1,7800	16,3181	198,3240
Año 2008	5	0,0100	0,0107	0,0101	0,0100	0,0003	3,0002
Año 2009	5	0,0000	41,0000	10,2000	0,0000	17,7539	174,0576
Año 2010	5	0,0000	6,7000	3,5200	4,3000	2,9878	84,8809
Año 2011	5	3,7000	4,7000	4,1000	4,2000	0,4183	10,2032
Año 2012	5	3,1600	13,4800	9,9840	11,4800	4,0847	40,9121
Año 2013	-	-	-	-	-	-	-
Año 2014	4	1,2900	17,9900	6,9175	4,1950	7,6911	111,1826
Año 2015	3	5,0700	12,8100	8,4000	7,3200	3,9814	47,3978
Año 2016	3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Año 2017	5	0,0000	3,0000	0,9000	0,5000	1,2450	138,3322
Año 2018	4	8,2900	34,9200	24,7925	27,9800	11,4924	46,3544
Año 2019	5	0,3800	9,2900	3,5980	1,9100	3,6459	101,3316

Fuente: Elaboración propia. (-): Sin datos para el periodo.

Figura 6-75. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Clorofila-a planctónica medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





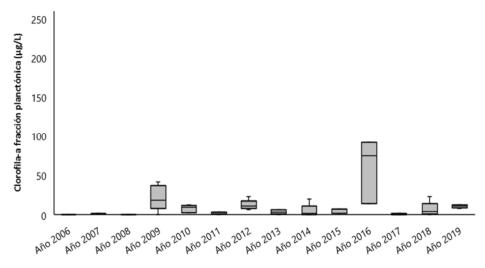
En cuanto al sector de Soncor, los valores de concentración de clorofila-a planctónica variaron entre 0,00 y 92,00  $\mu$ g/L, además, los distintos coeficientes de variación determinados durante los distintos periodos indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los datos de clorofila-a planctónica registrados en el sector (Tabla 6-64). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=41,41, g.l=13, p <0,0001, Anexo XV). Estas diferencias indican que el actual periodo de monitoreo (año 2019) varió significativamente respecto a años 2006-2007-2008-2011-2013 y 2017. Las concentraciones de clorofila-a planctónica, medidas el año 2019 fueron mayores que las determinadas los años 2006-2008-2011-2013 y 2017 pero fueron menores que las determinadas el año 2016.

Tabla 6-64. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de clorofila-a planctónica registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

#### Clorofila-a Planctónica (µg/L). Soncor Desviación Numero de Coef. De Estación Mínimo Máximo Media Mediana datos (N) estándar var. Año 2006 5 0.0070 0.0360 0.0156 0.0120 0.0116 74.5632 Año 2007 5 1,0680 2,1360 1,5486 1,3350 0,5472 35,3343 Año 2008 5 0,0100 0.0427 0,0167 0,0100 0.0146 87,2889 5 18.2000 15.9312 Año 2009 0.3000 41.6000 21.8400 72.9450 5 Año 2010 2,2000 12,9000 7,6200 9,8000 4,7819 62,7552 Año 2011 5 0,0000 3,7000 2,5400 3.2000 1,4724 57,9690 5 Año 2012 6,3200 22,9600 12,3420 11,4700 6,2988 51,0357 4 Año 2013 0,0000 6,8200 3,3725 3,335 2,8830 85,4876 5 Año 2014 0,0000 19,4600 4,7940 1,4300 8,2415 171,9138 Año 2015 3 1,5800 7,1600 3,1931 5,2667 7,0600 60,6292 3 Año 2016 14,0000 92,0000 60,3333 75,0000 41,0163 67,9827 Año 2017 0,5000 0,0000 0,0000 2,0000 1,0000 200,0000 5 Año 2018 0,1300 22,9500 6,7170 3,8200 9,2637 137,9146 Año 2019 8.1600 12.7800 10.8925 11.3150 1.9788 18.1670



Figura 6-76. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Clorofila-a planctónica medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Para el sector Aguas de Quelana por su parte, las concentraciones de clorofila-a variaron entre 0,00 y  $264,00~\mu g/L$ , al igual que lo detectado en Puilar y Soncor los distintos coeficientes de variación determinados en las diferentes campañas de monitoreo revelan una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe variabilidad interanual en los datos de clorofila-a planctónica registrados en el sector (Tabla 6-65). Además, la comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican la existencia diferencias significativas en las concentraciones de clorofila-a planctónica (KW=67,25, g.l=12, p<0,0001, Anexo XV). La concentración de clorofila-a planctónica determinada en el actual periodo 2019 varió respecto a los valores determinados durante todos los periodos, excepto con los años 2007-2010 y 2015. Los valores de clorofila medidos el año 2019 fueron más bajos que los medidos en los periodos donde hubo variación. (Figura 6-77).

Tabla 6-65. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a planctónica registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

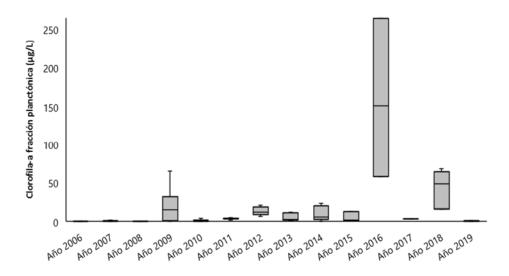
	Clorofila-a Planctónica (µg/L). Aguas de Quelana										
Estación	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.				
Año 2006	7	0,0040	0,0760	0,0360	0,0200	0,0302	83,9330				
Año 2007	10	0,1000	1,9071	0,8040	0,9536	0,5657	70,3641				
Año 2008	10	0,0100	0,0320	0,0136	0,0107	0,0073	53,9961				
Año 2009	10	0,0000	65,2000	19,7500	15,3000	21,4550	108,6331				
Año 2010	10	0,0000	4,1900	1,3500	1,1050	1,4933	110,6162				
Año 2011	8	2,1000	4,7000	3,4375	3,2000	0,7800	22,6908				
Año 2012	5	6,3200	20,9600	13,5440	12,3200	5,5346	40,8638				
Año 2013	6	0,7100	12,4900	5,1333	2,58	5,0402	98,1866				
Año 2014	5	0,5000	22,9400	10,1640	5,7400	9,6365	94,8097				



Tabla 6-65. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a planctónica registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Clorofila-a Planctónica (μg/L). Aguas de Quelana										
Estación	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.			
Año 2015	3	1,0800	12,7700	5,3367	2,1600	6,4601	121,0506			
Año 2016	3	58,0000	264,0000	157,6667	151,0000	103,1617	65,4302			
Año 2017	1	3,0000	3,0000	3,0000	3,0000	-	-			
Año 2018	7	16,4100	68,2900	44,4271	48,2800	20,7564	46,7200			
Año 2019	9	0,1600	5,4200	1,1911	0,6400	1,6244	136,3810			

Figura 6-77. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Temperatura medidos en el sector de Aguas de Quelana.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

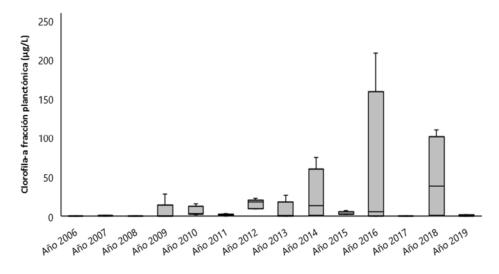
Finalmente, la concentración de la clorofila-a planctónica medida en el sector de Peine varió entre 0,00 y 209,00 µg/L durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), los coeficientes de variación indican mayor variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros, sin embargo, indican una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-66). Por otro lado, la comparación estadística de la temporalidad interanual para el sector indica que se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo de monitoreo con algunos de los periodos de monitoreo anteriores (KW= 32,13, g.l=13, p=0,0021, Anexo XV). Las principales diferencias se presentaron para el actual periodo de monitoreo 2019, el cual varió respecto a los años 2006-2008-2010-2012-2015 y 2017. Los valores de clorofila medidos el año 2019 fueron más altos que los valores medidos los años 2006-2008 y 2017, sin embargo, fueron menores que los detectados el año 2010-2012 y 2015. (Figura 6-78).



Tabla 6-66. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a planctónica registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

	Clorofila-a Planctónica (µg/L). Peine										
Estación	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.				
Año 2006	5	0,0010	0,0040	0,0022	0,0020	0,0011	49,7930				
Año 2007	5	0,1000	0,9889	0,6197	0,9207	0,4752	76,6878				
Año 2008	3	0,0100	0,0320	0,0173	0,0100	0,0127	73,3559				
Año 2009	5	0,0000	28,5000	5,8400	0,0000	12,6710	216,9683				
Año 2010	5	2,1000	15,6000	6,8400	3,6000	5,7839	84,5593				
Año 2011	5	0,0000	3,2000	2,0000	2,1000	1,2062	60,3117				
Año 2012	5	9,4800	22,9600	15,6720	17,8000	5,6824	36,2580				
Año 2013	5	0,0000	27,0000	7,3960	0,7900	11,6251	157,1815				
Año 2014	5	0,6800	74,6200	26,9720	13,1400	32,2518	119,5750				
Año 2015	5	2,5800	7,4800	3,6980	2,7400	2,1253	57,4705				
Año 2016	4	0,0000	209,0000	55,2500	6,0000	102,6560	185,8027				
Año 2017	4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,000				
Año 2018	4	0,6650	110,4700	46,8500	38,1325	54,6580	116,6659				
Año 2019	4	0,0400	1,9700	0,6475	0,2900	0,9003	139,0383				

Figura 6-78. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Clorofila-a planctónica medidos en el sector de Peine.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





variabilidad en todos los sectores evaluados, presentando variaciones interanuales e Inter sectores que no responden a un patrón específico, por su parte la clorofila-a planctónica tiene estrecha relación con los niveles de abundancia de las microalgas planctónicas por lo que debiera esperarse una relación directamente proporcional con la abundancia de estos microorganismos, sin embargo, durante todo el periodo de monitoreo este patrón no se ha visto evidenciado, por lo que se sugiere continuar evaluando este parámetro con especial atención. Finalmente, cabe indicar que todos los valores de clorofila-a medidos durante la actual campaña de monitoreo en todos los sectores del Salar de Atacama, se encuentran dentro del rango histórico medido. Cabe indicar que a lo largo de todo el periodo de monitoreo este parámetro ha presentado una gran

## 6.7.2.2 Clorofila-a de la Fracción Bentónica

En relación con la clorofila-a presente en la fracción bentónica, el análisis interanual histórico de las concentraciones de clorofila-a presente en los sustratos (fitobentos) evidenció la existencia de diferencias significativas en la cantidad de clorofila-a medida en los distintos sectores monitoreados en el Salar de Atacama. Los valores de clorofila-a a lo largo de todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), han variado entre valores cercanos a 0,00 y 330,14 mg/m². Los menores valores de clorofila han sido determinados en todos los sectores del área de estudio, mientras que el mayor valor se detectó en el sector de Soncor el año 2008.

De acuerdo con análisis por sitio, en el sector de Puilar los valores de concentración de clorofila-a bentónica medidos durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019) variaron entre 0,0 y 120,99 mg/m² (Tabla 6-67) por su parte, los distintos coeficientes de variación determinados durante las distintas campañas de monitoreo indican una alta heterogeneidad en los datos indicando una alta variabilidad interanual en las concentraciones de clorofila-a bentónica registradas en el sector. La comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=45,62, g.l=11, p<0,0001, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019) el cual varió significativamente respecto a los años 2006-2008-2009-2010-2011-2012-2014-2015-2016 y 2017. Los valores de concentración de clorofila-a bentónica medidos los años 2008, 2018 y 2019 fueron más altos que los determinados los otros años (Figura 6-79). Estas diferencias pueden verse explicadas por las grandes variaciones en la productividad primaria que presentan de forma natural y de manera estacional este tipo de sistemas hidrológicos (Wetzel, 2001).

Tabla 6-67. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónica registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Clorofila-a Bentónica. Puilar										
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.			
Año 2006	5	0,1120	5,0070	1,2064	0,1580	2,1346	176,9417			
Año 2007	5	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000			
Año 2008	5	23,9768	64,5529	42,9738	45,1870	16,8106	39,1182			
Año 2009	5	4,2000	8,5000	5,9000	5,1000	1,6897	28,6386			
Año 2010	5	5,2000	8,8000	6,9600	6,9000	1,7271	24,8152			
Año 2011	5	0,0000	1,3400	0,7300	0,9700	0,6833	93,6029			
Año 2012	5	0,6300	3,3300	2,0660	2,2100	0,9718	47,0386			

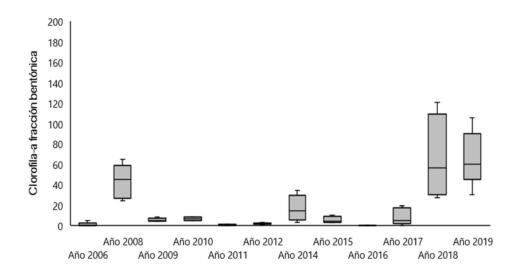


Tabla 6-67. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónica registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

	Clorofila-a Bentónica. Puilar										
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.				
Año 2013	-	-	-	-	-	-	-				
Año 2014	4	2,9700	34,2600	16,4600	14,3050	13,0188	79,0937				
Año 2015	4	3,0900	10,4200	5,5800	4,4050	3,3886	60,7272				
Año 2016	3	0,0418	0,3621	0,2201	0,2563	0,1632	74,1447				
Año 2017	5	0,3440	19,2000	8,8228	4,9700	8,3404	94,5325				
Año 2018	4	27,2150	120,9850	65,2850	56,4700	42,0960	64,4804				
Año 2019	5	30,3000	106,1000	66,1200	59,9000	27,6075	41,7536				

Fuente: Elaboración propia. (-): Sin datos para el periodo

Figura 6-79. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónica medidos en el sector de Puilar.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

En cuanto al sector de Soncor, los valores de concentración de clorofila-a bentónica variaron entre 0,00 y 330,14 mg/m², Además, los coeficientes de variación determinados en los diferentes periodos de monitoreo al igual que lo detectado en el sector de Puilar, indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los datos de concentración de clorofila-a registrados en el sector (Tabla 6-68). La comparación estadística realizada entre los distintos periodos de estudio para el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=27,77, g.l=12, p=0,0058, Anexo XV), los valores de clorofila-a bentónica medidos durante el actual periodo de monitoreo (año 2019) variaron significativamente respecto a los medidos los años 2006-2011 y 2012. Las concentraciones de clorofila-a bentónica, medidas el año 2019 fueron mayores que las registradas en los años mayores que las





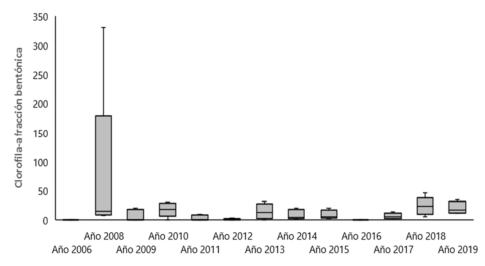
registradas en los años 2006-2011 y 2012 pero fueron menores que las registradas durante el periodo 2008 (Figura 6-80).

Tabla 6-68. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónica registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

	Clorofila-a Bentónica. Soncor											
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.					
Año 2006	5	0,0580	0,3050	0,1178	0,0790	0,1051	89,2299					
Año 2007	5	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,000	0,0000					
Año 2008	5	8,2997	330,1420	78,0168	14,7549	141,1252	180,8908					
Año 2009	5	0,0000	20,4000	7,1000	0,0000	9,9010	139,4508					
Año 2010	5	0,0000	31,1000	17,6800	18,6000	11,9364	67,5134					
Año 2011	5	0,0000	10,2500	3,6500	0,0000	5,0609	138,6542					
Año 2012	5	0,6300	3,2100	1,6860	1,4300	1,0392	61,6354					
Año 2013	4	0	31,31	14,29	12,925	13,1722866	92,1783524					
Año 2014	5	1,3000	20,3600	9,1960	5,0600	8,5768	93,2665					
Año 2015	4	2,8500	20,3900	8,9125	6,2050	7,8166	87,7042					
Año 2016	3	0,2726	0,6356	0,4057	0,3090	0,1999	49,2773					
Año 2017	4	2,3700	13,9000	7,1700	6,2050	5,0137	69,9262					
Año 2018	5	5,1850	46,2700	23,8280	23,2050	15,6155	65,5341					
Año 2019	4	11,6000	35,2000	20,2250	17,0500	10,9856	54,3167					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-80. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónica medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





Para el sector Aguas de Quelana por su parte, el rango de valores de concentración de clorofila-a bentónica varió entre 0,00 y 173,77 mg/m². Los distintos coeficientes de variación indican heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los datos de concentración de clorofila-a bentónica registrados en el sector (Tabla 6-69). La comparación estadística realizada entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican la existencia de diferencias significativas (KW=57,94, g.I=12, p<0,0001, Anexo XV). Los valores de clorofila-a determinados durante el actual periodo de monitoreo (año 2019) variaron respecto a los periodos 2006-2010-2011-2012 y 2016. En general, los valores registrados durante el año 2019 fueron más altos que los registrados en los otros periodos (Figura 6-81). Lo cual tiene estrecha relación con el Bloom algal (proliferación masiva de microalgas) evidenciado durante la actual campaña de monitoreo.

Tabla 6-69. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónica registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

#### Clorofila-a Bentónica. Aguas de Quelana Numero de Desviación Coef. De Periodo Mínimo Máximo Media Mediana datos (N) estándar var. 0,0260 0,6370 0,2927 0.2508 Año 2006 0,1600 85,6899 Año 2007 10 0,0001 0,0001 0,0001 0,0001 0,0000 0,0000 9 Año 2008 4,6109 173,3706 70,0860 50,7201 60,2656 85,9881 Año 2009 10 1,0000 20,1000 8,0500 6,8500 6,7116 83,3734 Año 2010 10 0,7000 16,8000 7,0900 7,8000 5,2284 73,7438 Año 2011 8 0,0000 12,8700 5,0663 4,4950 4,7823 94,3944 5 2,1960 Año 2012 0,4800 7,2000 0,9500 2,8162 128,2410 Año 2013 6 9,79 40,86 22,1266667 21,57 11,7372734 53,0458273 Año 2014 2,0400 46,3400 16,1367 9,7900 16,6446 103,1477 5 Año 2015 3,1200 22,3300 10.7280 10,8200 7.9017 73,6553 Año 2016 3 0,0221 1,0161 0,3789 0,0986 0,5531 145,9832 2 3.5500 Año 2017 1,0200 2,2850 2,2850 1,7890 78,2923 Año 2018 97,1400 71,6079 77,5250 20,6707 43,0600 28,8665 Año 2019 9 1,4000 142,0000 46,5778 21,3000 51,0566 109,6157



200 180 Clorofila-a fracción bentónica 160 140 120 100 80 60 40 20 n Año 2008 Año 2010 Año 2012 Año 2014 Año 2016 Año 2018 Año 2006 Año 2009 Año 2011 Año 2013 Año 2015 Año 2017 Año 2019

Figura 6-81. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Clorofila-a bentónica medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.

Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Finalmente, el rango de valores de concentración de clorofila-a bentónica medidos en el sector de Peine varió entre 0,00 y 135,56 mg/m² durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019). Los coeficientes de variación indican mayor variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros, sin embargo, indican como tendencia general una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-70). En relación a la comparación interanual, se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW= 35,54, g.l=12, p=0,0004, Anexo XV). El periodo de monitoreo 2019 varió respecto a los años 2006-2012 y 2016. Los valores de clorofila-a bentónica medidos en el año 2019 fueron mayores a los medidos en los periodos mencionados anteriormente, pero fueron menores que los determinados el periodo 2008 (Figura 6-82). Estas diferencias pueden verse explicadas por las grandes variaciones en la productividad primaria que presentan de forma natural y de manera estacional este tipo de sistemas hidrológicos (Wetzel, 2001).

Tabla 6-70. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a Bentónica registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

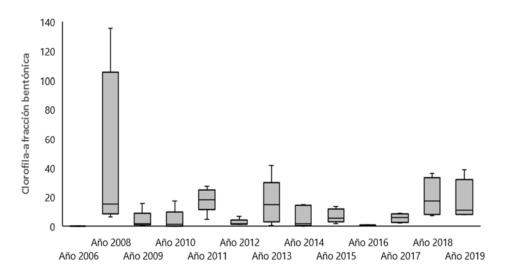
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	0,0130	0,0390	0,0220	0,0190	0,0106	48,3188
Año 2007	5	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,00001	0,00001
Año 2008	4	6,4553	135,5611	43,1121	15,2160	61,7720	143,2822
Año 2009	5	0,5000	15,5000	4,2800	1,7000	6,2986	147,1629
Año 2010	5	0,0000	17,5000	4,2600	1,3000	7,4742	175,4497
Año 2011	5	4,8800	27,3600	18,1400	18,2000	8,3472	46,0157
Año 2012	5	1,6300	6,8900	2,8280	1,9000	2,2776	80,5383
Año 2013	5	0,7300	41,7200	16,0680	14,9400	15,9023	98,9686
Año 2014	5	0,2000	14,8200	6,4480	2,0600	7,4374	115,3449
Año 2015	5	1,9800	13,5800	7,1540	5,6400	4,6252	64,6521



Tabla 6-70. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Clorofila-a Bentónica registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2016	4	0,4524	0,9736	0,7521	0,7912	0,2272	30,2020
Año 2017	4	2,2600	9,0200	5,7375	5,8350	2,9940	52,1822
Año 2018	4	7,2400	36,1500	19,5325	17,3700	13,1469	67,3076
Año 2019	4	8,1000	38,4000	17,0750	10,9000	14,3804	84,2190

Figura 6-82. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Clorofila-a bentónica medidos en el sector de Peine.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Al igual que lo detectado con la clorofila-a de la fracción planctónica, cabe señalar que a lo largo de todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), este parámetro ha presentado una gran variabilidad en todos los sectores evaluados, y tal como se presentó con la clorofila-a planctónica, ha presentado variaciones interanuales e intersectores que no responden a un patrón específico. Además, la clorofila-a bentónica tiene estrecha relación con los niveles de abundancia de las microalgas bentónicas por lo que debiera esperarse una relación directamente proporcional con la abundancia de estos microorganismos, sin embargo, durante todo el periodo de monitoreo este patrón no se ha visto evidenciado de manera clara, ya que existen periodos donde si se aprecia la correlación, pero otros periodos de muestreo donde no se evidencia dicha correlación, por lo que tal como se sugirió respecto a la clorofila-a planctónica este parámetro se debe continuar evaluando con especial atención. Por último, todos los valores de clorofila medidos en la fracción bentónica durante la actual campaña de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico determinado en todos los sitios prospectados del Salar de Atacama.





### 6.7.2.3 <u>Fitoplancton</u>

Los productores primarios que habitan la columna de agua son representantes típicos de sistemas lénticos y los principales responsables de la productividad primaria. A través del tiempo la comparación interanual de los valores de abundancia y riqueza de organismos fitoplanctónicos ha presentado diferencias significativas desde el punto de vista estadístico las cuales son analizadas a continuación.

#### Abundancia

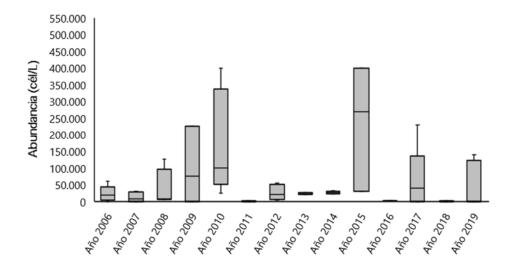
En relación con el sector de Puilar, los valores de abundancia total medidos durante todo el periodo de monitoreo variaron entre 0 y 400.000 cél/l (Tabla 6-71) los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en niveles de abundancia total de microalgas planctónicas registrados en el sector. La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=22,22, g.l=13, p=0,0416, Anexo XV), las principales diferencias registradas no fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019), sin embargo, los valores de abundancia de microalgas fueron mayores que las abundancias de los periodos 2007-2008-2011-2012-2013-2014-2016 y 2018. (Figura 6-83).

Tabla 6-71. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitoplancton (cél/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	0,0	59.509,0	22.465,6	17.694,0	22.920,7	102,0
Año 2007	5	0,0	29.008,0	13.171,0	7.631,0	14.470,8	109,9
Año 2008	5	5.022,0	125.353,0	41.973,4	8.084,0	52.967,9	126,2
Año 2009	5	0,0	225.000,0	105.000,0	75.000,0	113.743,1	108,3
Año 2010	5	25.000,0	400.000,0	175.000,0	100.000,0	157.122,6	89,8
Año 2011	5	320,0	1.420,0	714,0	490,0	461,9	64,7
Año 2012	5	3.000,0	54.900,0	26.320,0	20.100,0	23.365,9	88,8
Año 2013	2	20.000,0	26.000,0	23.000,0	23.000,0	4.242,6	18,4
Año 2014	4	23.000,0	31.000,0	26.750,0	26.500,0	3.862,2	14,4
Año 2015	3	30.000,0	400.000,0	233.333,3	270.000,0	187.705,4	80,4
Año 2016	3	900,0	2.400,0	1.700,0	1.800,0	755,0	44,4
Año 2017	5	0,0	230.000,0	62.000,0	40.000,0	96.020,8	154,9
Año 2018	4	74,9	778,5	507,9	589,0	302,7	59,6
Año 2019	5	55,1	139.583,3	48.796,1	142,0	67.837,4	139,0



Figura 6-83. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del fitoplancton medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

En cuanto al sector de Soncor, los valores de abundancia total de microalgas plantónicas medidos durante todo el periodo de monitoreo (año 2006-2019) han variado entre 42 y 5.275.000 cél/l. Al igual que lo detectado en el sector de Puilar, los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los datos de temperatura registrados en el sector (Tabla 6-72). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=35,70, g.l=13, p=0,0007, Anexo XV), el actual periodo de monitoreo (año 2019) varió significativamente respecto al año 2018. Los valores de abundancia total de microalgas planctónicas detectados el año 2019 fue mayor respecto al periodos 2018. Cabe indicar que el año 2009 fue el periodo que presento significativamente las mayores abundancias de organismos fitoplanctonicos en el sector (Figura 6-84) debido a presencias de Bloom algales (proliferación masiva de microalgas).

Tabla 6-72. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitoplancton (cél/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

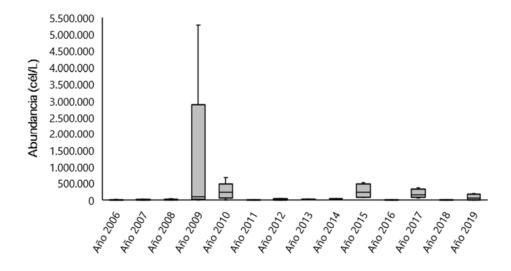
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	183,0	8.895,0	3.827,8	3.659,0	3.402,4	88,9
Año 2007	5	543,0	15.441,0	8.109,0	5.100,0	6.573,4	81,1
Año 2008	5	5.883,0	29.130,0	12.544,8	9.285,0	9.433,4	75,2
Año 2009	5	0,0	5.275.000,0	1.180.000,0	100.000,0	2.296.832,1	194,6
Año 2010	5	0,0	675.000,0	260.000,0	225.000,0	254.705,7	98,0
Año 2011	5	310,0	710,0	432,0	370,0	160,4	37,1
Año 2012	5	0,0	45.400,0	17.820,0	8.000,0	21.283,1	119,4
Año 2013	4	20.000,0	25.000,0	22.750,0	23.000,0	2.061,6	9,1



Tabla 6-72. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitoplancton (cél/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2014	5	22.000,0	29.000,0	25.800,0	26.000,0	2.588,4	10,0
Año 2015	4	70.000,0	520.000,0	265.000,0	235.000,0	217.025,3	81,9
Año 2016	2	800,0	2.500,0	1.650,0	1.650,0	1.202,1	72,9
Año 2017	4	50.000,0	370.000,0	182.500,0	155.000,0	135.000,0	74,0
Año 2018	5	41,5	337,0	126,3	61,2	124,9	98,9
Año 2019	4	50,2	191.620,4	75.445,9	55.056,4	88.229,1	116,9

Figura 6-84. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitoplancton medidos en el sector de Soncor.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Para el sector Aguas de Quelana por su parte, las abundancias del fitoplancton variaron entre 0 y 7.350.000 cél/l, como ha sido la tendencia en todos los sectores evaluados, los distintos coeficientes de variación determinados en los distintos periodos de muestreo indican una alta heterogeneidad en los datos, señalando a su vez que existe una alta y marcada variabilidad interanual en los valores de abundancia total registrados en el sector (Tabla 6-73). La comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que existen diferencias significativas respecto a los niveles de abundancia total de microalgas planctónicas (KW=64,70, g.l=12, p<0,0001, Anexo XV). Cabe indicar que los valores de abundancia total determinados durante el periodo 2019 no presentaron diferencias significativas con respecto a los años anteriores, encontrándose dentro de los rangos detectados en periodos anteriores. (Figura 6-85). Cabe indicar que las diferencias significativas detectadas fueron principalmente detectadas entre los años 2009-2010 y 2015 que fueron los periodos que





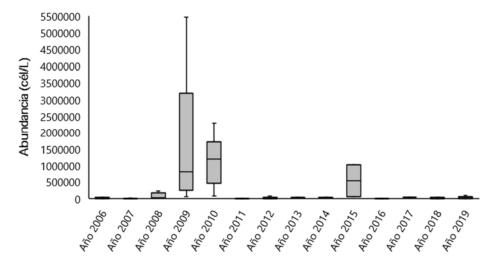
presentaron una mayor abundancia respecto al resto de los periodos monitoreados. Cabe indicar que el sector de Aguas de Quelana ha tenido una gran variabilidad respecto a los niveles de agua detectados durante todo el periodo de monitoreo producto de las grandes variaciones anuales que este sistema históricamente ha presentado, las que son propias de su dinámica y que fueron descritas en la línea de base del proyecto, encontrándose en numerosas ocasiones varias de sus estaciones de muestreo sin agua superficial suficiente para el muestreo.

Tabla 6-73. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitoplancton (cél/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	7	743,0	182.215,0	40.224,0	10.602,0	64.940,0	161,4
Año 2007	9	77,0	9.463,0	4.614,3	6.137,0	3.704,3	80,3
Año 2008	9	12.940,0	937.731,0	156.272,4	19.556,0	302.035,5	193,3
Año 2009	10	50.000,0	5.455.000,0	1.788.000,0	800.000,0	1.947.775,4	108,9
Año 2010	10	75.000,0	7.350.000,0	1.632.500,0	1.187.500,0	2.114.895,9	129,5
Año 2011	8	240,0	4.044,0	1.625,5	755,0	1.568,1	96,5
Año 2012	5	0,0	83.400,0	16.880,0	0,0	37.188,3	220,3
Año 2013	6	16.000,0	36.000,0	25.500,0	24.000,0	8.018,7	31,4
Año 2014	6	18.000,0	31.000,0	25.666,7	27.000,0	4.966,6	19,4
Año 2015	2	50.000,0	1.010.000,0	530.000,0	530.000,0	678.822,5	128,1
Año 2016	3	0,0	700,0	300,0	200,0	360,6	120,2
Año 2017	1	40.000,0	40.000,0	40.000,0	40.000,0	-	-
Año 2018	7	51,8	37.049,2	13.261,7	3.325,8	15.770,6	118,9
Año 2019	9	89,1	95.466,8	33.211,1	33.298,6	30.445,9	91,7



Figura 6-85. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del fitoplancton medidos en el sector de Aguas de Quelana.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo).

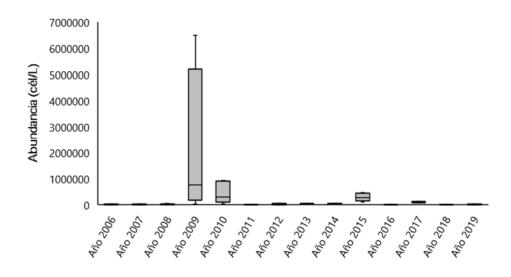
Finalmente, las abundancias totales de microalgas planctónicas determinadas en el sector de Peine han variado entre 0 y 6.500.000 cél/L durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019). Por su parte, al iqual que en todos los sectores monitoreados, los coeficientes de variación determinados en el sector de Peine indican una gran variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros, además, indican una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-74). En relación a la comparación interanual, se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW= 47,34, g.l=13, p<0,0001, Anexo XV). Los valores de abundancia total de microalgas planctónicas medidos durante el periodo de monitoreo 2019 variaron significativamente respecto a los valores detectados los años 2009-2010-2015 y 2017. Las abundancias detectadas durante el año 2019 fueron menores que las detectadas en los periodos 2009-2010-2015 y 2017. Al igual que en los otros tres sectores del Salar de Atacama, el periodo de monitoreo 2009 fue el periodo que presentó los mayores niveles de abundancia en el sector de Peine (Figura 6-86). Cabe indicar que respecto al rango de valores de abundancia total de microalgas planctónicas medido durante todo el periodo de monitoreo, los valores detectados el año 2019 se encuentran dentro de este rango, existe un patrón con una tendencia a una baja a moderada abundancia de microalgas planctónicas. Sin embargo, el periodo de monitoreo de 2009 existió mayore abundancia en el sector, la cual tal vez pudo deberse a distintos factores, tales como climáticos o de concentración de nutrientes presentes en los cuerpos de agua en los momentos puntuales en los que fue realizado el muestreo. A pesar de esto, la tendencia detectada en la abundancia de microalgas planctónicas se ha mantenido en el tiempo.



Tabla 6-74. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitoplancton (cél/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	3	1.078,0	12.404,0	6.350,3	5.569,0	5.703,3	89,8
Año 2007	5	30,0	23.363,0	7.842,0	3.434,0	9.466,8	120,7
Año 2008	5	0,0	39.820,0	15.562,2	14.933,0	16.246,5	104,4
Año 2009	5	25.000,0	6.500.000,0	2.295.000,0	750.000,0	2.810.660,5	122,5
Año 2010	5	25.000,0	925.000,0	455.000,0	300.000,0	418.105,8	91,9
Año 2011	5	330,0	1.760,0	752,0	440,0	598,0	79,5
Año 2012	5	500,0	39.400,0	16.700,0	4.000,0	19.949,4	119,5
Año 2013	5	26.000,0	37.000,0	30.000,0	27.000,0	5.147,8	17,2
Año 2014	5	19.000,0	48.000,0	32.600,0	32.000,0	11.414,9	35,0
Año 2015	5	100.000,0	460.000,0	290.000,0	270.000,0	154.110,4	53,1
Año 2016	4	300,0	3.500,0	1.500,0	1.100,0	1.423,6	94,9
Año 2017	4	70.000,0	130.000,0	92.500,0	85.000,0	26.299,6	28,4
Año 2018	4	154,7	7.437,5	2.158,0	519,9	3.525,3	163,4
Año 2019	4	41,3	33.194,4	9.334,8	2.051,6	16.004,9	171,5

Figura 6-86. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total de fitoplancton medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.







# Riqueza

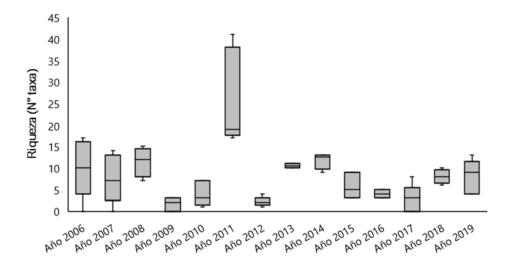
Respecto a la riqueza del fitoplancton, para el sector de Puilar, los valores de riqueza total medidos durante todo el periodo de monitoreo han variado entre 0 y 41 taxa (Tabla 6-75) de la misma manera que lo detectado con la abundancia, los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, señalando una alta variabilidad interanual en los datos de riqueza registrados en el sector. La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=39,87, g.l=13, p=0,0001, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019) el cual varió significativamente respecto a los años 2009-2011-2012 y 2017. La riqueza del fitoplancton fue mayor durante el año 2019, respecto a los años 2009-2012 y 2017 pero fue menor respecto al año 2011. (Figura 6-87). Cabe indicar que el periodo de monitoreo 2011 presentó los mayores niveles de riqueza y que los valores detectados en la actual campaña de monitoreo (año 2019) se encuentra dentro del rango histórico de riqueza detectada en este sitio.

Tabla 6-75. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitoplancton (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	0	17	10	10	6,7	66,7
Año 2007	5	0	14	8	7	5,6	73,6
Año 2008	5	7	15	11	12	3,4	29,5
Año 2009	5	0	3	2	2	1,5	94,8
Año 2010	5	1	7	4	3	2,8	70,7
Año 2011	5	17	41	26	19	11,2	43,0
Año 2012	5	1	4	2	2	1,1	49,8
Año 2013	2	10	11	11	11	0,7	6,7
Año 2014	4	9	13	12	13	1,9	16,1
Año 2015	3	3	9	6	5	3,1	53,9
Año 2016	3	3	5	4	4	1,0	25,0
Año 2017	5	0	8	3	3	3,3	116,8
Año 2018	4	6	10	8	8	1,6	20,4
Año 2019	5	4	13	8	9	3,9	49,2



Figura 6-87. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitoplancton medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

En cuanto al sector de Soncor, los valores de riqueza variaron entre 0 y 37 taxa, además, los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los datos de riqueza registrados en el sector (Tabla 6-76). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=36,90, g.l=13, p=0,0004, Anexo XV), el actual periodo de monitoreo (año 2019), varió significativamente respecto a los años 2010-2012-2013-2015 y 2017. Los niveles de riqueza del fitoplancton detectados durante el año 2019 fueron mayores que los periodos mencionados anteriormente. (Figura 6-88). Cabe señalar que el periodo de monitoreo 2011 presentó los mayores niveles de riqueza y que los valores detectados en la actual campaña se encuentra dentro del rango histórico de riqueza detectada en este sitio.

Tabla 6-76. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitoplancton (cél/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

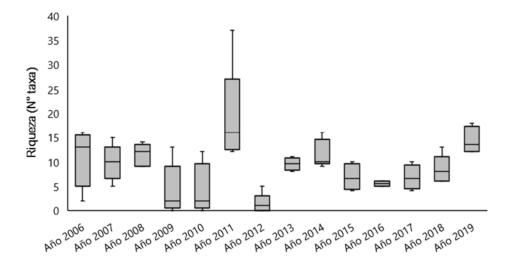
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	183,0	8.895,0	3.827,8	3.659,0	3.402,4	88,9
Año 2007	5	543,0	15.441,0	8.109,0	5.100,0	6.573,4	81,1
Año 2008	5	5.883,0	29.130,0	12.544,8	9.285,0	9.433,4	75,2
Año 2009	5	0,0	5.275.000,0	1.180.000,0	100.000,0	2.296.832,1	194,6
Año 2010	5	0,0	675.000,0	260.000,0	225.000,0	254.705,7	98,0
Año 2011	5	310,0	710,0	432,0	370,0	160,4	37,1
Año 2012	5	0,0	45.400,0	17.820,0	8.000,0	21.283,1	119,4
Año 2013	4	20.000,0	25.000,0	22.750,0	23.000,0	2.061,6	9,1
Año 2014	5	22.000,0	29.000,0	25.800,0	26.000,0	2.588,4	10,0



Tabla 6-76. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitoplancton
(cél/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2015	4	70.000,0	520.000,0	265.000,0	235.000,0	217.025,3	81,9
Año 2016	2	800,0	2.500,0	1.650,0	1.650,0	1.202,1	72,9
Año 2017	4	50.000,0	370.000,0	182.500,0	155.000,0	135.000,0	74,0
Año 2018	5	41,5	337,0	126,3	61,2	124,9	98,9
Año 2019	4	12	18	14	14	2,9	20,2

Figura 6-88. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitoplancton medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

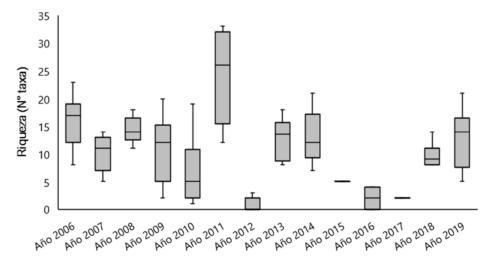
El sector Aguas de Quelana por su parte, presentó un rango de riqueza que ha variado entre 0 y 33 taxa a lo largo de todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), además, los distintos coeficientes de variación indican alta heterogeneidad en los datos, señalando la existencia de una gran variabilidad interanual en los niveles de riqueza registrados en el sector (Tabla 6-77). La comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que existen diferencias significativas (KW=53,78, g.l=12, p<0,0001, Anexo XV) Los niveles de riqueza detectado durante el actual periodo de monitoreo variaron respecto a los detectados durante los años 2011-2012 y 2016. La riqueza del fitoplancton medida el año 2019 fue mayor que la medida los años 2012 y 2016 pero fue menor que la medida el año 2011 (Figura 6-89). Cabe señalar que el periodo de monitoreo 2011 presentó los mayores niveles de riqueza y que los valores detectados en la actual campaña se encuentra dentro del rango histórico de riqueza detectada en este sitio.



Tabla 6-77. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitoplancton (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	7	8	23	16	17	4,8	30,2
Año 2007	9	5	14	10	11	3,2	31,6
Año 2008	9	11	18	14	14	2,3	15,9
Año 2009	10	2	20	11	12	6,4	59,3
Año 2010	10	1	19	7	5	6,8	95,2
Año 2011	8	12	33	24	26	8,1	33,3
Año 2012	5	0	3	1	0	1,3	163,0
Año 2013	6	8	18	13	14	3,9	30,1
Año 2014	6	7	21	13	12	4,9	38,0
Año 2015	2	5	5	5	5	0,0	0,0
Año 2016	3	0	4	2	2	2,0	100,0
Año 2017	1	2	2	2	2	-	-
Año 2018	7	8	14	10	9	2,1	21,5
Año 2019	9	5	21	12	14	5,4	43,7

Figura 6-89. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitoplancton medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Finalmente, la riqueza de taxa medida en el sector de Peine durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019) ha variado entre 0 y 57 taxa y los coeficientes de variación determinados durante todos los periodos de estudio indican una leve variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros





y muestran una heterogeneidad interanual en los niveles de riqueza en este sector (Tabla 6-78). En relación a la comparación interanual, se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW= 31,94, g.l=13, p=0,0023, Anexo XV). El año 2019 varió respecto a los años 2011-2012 y 2017 (Figura 6-90). La riqueza medida el año 2019 fue menor que la del año 2011 y mayor que las medidas los años 2012 y 2017. Además, los valores detectados en la actual campaña se encuentran dentro del rango histórico de riqueza detectada en este sitio.

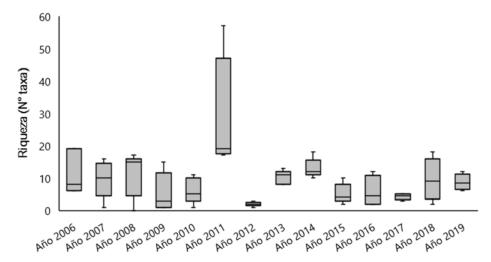
Tabla 6-78. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitoplancton registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

		Rique	za Fitoplancto	on (S, N° taxa).	. Peine		
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	3	6	19	11	8	7,0	63,6
Año 2007	5	1	16	10	10	5,7	59,2
Año 2008	5	0	17	11	15	6,9	62,0
Año 2009	5	1	15	6	3	6,0	106,8
Año 2010	5	1	11	6	5	3,9	62,9
Año 2011	5	17	57	30	19	17,4	58,8
Año 2012	5	1	3	2	2	0,7	35,4
Año 2013	5	8	13	10	11	2,2	21,3
Año 2014	5	10	18	13	12	3,0	23,1
Año 2015	5	2	10	5	4	3,0	58,3
Año 2016	4	2	12	6	5	4,8	83,3
Año 2017	4	3	5	4	5	1,0	22,5
Año 2018	4	2	18	10	9	6,6	69,6
Año 2019	4	6	12	9	9	2,5	28,6



geobiota

Figura 6-90. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Riqueza total de fitoplancton medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

#### 6.7.2.4 Fitobentos

Los productores primarios que habitan los sustratos de agua son representantes típicos de sistemas lóticos, no obstante, también se encuentran presentes en sistemas lénticos y, junto a las microalgas planctónicas, son los principales responsables de la productividad primaria. A través del tiempo la comparación interanual de los valores de abundancia y riqueza de organismos fitobentónicos ha presentado diferencias significativas desde el punto de vista estadístico las cuales son analizadas a continuación.

#### Abundancia

En relación con el sector de Puilar, los valores de abundancia total de microalgas bentónicas medidos durante todo el periodo de monitoreo han variado entre 0 y 74.543.000 cél/cm³ (Tabla 6-79), por su parte, los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los datos de abundancia registrados en el sector. La comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=34,40, g.I=13, p=0,0010, Anexo XV), cabe indicar que el año 2019, no presentó diferencias significativas con el resto de los años y que este periodo se encuentra dentro de los rangos históricos. (Figura 6-91). Cabe señalar que las abundancias detectadas el año 2007, corresponden a las mayores abundancias detectadas para este sector y que todos los valores detectados durante el actual periodo de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico detectado para este sector manteniendo la tendencia de este parámetro en el tiempo.

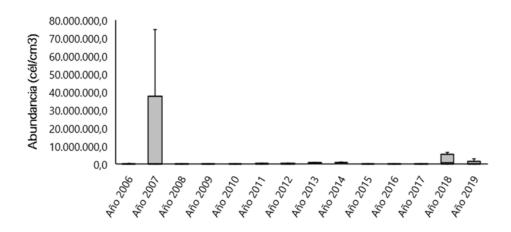




Tabla 6-79. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitobentos (cél/cm³) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

	Sector										
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.				
Año 2006	5	303,0	380.621,0	92.523,6	13.686,0	162.733,6	175,9				
Año 2007	5	0,0	74.543.000, 0	15.025.600, 0	71.000,0	33.271.928, 1	221,4				
Año 2008	5	66,0	21.793,0	8.865,8	3.142,0	10.516,5	118,6				
Año 2009	5	2.342,9	42.400,0	22.251,4	25.942,9	15.469,4	69,5				
Año 2010	5	16.457,1	40.228,6	25.200,0	25.371,4	9.600,9	38,1				
Año 2011	5	80.800,0	457.600,0	240.640,0	219.200,0	135.909,9	56,5				
Año 2012	5	112.000,0	682.200,0	334.040,0	290.400,0	209.992,6	62,9				
Año 2013	2	570.400,0	873.600,0	722.000,0	722.000,0	214.394,8	29,7				
Año 2014	4	702.400,0	1.049.600,0	837.200,0	798.400,0	152.486,9	18,2				
Año 2015	4	1.400,0	4.600,0	2.775,0	2.550,0	1.541,4	55,5				
Año 2016	3	42.800,0	170.000,0	116.933,3	138.000,0	66165,0	56,6				
Año 2017	5	0,0	89.100,0	25.720,0	0,0	39.342,9	153,0				
Año 2018	4	14.4186,7	6.547.861,7	2.159.426,2	972.828,3	301.6824,3	139,7				
Año 2019	5	276,9	2.854.658,5	668.747,3	4.005,3	1.239.699,3	185,4				

Figura 6-91. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del fitobentos medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo).





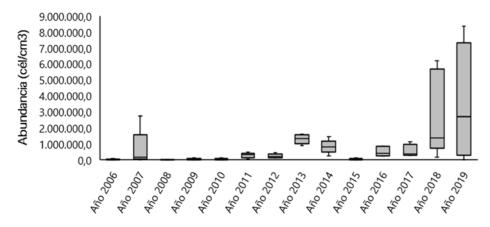
En cuanto al sector de Soncor, los valores de abundancia total de organismos fitobentónicos variaron entre 186 y 8.357.005 cél/cm³, además, los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, señalando la existencia una alta variabilidad interanual en los datos de abundancia total registrados en el sector (Tabla 6-80). La comparación interanual de los niveles de riqueza de taxa entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=43,92, g.l=13, p<0,0001, Anexo XV). Sin embargo, el actual periodo de monitoreo (año 2019), no presentó diferencias significativas con el resto de los años más bien las diferencias estuvieron dadas por las abundancias registradas durante otros periodos de muestreo. Cabe señalar que las abundancias detectadas el año 2019, corresponden a las mayores abundancias detectadas para este sector (Figura 6-92). Cabe indicar que durante el actual periodo se detectó un Bloom algal (proliferación masiva de microalgas) que podría posiblemente estar relacionada con el aumento de algún nutriente.

Tabla 6-80. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitobentos (cél/cm³) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	1834,0	9.8582,0	24.690,6	8088,0	41444,5	167,9
Año 2007	5	5000,0	2.731.000,0	683.800,0	164000,0	1154052,7	168,8
Año 2008	5	186,0	15.397,0	3.975,2	1184,0	6415,3	161,4
Año 2009	5	2600,0	142.628,6	3.8577,1	7200,0	59834,4	155,1
Año 2010	5	4771,4	149.714,3	45.845,7	24800,0	60201,9	131,3
Año 2011	5	58800,0	506.800,0	297.540,0	338800,0	169344,8	56,9
Año 2012	5	123200,0	450.400,0	254.880,0	241600,0	139344,3	54,7
Año 2013	4	900800,0	1.636.000,0	1.311.700,0	1355000,0	307341,9	23,4
Año 2014	5	262400,0	1.446.400,0	839.500,0	838800,0	422458,9	50,3
Año 2015	4	1200,0	149.900,0	42.850,0	10150,0	71534,6	166,9
Año 2016	3	264400,0	862.000,0	516.800,0	424000,0	309419,3	59,9
Año 2017	4	315600,0	1.145.000,0	553.450,0	376600,0	398538,1	72,0
Año 2018	5	184066,0	5.170.756,1	2.276.603,7	1373127,6	1982220,3	87,1
Año 2019	4	1537,4	8.357.005,8	3.440.809,4	2702347,1	3712400,6	107,9



Figura 6-92. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitobentos medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Para el sector Aguas de Quelana por su parte, las abundancias variaron entre 0 y 28.547.646 cél/cm³, los distintos coeficientes de variación indican una amplia heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los valores de abundancia total de microalgas bentónicas registrados en el sector (Tabla 6-81). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que existen diferencias significativas (KW=57,35, g.l=12, p <0,0001, Anexo XV) (Figura 6-93). El actual periodo de monitoreo (año 2019) varió respecto a los periodos 2006-2008-2009-2010 y 2015. El año 2019 presentó los más altos valores de abundancia respecto a los periodos anteriores mencionados y todos los periodos en este sector. Al igual que lo detectado en otros sitios, en el sector de aguas de Quelana se evidenció un Bloom algal (proliferación masiva de microalgas) y por consiguiente se determinaron los valores más altos en la data histórica del sector, cabe indicar que, la proliferación masiva de microalgas usualmente está asociada al aumento de nutrientes y CO<sub>2</sub> en la columna de aqua junto a condiciones de luminosidad y temperatura propicias para el crecimiento de estas sumado a la ausencia de pastoreo por parte de algunos grupos zooplanctónicos. También se puede señalar que a medida que incrementa la biomasa celular todas las microalgas son capaces de utilizar la luz incidente con mayor eficiencia que en condiciones de mayor dilución (Contreras-Flores et al. 2003). Esto se debe principalmente al autosombreado que se produce debido a que las células más cercanas a la superficie dan sombra a las capas inferiores generando un sistema de mezcla eficiente que permite un acceso periódico de todas las células a la luz y con ello el incremento de la fotosíntesis y por consiguiente aumento de biomasa (Hernández-Pérez y Labbé, 2014).

Tabla 6-81. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitobentos (cél/cm³) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	10	0,0	35.287,0	11.119,7	2.695,5	13.962,8	125,6
Año 2007	10	27000,0	3.213.000,0	1.126.100,0	964.000,0	980.902,2	87,1
Año 2008	10	0,0	21.911,0	3.541,4	779,5	6.786,5	191,6
Año 2009	10	57,1	39.428,6	13.748,6	9.071,4	14.533,7	105,7

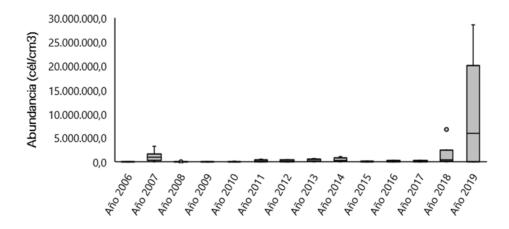




Tabla 6-81. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitobentos (cél/cm³) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2010	10	257,1	80.685,7	27.922,9	7.257,2	33.355,2	119,5
Año 2011	8	868,0	587.200,0	222.546,0	136.800,0	221.414,3	99,5
Año 2012	5	300,0	376.400,0	201.240,0	216.100,0	161.526,2	80,3
Año 2013	6	1500,0	676.600,0	396.750,0	485.200,0	249.336,9	62,8
Año 2014	6	3100,0	1.065.600,0	428.383,3	301.600,0	389.467,1	90,9
Año 2015	5	600,0	119.000,0	37.840,0	800,0	53.915,0	142,5
Año 2016	3	3400,0	252.000,0	136.133,3	153.000,0	125.155,3	91,9
Año 2017	2	1700,0	341.000,0	171.350,0	171.350,0	239.921,3	140,0
Año 2018	7	63503,8	6.729.697,5	1.581.444,6	461.398,6	2.428.638,7	153,6
Año 2019	9	1079,1	28.547.646,3	9.643.846,4	5.885.100,0	10.590.637,4	109,8

Figura 6-93. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del fitobentos medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo).

Las abundancias totales de microalgas bentónicas determinadas en el sector de Peine variaron entre 0 y 22.440.865 cél/cm³ durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), por su parte, los coeficientes de variación indican alta variabilidad en los datos y una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-82). En relación a la comparación interanual, se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo (2019) con la mayoría de los periodos de monitoreo (KW=47,32, g.l=13, p<0,0001, Anexo XV). El periodo de monitoreo 2019 varió respecto a los periodos 2008 y 2018, por lo que, el año 2019 presentó valores de abundancia mayores respecto a los años anteriores. (Figura 6-94). Al igual





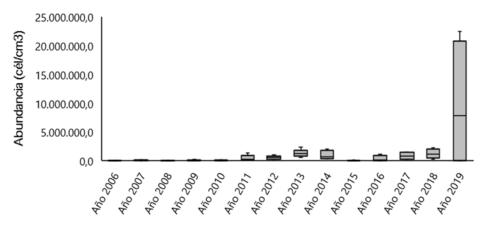
que en los otros sectores del Salar de Atacama, durante la actual campaña, los altos valores de abundancia de microalgas se debieron a un Bloom algal.

Tabla 6-82. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del fitobentos (cél/cm³) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	3	2146,0	50.838,0	21.785,3	12.372,0	25.674,6	117,9
Año 2007	5	55000,0	129.000,0	97.200,0	109.000,0	34.615,0	35,6
Año 2008	5	0,0	12.555,0	4.004,4	1.675,0	5.293,1	132,2
Año 2009	5	7657,0	247.314,0	61.674,0	18.171,0	104.057,1	168,7
Año 2010	5	20800,0	190.285,7	71.771,4	29.257,0	72.696,3	101,3
Año 2011	5	121400,0	1.390.400,0	495.800,0	291.600,0	521.127,7	105,1
Año 2012	5	244200,0	1.008.000,0	590.760,0	633.600,0	309.221,5	52,3
Año 2013	5	606400,0	2.440.000,0	1.339.260,0	1.271.600,0	674.561,7	50,4
Año 2014	5	345600,0	2.035.400,0	1.017.640,0	764.000,0	747.867,6	73,5
Año 2015	5	3700,0	114.800,0	40.560,0	26.200,0	43.305,9	106,8
Año 2016	4	64000,0	1.110.000,0	396.700,0	206.400,0	480.514,5	121,1
Año 2017	4	241000,0	1.462.537,0	864.384,3	877.000,0	656.701,6	76,0
Año 2018	4	154,7	7.437,5	2.158,0	519,9	3.525,3	163,4
Año 2019	4	2320,5	22.440.865,9	9.562.037,5	7.902.481,7	11.354.927,8	118,8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-94. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total de fitobentos medidos en el sector de Peine. Salar de Atacama. Il Región de Chile.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





# Riqueza

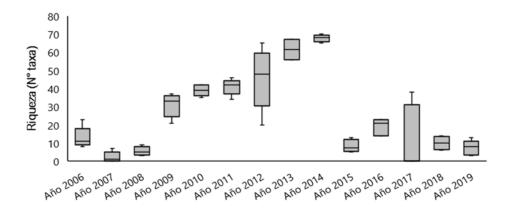
Respecto a la riqueza del fitobentos, para el sector de Puilar, los valores de riqueza total de taxa medidos durante todo el periodo de monitoreo variaron entre 0 y 70 taxa (Tabla 6-83), en conjunto, los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, señalando que existe una alta variabilidad interanual en los niveles de riqueza registrados en el sector. La comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=46,97 g.l=12, p<0,0001, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019) el cual varió significativamente respecto a los años 2007-2009-2010-2011-2012-2014 y 2016. Los niveles de riqueza de taxa de microalgas bentónicas fueron mayores en el año 2019 respecto al año 2007 mientras que fueron menores respecto a los años 2009-2010-2011-2012 y 2014. (Figura 6-95). Sin embargo, cabe indicar que todos los niveles de riqueza detectado dentro del actual periodo de monitoreo fueron muy similares a los detectados el año 2008 y se mantuvieron dentro del rango histórico presentado para este parámetro en el sector de Puilar, lo que indicaría un patrón cíclico natural respecto a la variación de los niveles de riqueza taxonómica en el sector de Puilar.

Tabla 6-83. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	8	23	13	11	5,9	45,2
Año 2007	5	0	7	2	1	2,9	134,1
Año 2008	5	3	9	6	5	2,4	43,0
Año 2009	5	21	37	31	33	6,4	20,8
Año 2010	5	35	42	39	39	3,1	7,9
Año 2011	5	34	46	41	42	4,5	10,9
Año 2012	5	20	65	46	48	16,8	36,8
Año 2013	2	56	67	62	62	7,8	12,6
Año 2014	4	65	70	68	68	2,1	3,0
Año 2015	4	5	13	8	8	3,6	43,6
Año 2016	3	14	23	19	21	4,7	24,4
Año 2017	5	0	38	12	0	17,7	142,6
Año 2018	4	6	14	10	10	3,7	36,5
Año 2019	5	3	13	7	8	4	54,6



Figura 6-95. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitobentos medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

En cuanto al sector de Soncor, los valores de abundancia variaron entre 1 y 71 taxa. Los distintos coeficientes de variación determinados en el sector de Soncor indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los niveles de riqueza taxonómica detectada en el sector (Tabla 6-84). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=57,53, g.l=13, p<0,0001, Anexo XV), el actual periodo de monitoreo (año 2019) varió significativamente respecto a todos los periodos excepto con los años 2008-2015 y 2016. Los valores de riqueza fueron menores en el año 2019 respecto a los años registrados los 2009-2010-2011-2012-2013-2014-2017 y 2018 y fueron mayores que los valores detectados el año 2007. (Figura 6-96). Cabe indicar que los valores de riqueza detectados durante el actual periodo estuvieron dentro de los rangos históricos presentados para este este sector.

Tabla 6-84. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 y 2019 en el sector de Soncor.

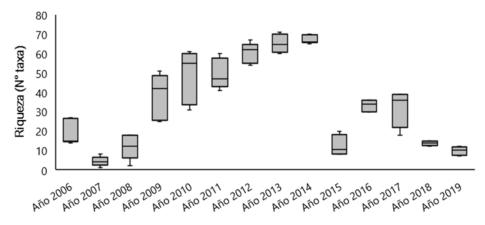
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	14	27	19	15	6,5	33,5
Año 2007	5	1	8	4	4	2,5	57,0
Año 2008	5	2	18	12	12	6,6	55,3
Año 2009	5	25	51	38	42	11,9	31,2
Año 2010	5	31	61	48	55	13,9	28,7
Año 2011	5	41	60	50	47	7,7	15,6
Año 2012	5	54	67	60	62	5,2	8,7
Año 2013	4	60	71	65	65	5,0	7,6
Año 2014	5	65	70	67	66	2,2	3,2
Año 2015	4	8	20	12	11	5,7	46,4
Año 2016	3	30	36	33	34	3,1	9,2



Tabla 6-84. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 y 2019 en el sector de Soncor.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2017	4	18	39	32	36	9,7	30,2
Año 2018	5	12	15	14	14	1,3	9,4
Año 2019	4	7	12	10	10	2,2	22,7

Figura 6-96. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitobentos medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

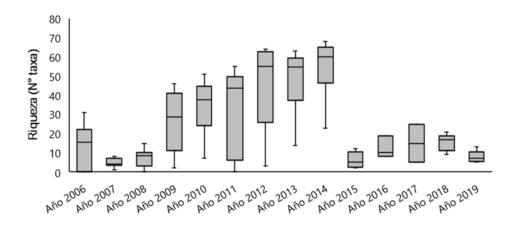
Para el sector Aguas de Quelana por su parte, los niveles de riqueza medidos a través de todo el periodo de estudio han variado entre 0 y 68 taxa, siendo este valor el nivel de riqueza más alta determinado en todos los sitios del salar de Atacama, además, los coeficientes de variación indican una gran heterogeneidad en los datos, y una alta variabilidad interanual en los niveles de riqueza determinados en el sector (Tabla 6-85). La comparación interanual de los niveles de riqueza taxonómica entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que existen diferencias significativas (KW=53,78, g.I=12, p<0,0001, Anexo XV). Los niveles de riqueza específica determinados en el actual periodo de monitoreo variaron respecto a los niveles determinados los años 2007-2009-2010-2013-2014 y 2018. Los valores de riqueza detectados durante el año 2019 fueron mayores que los detectados el año 2007 pero fue menor respecto a los años 2009-2010-2013-2014 y 2018 (Figura 6-97). Además, todos los valores detectados durante el actual periodo de monitoreo (año 2019) estuvieron dentro de los rangos históricos presentados para este sector del salar de Atacama.



Tabla 6-85. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	10	0	31	14	16	11,0	78,4
Año 2007	10	1	8	5	4	2,4	49,9
Año 2008	10	0	15	7	9	4,8	67,5
Año 2009	10	2	46	26	29	16,0	62,1
Año 2010	10	7	51	34	38	14,5	42,2
Año 2011	10	0	55	34	44	21,8	65,2
Año 2012	5	3	64	46	55	24,9	53,7
Año 2013	6	14	63	48	55	17,8	37,0
Año 2014	6	23	68	55	60	16,3	29,7
Año 2015	5	2	12	6	5	4,2	67,9
Año 2016	3	8	19	12	10	5,9	47,5
Año 2017	2	5	25	15	15	14,1	94,3
Año 2018	7	9	21	15	17	4,3	28,0
Año 2019	9	5	13	8	7	2,9	35,9

Figura 6-97. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del fitobentos medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Finalmente, la riqueza de taxa en el sector de Peine varió entre 0 y 81 taxa durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), también, los coeficientes de variación indican variabilidad en los datos y una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-86). En relación a la comparación interanual, se presentaron diferencias significativas desde el punto de vista estadístico entre el actual





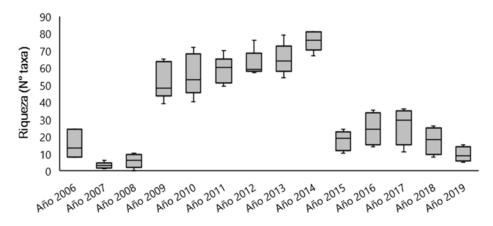
periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW=56,57, g.l=13, p<0,0001, Anexo XV). Para el periodo de monitoreo 2019 en el sector de Peine los valores de riqueza medidos variaron respecto a los medidos los años 2007-2009-2010-2011-2012-2013 y 2014. La riqueza de taxa fue mayor el año 2019 respecto al año 2007 pero fue menor respecto a los años 2009-2010-2011-2012-2013 y 2014 (Figura 6-98).

Tabla 6-86. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del fitobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	3	8	24	15	13	8,2	54,6
Año 2007	5	1	6	3	3	1,9	62,4
Año 2008	5	0	10	6	6	4,0	69,4
Año 2009	5	39	65	52	48	10,8	20,7
Año 2010	5	40	72	56	53	12,3	22,1
Año 2011	5	49	70	58	60	8,0	13,7
Año 2012	5	57	76	62	59	7,7	12,4
Año 2013	5	54	79	65	64	9,1	13,9
Año 2014	5	67	81	76	76	5,8	7,7
Año 2015	5	10	24	17	19	5,8	33,2
Año 2016	4	14	35	24	24	9,5	39,2
Año 2017	4	11	36	27	30	10,8	40,9
Año 2018	4	8	26	18	18	8,1	46,1
Año 2019	4	5	15	9	9	4,3	47,0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-98. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Riqueza total de fitobentos medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





## 6.7.2.5 Zooplancton

El zooplancton corresponde al conjunto de animales que viven en la columna de agua, los cuales se caracterizan por su pequeño tamaño, que varían desde unos pocos micrones hasta un par de milímetros incluye. Estos animales son principalmente rotíferos y crustáceos y dentro de estos últimos, los branchiópodos y copépodos. El zooplancton, en conjunto con las microalgas planctónicas y bentónicas corresponden a la base da las tramas tróficas en los ecosistemas acuáticos. A través del tiempo la comparación interanual de los valores de abundancia y riqueza de organismos zooplanctónicos ha presentado diferencias significativas desde el punto de vista estadístico las cuales son analizadas a continuación.

#### Abundancia

En relación con el sector de Puilar, los valores de abundancia total de individuos zooplanctónicos medidos durante todo el periodo de monitoreo variaron entre 0 y 504 ind/L (Tabla 6-87), además los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad en los datos, señalando una alta variabilidad interanual en valores de abundancia registrados en el sector. La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=37,46, g.l=13, p=0,0003, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019), el cual varió significativamente respecto a los años 2007-2009-2010-2011-2012-2014-2016, ya que los valores de abundancia registrados el año 2019 fueron menores que los años señalados anteriormente. Por otra parte, el año 2019 fue similar estadísticamente a los años 2006 y 2008 (Figura 6-99). Sin embargo, los valores de abundancia se mantuvieron dentro del rango histórico determinado para este sector del salar de Atacama.

Tabla 6-87. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del Zooplancton (ind/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	0,2	0,9	0,4	0,4	0,3	56,8
Año 2007	5	2,1	269,1	63,4	8,1	115,6	182,5
Año 2008	5	0,2	0,9	0,5	0,4	0,3	53,9
Año 2009	5	1,3	6,3	3,0	2,5	2,0	64,3
Año 2010	5	6,0	24,0	14,4	15,0	7,5	52,1
Año 2011	5	7,2	14,3	11,4	11,4	2,7	23,3
Año 2012	5	5,7	51,4	19,1	14,3	18,5	96,6
Año 2013	2	11,4	12,9	12,2	12,2	1,1	8,7
Año 2014	4	2,9	504,3	184,7	115,7	235,6	127,6
Año 2015	3	1,4	20,0	8,6	4,3	10,0	116,8
Año 2016	3	10,0	100,0	43,3	20,0	49,3	113,8
Año 2017	5	0,0	260,0	76,0	40,0	105,3	138,5
Año 2018	4	0,1	9,7	4,3	3,7	4,6	106,7
Año 2019	5	0,09	1,67	0,49	0,25	0,67	137,35

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6-99. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del Zooplancton medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.

Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

En cuanto al sector de Soncor, los valores históricos de abundancia del zooplancton han variado entre 0 y 130 ind/L, además, los distintos coeficientes de variación indican una alta heterogeneidad y variabilidad interanual en valores de abundancias registrados en el sector (Tabla 6-88). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=36,87, g.l=13, p=0,0004, Anexo XV). El actual periodo de monitoreo (año 2019) varió significativamente respecto a los años 2007-2011-2012-2013-2016 y 2017. Los valores de abundancia fueron menores durante el año 2019 respecto a los periodos anteriores (Figura 6-100). No obstante, cabe indicar que los mayores valores de abundancia fueron detectados los años 2016 y 2017 y son significativamente distintos al resto de los otros periodos de monitoreo, además, los valores de abundancia medidos durante el periodo 2019 fueron los más bajos de todos los periodos en este sector.

Tabla 6-88. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del Zooplancton (ind/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	0,0	2,6	1,1	1,0	1,0	87,0
Año 2007	5	0,3	8,0	2,2	0,7	3,3	147,7
Año 2008	5	0,0	2,6	1,1	1,0	1,0	87,1
Año 2009	5	0,0	17,1	5,8	3,2	6,8	116,4
Año 2010	5	0,0	19,0	6,8	3,0	7,8	114,6
Año 2011	5	1,4	12,8	7,7	7,1	4,6	59,6
Año 2012	5	4,3	8,6	6,6	5,7	1,9	29,3
Año 2013	4	8,6	15,7	11,5	10,8	3,5	30,4
Año 2014	5	0,0	18,6	7,2	5,7	7,2	99,9
Año 2015	4	0,0	27,1	9,6	5,7	12,8	133,3

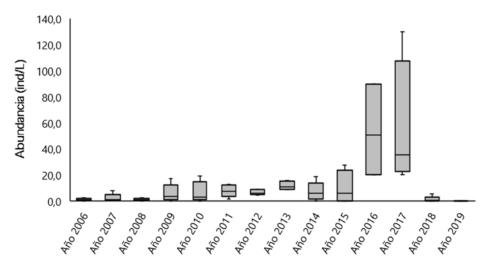




Tabla 6-88. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del Zooplancton (ind/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2016	3	20,0	90,0	53,3	50,0	35,1	65,8
Año 2017	4	20,0	130,0	55,0	35,0	50,7	92,1
Año 2018	5	0,0	5,4	1,3	0,3	2,3	183,8
Año 2019	4	0,00	0,19	0,06	0,02	0,09	151,44

Figura 6-100. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total del Zooplancton medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

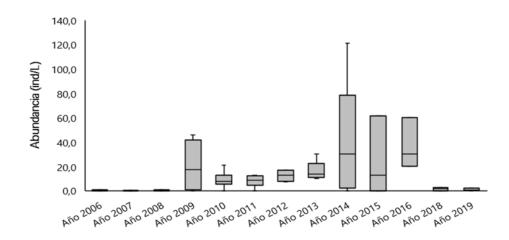
Para el sector Aguas de Quelana por su parte, las abundancias totales históricas del zooplancton variaron entre 0 y 133 ind/L, por su parte, los distintos coeficientes de variación indican alta heterogeneidad en los datos, y consigo una alta variabilidad interanual en los niveles de abundancia registrados en el sector (Tabla 6-89). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que existen diferencias significativas (KW=48,09, g.l=12, p<0,0001, Anexo XV). Las abundancias del zooplancton detectadas en el actual periodo (año 2019) variaron significativamente respecto a las abundancias detectadas durante los años 2007-2009-2010-2012-2013 y 2016. Los valores de abundancia de individuos zooplanctónicos medidos el año 2019 fueron menores respecto a los periodos mencionados con anterioridad a excepción del año 2007, donde las abundancias del año 2019 fueron mayores (Figura 6-101). Además, se mantuvieron dentro del rango histórico detectado para el sector.



Tabla 6-89. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del Zooplancton (ind/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	10	0,0	1,8	0,4	0,4	0,5	118,9
Año 2007	10	0,0	1,1	0,2	0,1	0,3	153,9
Año 2008	10	0,0	1,8	0,4	0,4	0,5	118,9
Año 2009	10	0,0	113,0	27,6	17,5	34,1	123,5
Año 2010	10	0,0	133,0	20,5	7,5	39,9	194,6
Año 2011	8	0,0	12,9	7,9	8,6	4,6	59,1
Año 2012	5	7,1	17,1	12,6	12,9	4,7	37,1
Año 2013	6	10,0	30,0	16,4	13,6	7,6	46,3
Año 2014	6	0,0	121,4	41,4	30,0	48,4	116,8
Año 2015	3	0,0	61,4	24,8	12,9	32,4	130,7
Año 2016	3	20,0	60,0	36,7	30,0	20,8	56,8
Año 2017	1	30,0	30,0	30,0	30,0	-	-
Año 2018	7	0,0	13,8	3,0	1,8	4,9	162,4
Año 2019	9	0,02	18,01	2,79	0,46	5,77	206,44

Figura 6-101. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del Zooplancton medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Finalmente, los valores históricos de abundancia total del zooplancton medidos en el sector de Peine variaron entre 0 y 510 ind/L, siendo este el sector que registró los mayores valores de abundancia de todos los sectores monitoreados en el salar de Atacama. Por su parte, los coeficientes de variación indican





variabilidad en los datos y una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-90). En relación a la comparación interanual, se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW=41,19, g.l=13, p<0,0001, Anexo XV). El actual periodo de monitoreo 2019 varió significativamente respecto a los años 2007-2009-2011-2012-2013-2016-2017 y 2018. Los valores de abundancia del zooplancton medidos el año 2019 fueron menores que los periodos anteriores mencionados. (Figura 6-102). Sin embargo, cabe indicar que los valores detectados durante el periodo 2019 fueron los más bajos a lo largo de los periodos estudiados. Las alzas puntuales en las abundancias (año 2016 y 2017) posiblemente podrían estar relacionadas con factores como el alza de oxígeno disuelto o una baja en la salinidad del sector.

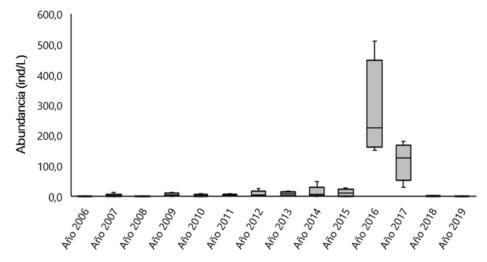
Tabla 6-90. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del Zooplancton (ind/L) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	0,0	0,9	0,3	0,2	0,3	112,3
Año 2007	5	0,1	11,8	3,1	1,1	4,9	159,5
Año 2008	5	0,0	0,9	0,3	0,2	0,3	112,4
Año 2009	5	0,6	11,4	6,0	3,8	4,8	81,4
Año 2010	5	0,0	8,0	3,0	1,0	3,4	113,0
Año 2011	5	1,4	8,6	5,1	5,7	2,6	51,2
Año 2012	5	1,4	25,7	8,6	4,3	9,9	115,9
Año 2013	5	1,4	17,1	8,6	8,6	6,6	77,1
Año 2014	5	0,0	47,1	13,7	7,1	19,2	139,9
Año 2015	5	0,0	27,1	10,8	10,0	11,6	107,1
Año 2016	4	150,0	510,0	277,5	225,0	161,5	58,2
Año 2017	4	30,0	180,0	115,0	125,0	62,4	54,3
Año 2018	4	0,1	1,3	0,6	0,6	0,6	94,3
Año 2019	4	0,00	0,05	0,01	0,00	0,02	200,00

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6-102. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total de Zooplancton medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*)La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

#### Riqueza

Respecto a la riqueza del Zooplancton, para el sector de Puilar, los valores históricos de riqueza taxonómica medidos durante todo el periodo de monitoreo variaron entre 0 y 6 taxa (Tabla 6-91), además los distintos coeficientes de variación indican heterogeneidad en los datos y una mediana variabilidad interanual en los niveles de riqueza taxonómica registrados en el sector. La comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=22,80, g.l=13, p=0,0287, Anexo XV). Las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019) el cual varió significativamente respecto a los años 2014 y 2017. Los valores de riqueza fueron mayores durante el año 2019, que los periodos mencionados anteriormente. En términos generales se mantuvieron dentro del rango histórico determinado para este sector de salar de Atacama (Figura 6-103).

Tabla 6-91. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del Zooplancton (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

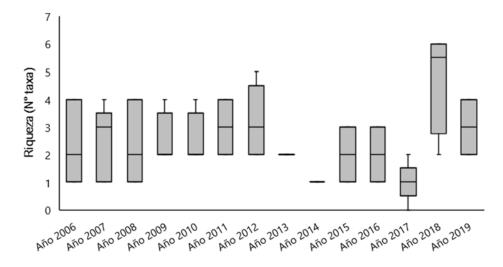
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	1	4	2	2	1,5	63,2
Año 2007	5	1	4	2	3	1,3	55,9
Año 2008	5	1	4	2	2	1,5	63,2
Año 2009	5	2	4	3	2	0,9	34,4
Año 2010	5	2	4	3	2	0,9	34,4
Año 2011	5	2	4	3	3	1,0	33,3
Año 2012	5	2	5	3	3	1,3	40,7
Año 2013	2	2	2	2	2	0,0	0,0
Año 2014	4	1	1	1	1	0,0	0,0



Tabla 6-91. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del Zooplancton (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2015	3	1	3	2	2	1,0	50,0
Año 2016	3	1	3	2	2	1,0	50,0
Año 2017	5	0	2	1	1	0,7	70,7
Año 2018	4	2	6	5	6	1,9	39,9
Año 2019	5	2	4	3	3	1,0	33,3

Figura 6-103. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del Zooplancton medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

En cuanto al sector de Soncor, los valores históricos de riqueza taxonómica han variado entre 0 y 9 taxa. Siendo este el sector que presentó los mayores valores de riqueza histórica en toda el área del proyecto. Por su parte, los distintos coeficientes de variación indican una heterogeneidad en los datos, sin embargo, esta variabilidad interanual en los niveles de riqueza registrados en el sector no difiere estadísticamente entre ellos (Tabla 6-92). De esta manera, la comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican que no existen diferencias significativas (KW=16,90, g.l=13, p=0,1702, Anexo XV) (Figura 6-104). Cabe indicar que los valores de riqueza determinados durante el actual periodo de monitoreo (abril 2019) se encuentran dentro del rango histórico de riqueza determinado para este sector.





Tabla 6-92. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del Zooplancton registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

		Riquez	za Zooplancto	n (S, N° taxa).	Soncor		
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	0	5	3	4	1,9	60,1
Año 2007	5	1	3	2	2	0,7	35,4
Año 2008	5	0	5	3	4	1,9	60,1
Año 2009	5	0	5	2	2	1,8	75,7
Año 2010	5	0	3	2	2	1,3	72,4
Año 2011	5	1	4	2	2	1,1	47,5
Año 2012	5	1	3	2	2	0,7	35,4
Año 2013	4	1	4	3	3	1,3	45,8
Año 2014	5	0	2	1	1	0,7	70,7
Año 2015	4	0	2	1	1	1,2	115,5
Año 2016	3	1	2	1	1	0,6	43,3

5

4

0

0

Año 2017

Año 2018

Año 2019

Figura 6-104. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del Zooplancton medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.

2

4

1

2

3

1

0,5

3,7

1,0

28,6

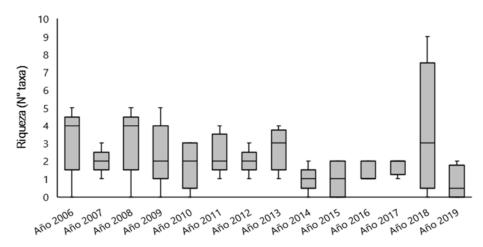
97,4

127,7

2

9

2



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Para el sector Aguas de Quelana por su parte, el rango histórico de valores de riqueza taxonómica ha variado entre 0 y 5 taxa, además los distintos coeficientes de variación y las desviaciones estándar indican baja dispersión y heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que no existe una alta variabilidad





interanual los niveles de riqueza taxonómica registrados en el sector (Tabla 6-93). En complemento, la comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que no existen diferencias significativas respecto a los niveles de riqueza de taxa (KW=15,02, g.I=12, p= 0,2136, Anexo XV) (Figura 6-105). Además, cabe mencionar que los valores de riqueza determinados durante el actual periodo de monitoreo (abril 2019) se encuentran dentro del rango histórico de riqueza determinado para este sector.

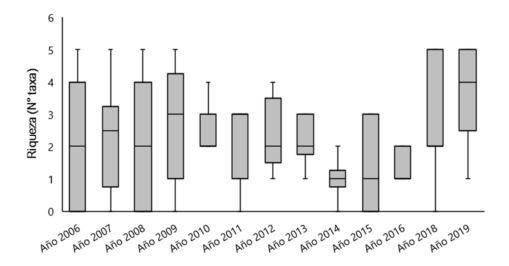
Tabla 6-93. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del Zooplancton registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

		Riqueza Zo	oplancton (S, I	N° taxa). Aguas	s de Quelana		
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	10	0	5	2	2	1,9	82,1
Año 2007	10	0	5	2	3	1,7	76,7
Año 2008	10	0	5	2	2	1,9	82,1
Año 2009	10	0	5	3	3	1,8	68,3
Año 2010	10	0	4	2	2	1,1	46,1
Año 2011	8	0	3	2	3	1,2	58,7
Año 2012	5	1	4	2	2	1,1	47,5
Año 2013	6	1	3	2	2	0,8	34,7
Año 2014	6	0	2	1	1	0,6	63,2
Año 2015	3	0	3	1	1	1,5	114,6
Año 2016	3	1	2	1	1	0,6	43,3
Año 2017	1	1	1	1	1	-	-
Año 2018	7	0	5	3	2	1,9	65,3
Año 2019	9	1	5	4	4	1.5	39.2

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6-105. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del Zooplancton medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo).

El rango histórico de valores de riqueza de taxa en el sector de Peine varió entre 0 y 8 taxa durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019), además, las desviaciones estándar y los distintos coeficientes de variación determinados a través de los distintos periodos de monitoreo indican menor variabilidad en los datos durante algunos periodos respecto a otros, sin embargo, indican una marcada heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-94). En relación a la comparación interanual, no presentaron diferencias significativas en los niveles de riqueza específica (KW=14,99, g.l=13, p= 0,2435, Anexo XV). (Figura 6-106). Además, cabe mencionar que los valores de riqueza determinados durante el actual periodo de monitoreo (abril 2019), fueron los menores de los periodos estudiados en este sector.

Tabla 6-94. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del Zooplancton (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

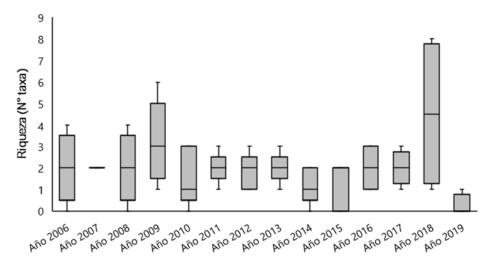
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	3	6	19	11	8	7,0	63,6
Año 2007	5	1	16	10	10	5,7	59,2
Año 2008	5	0	17	11	15	6,9	62,0
Año 2009	5	1	15	6	3	6,0	106,8
Año 2010	5	1	11	6	5	3,9	62,9
Año 2011	5	17	57	30	19	17,4	58,8
Año 2012	5	1	3	2	2	0,7	35,4
Año 2013	5	8	13	10	11	2,2	21,3
Año 2014	5	10	18	13	12	3,0	23,1
Año 2015	5	2	10	5	4	3,0	58,3
Año 2016	4	2	12	6	5	4,8	83,3



Tabla 6-94. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del Zooplancton (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2017	4	3	5	4	5	1,0	22,5
Año 2018	4	2	18	10	9	6,6	69,6
Año 2019	4	0	1	0	0	0,5	200,0

Figura 6-106. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Riqueza total de Zooplancton medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

## 6.7.2.6 Zoobentos

La fauna bentónica de los sistemas acuáticos de Chile se compone principalmente de larvas de insectos y crustáceos en diferentes estados de desarrollo. Cabe destacar que los estudios acerca del Zoobentos de sistemas límnicos en Chile son escasos y han sido poco difundidos (Vera y Camousseight, 2006; Camousseight, 2006; Rojas, 2006; Jerez y Moronil, 2006). Los macroinvertebrados bentónicos son un buen bioindicador de la calidad de las aguas continentales, reflejando las condiciones físicas y químicas observadas en los sistemas (Domínguez & Fernández 2009), razón por la cual caracterizar este componente es relevante.

Debido a que los cambios en su composición y abundancia reflejan las variaciones del medio acuático. En este contexto y a través del tiempo la comparación interanual de los valores de abundancia y riqueza de organismos zoobentónicos en el Salar de Atacama ha presentado diferencias significativas desde el punto de vista estadístico las cuales son analizadas a continuación.





#### Abundancia

El rango histórico de valores de abundancia total de individuos zoobentónicos medidos durante todo el periodo de monitoreo en el sector de Puilar variaron entre 0 y 87.374 ind/m² (Tabla 6-95), por su parte las desviaciones estándar y los distintos coeficientes de variación determinados en los distintos periodos de monitoreo indican una alta heterogeneidad en los datos, y una alta variabilidad interanual en los niveles de abundancia total registrados en el sector. La comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican la existencia de diferencias significativas (KW=37,7, g.l=13, p=0,0003, Anexo XV), las principales diferencias registradas fueron detectadas para el actual periodo de estudio (abril 2019) el cual varió significativamente respecto al año 2008. Los valores de la abundancia de organismos zoobentónicos medida el año 2019, fue menor que medida el año 2008. (Figura 6-107). No obstante, todos los valores de abundancia para este sector se encuentran dentro del rango histórico de abundancia determinado para este sector del salar de Atacama.

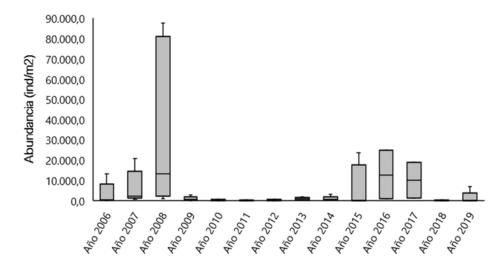
Tabla 6-95. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del zoobentos (ind/m²) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	126,0	13005,0	3434,4	379,0	5522,7	160,8
Año 2007	5	656,6	20707,1	6646,5	2020,2	8428,5	126,8
Año 2008	5	883,8	87373,7	35858,6	13257,6	41658,7	116,2
Año 2009	5	100,2	2712,9	1029,7	753,6	1028,6	99,9
Año 2010	5	0,0	735,0	276,4	182,0	293,8	106,3
Año 2011	5	12,8	226,0	79,4	49,7	84,4	106,2
Año 2012	5	55,1	661,2	264,5	220,4	250,7	94,8
Año 2013	4	220,4	1873,3	978,0	909,1	688,7	70,4
Año 2014	5	275,5	2975,2	1002,8	661,2	1114,5	111,1
Año 2015	4	110,2	23416,7	5936,8	110,2	11653,3	196,3
Año 2016	3	1010,0	24745,0	12709,2	12372,5	11871,1	93,4
Año 2017	4	1262,5	18685,0	10036,9	10100,0	9986,5	99,5
Año 2018	4	5,6	372,2	108,3	27,8	177,0	163,3
Año 2019	5	0,0	7000,0	1525,0	125,0	3063,6	200,9

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6-107. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del zoobentos medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*)La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Por otro lado, el sector Soncor presentó un rango histórico de valores de abundancia total del Zoobentos que varió entre 0 y 222.979,8 ind/m2, además los distintos coeficientes de variación y sus respectivas desviaciones estándar indican una alta heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una alta variabilidad interanual en los niveles de abundancia registrados en el sector (Tabla 6-96). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican la existencia de diferencias significativas (KW=47,02, g.I=13, p<0,0001, Anexo XV). El actual periodo de monitoreo (año 2019) varió significativamente respecto a los años 2006-2007-2008-2017 y 2018. Los valores de abundancia del zoobentos determinados el año 2019 fueron menores que los medidos años 2006-2007-2008 y 2017 pero fue mayor que el año 2018 (Figura 6-108). Sin embargo, se mantuvieron dentro del rango histórico de valores determinado para este sector.

Tabla 6-96. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del zoobentos (ind/m²) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	1515,0	69192,0	20303,2	6566,0	28482,6	140,3
Año 2007	5	15151,5	222979,8	64596,0	25000,0	88958,0	137,7
Año 2008	5	11742,4	212121,2	83232,3	56565,7	79909,2	96,0
Año 2009	5	101,0	2712,9	950,1	753,6	1023,1	107,7
Año 2010	5	0,0	19041,0	3948,8	238,0	8437,7	213,7
Año 2011	5	32,4	744,4	386,6	277,3	336,4	87,0
Año 2012	5	165,3	495,9	308,6	220,4	148,9	48,2
Año 2013	2	275,5	275,5	275,5	275,5	0,0	0,0
Año 2014	4	275,5	2754,8	1102,0	688,8	1119,2	101,6



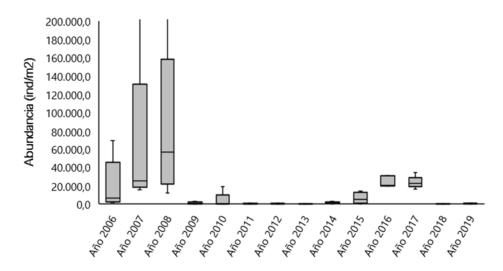
geobiota

Tabla 6-96. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del zoobentos (ind/m²) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2015	4	110,2	13884,3	6074,4	5151,5	6078,4	100,1
Año 2016	3	19190,0	30805,0	23314,2	19947,5	6498,3	27,9
Año 2017	5	16160,0	33835,0	23179,5	21967,5	6527,0	28,2
Año 2018	5	2,8	113,9	38,9	11,1	47,5	122,1
Año 2019	4	125,0	875,0	468,8	437,5	344,2	73,4

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-108. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total del zoobentos medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

Para el sector Aguas de Quelana por su parte, las abundancias históricas de abundancia total variaron entre 0 y 92.045 ind/m², también, al igual que lo detectado en la mayoría de los lugares y parámetros evaluados, los distintos coeficientes de variación indican una heterogeneidad en los datos y una alta variabilidad interanual en los valores de abundancia total registrados en el sector (Tabla 6-97). La comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que existen diferencias significativas (KW=52,99, g.I=12, p<0,0001, Anexo XV). El actual periodo de monitoreo varió respecto a los periodos 2006-2007-2008-2017 y 2018. El año 2019, presentó valores de abundancia menores que los periodos 2006-2007 y 2008, mientras que respecto a los años 2017 y 2018 presentó abundancias mayores (Figura 6-109). Sin embargo, al igual que lo ocurrido con los otros sectores evaluados, los valores de abundancia detectados durante la actual campaña de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico detectado para este parámetro en el sector Aguas de Quelana.



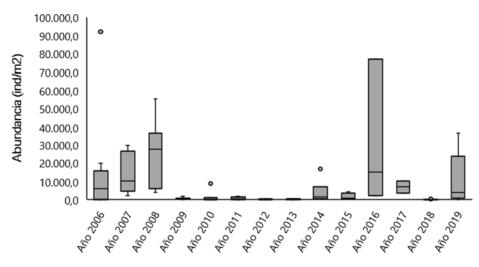


Tabla 6-97. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del zoobentos registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

	Abundancia	a zoobentos (	ınd/m²). Aguas	de Quelana
_				

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	10	0,0	92.045,0	15.176,7	6.060,5	27.881,7	183,7
Año 2007	10	2.020,2	29.545,5	13.686,9	10.101,0	10.874,4	79,5
Año 2008	9	3.914,1	55.303,0	23.302,5	27.399,0	18.315,2	78,6
Año 2009	10	0,0	1.791,0	572,6	335,0	645,4	112,7
Año 2010	10	0,0	8.573,0	1.147,5	0,0	2.649,4	230,9
Año 2011	8	0,0	7.102,5	1.334,9	371,1	2.408,9	180,5
Año 2012	5	0,0	385,7	102,9	18,8	164,5	159,8
Año 2013	6	55,1	495,9	248,0	192,9	186,9	75,4
Año 2014	6	220,4	16.804,4	4.003,7	1.460,1	6.390,6	159,6
Año 2015	4	165,3	4.132,2	1.418,7	688,7	1.829,2	128,9
Año 2016	3	2.020,0	77.013,0	31.310,2	14.897,5	40.100,1	128,1
Año 2017	2	3.535,0	10.100,0	6.817,5	6.817,5	4.642,2	68,1
Año 2018	7	2,8	227,3	85,6	69,4	69,5	81,2
Año 2019	9	0,0	36500,0	12500,0	3750,0	13607,4	108,9

Figura 6-109. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Abundancia total del zoobentos medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*)La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





Finalmente, el rango histórico de valores de abundancia total de individuos zoobentónicos determinado en el sector de Peine durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019) varió entre 0 y 60.480 ind/m2, también, los coeficientes de variación indican mayor variabilidad en los datos y una marcada heterogeneidad interanual en los valores de abundancia en este sector (Tabla 6-98). En relación a la comparación interanual, se presentaron diferencias significativas entre el actual periodo con algunos de los periodos de monitoreo (KW=42,45, g.l=13, p<0,0001, Anexo XV). Los valores de abundancia medidos en el periodo de monitoreo 2019 variaron respecto a los años 2008-2016 y 2017. Los valores de abundancia total del año 2019 fueron menores que los registrados en los periodos anteriores mencionados (Figura 6-110). Cabe señalar que los valores de abundancia obtenidos durante el periodo 2019 se encuentran dentro del rango histórico de valores de abundancia total determinados para este sector del salar de Atacama.

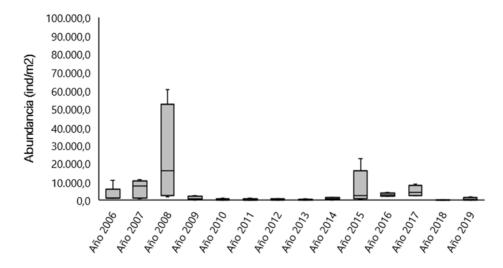
Tabla 6-98. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Abundancia total del zoobentos (ind/m²) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	1.010,0	10.859,0	3.067,6	1.141,0	4.356,0	142,0
Año 2007	5	757,6	11.111,1	6.111,1	7.575,8	4.718,9	77,2
Año 2008	4	1.893,9	60.479,8	23.674,2	16.161,6	27.336,9	115,5
Año 2009	5	0,0	2.449,0	1012,8	716,0	950,6	93,9
Año 2010	5	19,0	961,0	405,6	326,0	419,0	103,3
Año 2011	5	0,0	1.077,0	331,4	15,0	479,1	144,6
Año 2012	5	0,0	716,3	308,6	165,3	308,3	99,9
Año 2013	5	55,1	551,0	286,5	275,5	180,2	62,9
Año 2014	5	110,2	1.487,6	727,3	551,0	620,2	85,3
Año 2015	5	385,7	22.754,8	7.085,4	2.259,0	9.392,8	132,6
Año 2016	4	2.020,0	4.293,0	2.903,9	2.651,3	978,2	33,7
Año 2017	4	2.272,5	8.585,0	4.734,4	4.040,0	2.968,9	62,7
Año 2018	4	44,4	116,7	68,7	56,8	33,8	49,2
Año 2019	4	0,0	1875,0	562,5	187,5	892,7	158,7

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6-110. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Abundancia total de zoobentos medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

## Riqueza

Respecto a la riqueza del zoobentos, para el sector de Puilar, los valores históricos de riqueza taxonómica medidos durante todo el periodo de monitoreo variaron entre 0 y 6 taxa (Tabla 6-99). Además, los distintos coeficientes de variación y las desviaciones estándar determinadas en los distintos periodos de monitoreo indican una leve heterogeneidad en los datos, indicando a su vez que existe una baja variabilidad interanual en los niveles de riqueza taxonómica registrados en el sector. En complemento, la comparación estadística interanual entre los distintos periodos de estudio en el sector de Puilar indican que no existe diferencias significativas en los valores de riqueza medidos en el sector de Puilar (KW=18,36, g.I=13, p= 0,1187, Anexo XV), (Figura 6-111). Es importante indicar que los niveles de riqueza determinados en el actual periodo 2019 se encuentran dentro del rango histórico de valores determinados para este sector.

Tabla 6-99. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del zoobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

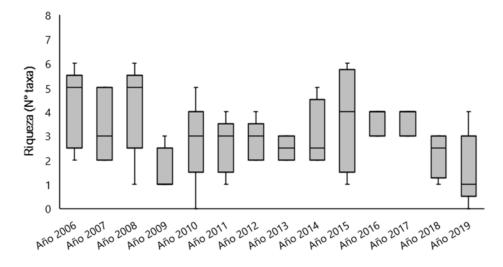
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	2	6	4	5	1,6	39,1
Año 2007	5	2	5	3	3	1,5	44,6
Año 2008	5	1	6	4	5	1,9	45,8
Año 2009	5	1	3	2	1	0,9	55,9
Año 2010	5	0	5	3	3	1,8	63,9
Año 2011	5	1	4	3	3	1,1	43,9
Año 2012	5	2	4	3	3	0,8	29,9
Año 2013	2	2	3	3	3	0,7	28,3



Tabla 6-99. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del zoobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Puilar.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2014	4	2	5	3	3	1,4	47,1
Año 2015	4	1	6	4	4	2,2	59,1
Año 2016	3	3	4	4	4	0,6	15,7
Año 2017	5	3	4	4	4	0,5	15,2
Año 2018	4	1	3	2	3	1,0	42,6
Año 2019	5	0	4	2	1	1,5	94,8

Figura 6-111. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del zoobentos medidos en el sector de Puilar. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

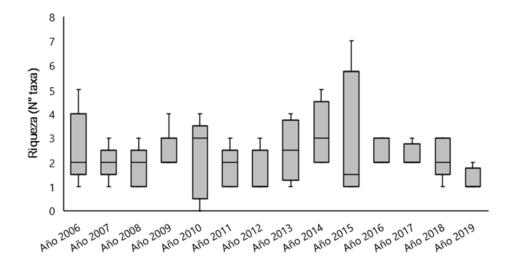
En cuanto al sector de Soncor, los valores históricos de riqueza específica han variado entre 0 y 7 taxa y al igual que en el sector de Puilar, los distintos coeficientes de variación y desviaciones estándar indican una muy leve heterogeneidad en los datos y una baja variabilidad interanual en los niveles de riqueza taxonómica (Tabla 6-100). Por consiguiente, la comparación entre los distintos periodos de estudio en el sector de Soncor indican que no existen diferencias significativas en los valores de riqueza medidos en el lugar a través del tiempo (KW=10,63, g.l=13, p= 0,5495, Anexo XV) (Figura 6-112). Además, todos los valores de riqueza determinados en el actual periodo 2019 se encuentran dentro del rango histórico de valores determinados para este sector.



Tabla 6-100. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del zoobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Soncor.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	1	5	3	2	1,5	58,3
Año 2007	5	1	3	2	2	0,7	35,4
Año 2008	5	1	3	2	2	0,8	46,5
Año 2009	5	2	4	2	2	0,9	37,3
Año 2010	5	0	4	2	3	1,6	74,7
Año 2011	5	1	3	2	2	0,8	46,5
Año 2012	5	1	3	2	1	0,9	55,9
Año 2013	4	1	4	3	3	1,3	51,6
Año 2014	5	2	5	3	3	1,3	40,7
Año 2015	4	1	7	3	2	2,9	104,4
Año 2016	3	2	3	2	2	0,6	24,7
Año 2017	4	2	3	2	2	0,5	22,2
Año 2018	5	1	3	2	2	0,8	38,0
Año 2019	4	1	2	1	1	0,5	40,0

Figura 6-112. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del zoobentos medidos en el sector de Soncor. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.





Por otro lado, en el sector Aguas de Quelana el rango histórico de los valores de riqueza taxonómica han variado entre 0 y 8 taxa, siendo este uno de los sectores sector que presentó la mayor riqueza taxonómica históricamente, de igual manera que lo encontrado en los sectores de Puilar y Soncor, los distintos coeficientes de variación indican baja heterogeneidad en los datos, y una escasa variabilidad interanual en los niveles de riqueza especifica determinados en el sector (Tabla 6-101). En complemento a esto, la comparación estadística entre los distintos periodos de estudio en el sector de Aguas de Quelana indican que no existen diferencias significativas (KW=15,02, g.I=12, p= 0,274, Anexo XV) (Figura 6-113). Además, y de igual manera que lo evidenciado en los otros sectores del Salar de Atacama, todos los valores de riqueza determinados en el actual periodo 2019, se encuentran dentro del rango histórico de valores determinados para este sector.

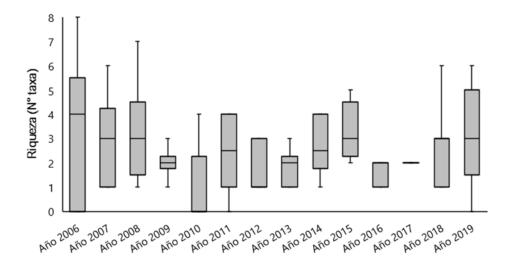
Tabla 6-101. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del zoobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Aguas de Quelana.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	10	0	8	4	4	2,8	81,1
Año 2007	10	1	6	3	3	1,8	60,9
Año 2008	9	1	7	3	3	2,0	63,2
Año 2009	10	0	3	2	2	0,9	46,1
Año 2010	10	0	4	1	0	1,5	138,5
Año 2011	8	0	4	2	3	1,6	67,3
Año 2012	3	1	3	2	1	1,2	69,3
Año 2013	6	1	3	2	2	0,8	41,1
Año 2014	6	1	4	3	3	1,2	45,4
Año 2015	4	2	5	3	3	1,3	38,7
Año 2016	3	1	2	2	2	0,6	34,6
Año 2017	2	2	2	2	2	0,0	0,0
Año 2018	7	1	6	3	3	1,7	62,8
Año 2019	9	0	6	3	3	2,0	65,2

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6-113. Representación gráfica de la variación interanual de los valores Riqueza total del zoobentos medidos en el sector de Aguas de Quelana. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

La riqueza de taxa histórica medida en el sector de Peine durante todo el periodo de monitoreo (años 2006-2019) varió entre 0 y 8 taxa, y con conjunto con el sector de Aguas de Quelana, este sitio presentó la mayor riqueza taxonómica históricamente. Además, los coeficientes de variación indican baja variabilidad en los datos y una baja heterogeneidad interanual respecto a este parámetro (Tabla 6-102). En relación a la comparación interanual, no se presentaron diferencias significativas entre los valores de riqueza determinados en el actual periodo respecto al resto de los periodos evaluados (KW=17,84, g.l=13, p=0,1193, Anexo XV). Para el periodo de monitoreo 2019 en el sector de Peine los valores de riqueza medidos fueron menores que los periodos estudiados (Figura 6-114).

Tabla 6-102. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del zoobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

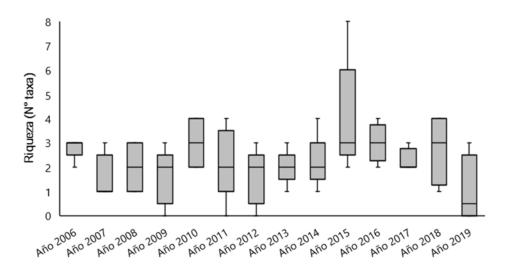
Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2006	5	2	3	3	3	0,4	16,0
Año 2007	5	1	3	2	1	0,9	55,9
Año 2008	4	1	3	2	2	1,2	57,7
Año 2009	5	0	3	2	2	1,1	71,3
Año 2010	5	2	4	3	3	1,0	33,3
Año 2011	5	0	4	2	2	1,5	67,4
Año 2012	5	0	3	2	2	1,1	71,3
Año 2013	5	1	3	2	2	0,7	35,4
Año 2014	5	1	4	2	2	1,1	49,8
Año 2015	5	2	8	4	3	2,3	58,6



Tabla 6-102. Estadígrafos de la variación interanual de los valores de Riqueza total del zoobentos (S, N° taxa) registradas entre los años 2006 - 2019 en el sector de Peine.

Periodo	Numero de datos (N)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Coef. De var.
Año 2016	4	2	4	3	3	0,8	27,2
Año 2017	4	2	3	2	2	0,5	22,2
Año 2018	4	1	4	3	3	1,5	54,5
Año 2019	4	0	3	1	1	1,4	141,4

Figura 6-114. Representación gráfica de la variación interanual de los valores de Riqueza total de zoobentos medidos en el sector de Peine. Campañas 2006 – 2019.



Fuente: Elaboración propia. (\*) La mediana está representada por la línea horizontal en la caja, los extremos de la caja muestran los interquartiles y los extremos de las líneas verticales muestran el valor mínimo y máximo.

## 6.7.2.7 <u>Consideraciones</u>

Cabe agregar que las comparaciones interanuales entre los distintos periodos de monitoreo para la mayoría de las variables evidenciaron diferencias significativas en sus niveles de concentraciones, abundancias y riquezas, sin embargo, dichas diferencias no han presentado un patrón establecido y responden más bien a diversos factores, tales como momento y hora del muestreo. Además, si bien se detectaron diferencias tanto de aumento o disminución de algunas variables respecto a la data histórica, todos los valores determinados en el medio biótico se encuentran dentro de los rangos históricos medidos en todos los sectores. La excepción se detectó con las abundancias de las microalgas bentónicas donde es importante señalar que durante la actual campaña de monitoreo se detectó la presencia de blooms algales (proliferaciones masivas) los cuales posiblemente podrían estar asociados al aumento de los nutrientes en los sistemas estudiados.





# 7 CONCLUSIONES

# 7.1 Monitoreo de la vegetación del Borde Este mediante imágenes satelitales

Los resultados obtenidos en 2019 indican que la superficie cubierta con vegetación en el área de estudio alcanza 17.495,67 ha, lo que representa un aumento de 2.649,47 ha con respecto al periodo anterior (2018) y representa a la máxima histórica a la fecha.

Este aumento de la superficie con vegetación se produce principalmente por la aparición de la pradera de *Cistanthe sp.* (Lukupa), un tipo vegetacional inédito a la fecha y cuya expresión se encontraría relacionada con las intensas precipitaciones ocurridas en el periodo 2019.

El matorral de *Tessaria absinthioides* (Brea) (184,5 ha), y la pradera de *J. balticus – S. americanus – B. juncea* (Junquillo – Totora - Suncho) (168,35 ha) también presentaron aumentos en superficie con respecto al periodo anterior.

Por otra parte, al comparar los resultados con los reportados el año 2018, se observa una disminución en la superficie de los tipos vegetacionales del matorral de *A. atacamensis – A. imbricata* (Cachiyuyo - Ojalar) (4,88 ha), matorral de *A. deserticola – E. multiflora* (Rica rica-Pingo pingo) (40,22 ha), el matorral de *T. atacamensis* (Káuchal) (160,11 ha) y la pradera de *D. spicata* (37,8 ha), tal como se presenta en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1: Superficie de los tipos vegetales presentes en el Borde Este del Salar de Atacama. Campañas 2018-2019.

	Tipo vegetacional (ha)							
Año de monitoreo	Matorral de Brea	Matorral de Cachiyuyo – Ojalar	Matorral de Rica rica – Pingo pingo	Matorral De Káuchal	Pradera de Grama salada	Pajonal de Junquillo - Totora - Suncho	Pradera de Lukupa	TOTAL (ha)
2018	7.849,0	2.074,0	587,9	811,8	2.235,4	1.288,1	-	14.846,2
2019	8.033,51	2.069,12	547,68	651,7	2.197,58	1.456,45	2.539,64	17.495,67
Disminución	-	4.88	40.22	160,11	37,8	-		243,03
Aumento	184,51	-	-			168,35	2.539,64	2.892,47

Fuente: Elaboración propia.

Al compararse las observaciones de vitalidad en terreno para la construcción del <u>mapa del Borde Este</u> de abril 2019 con la temporada anterior, se evidencia:

- Aumento en la categoría de vitalidad normal (del 20,2%) y disminuciones en las categorías débil y muy débil, con decrecimientos de 18,3% y 4,1% respectivamente. Al igual que en la campaña anterior, no se reportan descripciones en la categoría vigoroso.
- Disminución del 12,1% de las observaciones en la categoría entre 25-50% y aumento 8,1 y 12,1% en las categorías 5-25% y 75-100%, respectivamente.

En vista que la vegetación del salar de Atacama evidenció la superficie máxima en esta temporada y la superficie de los objetos de protección se encuentra dentro de los márgenes históricos, se puede afirmar que no se observan efectos del proyecto sobre la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.





# 7.2 Monitoreo de vegetación en Zona de Conexión vegetaciónacuífero

Las muestras de vitalidad en terreno de la <u>Zona de Conexión vegetación-acuífero</u>, correspondientes a sectores cubiertos por matorral de *Tessaria absinthioides* (brea) obtenidos en enero y abril de 2019 se evidenció lo siguiente:

- En la campaña 2019, los matorrales de brea evidenciaron sólo dos categorías de vitalidad: Débil y Normal. Al igual que en la campaña anterior (2018), en abril 2019 se aprecia una mayor proporción de ejemplares en vitalidad normal al compararlo con el mes de enero (68,4%).
- Según la información histórica, la mayor expresión de copa viva se observa en el mes de enero, observándose en algunos periodos muestras entre 75-100%. Sin embargo, la campaña 2019 puede considerarse una excepción a la regla, al observarse una mayor expresión de la copa viva en abril, al evidenciarse una mayor proporción de muestras en la categoría 50-75% con respecto al mes de enero.
- Históricamente, en el mes de enero se observa una mayor proporción de muestras en etapa de floración, para luego pasar a la etapa de fructificación en el mes de abril. No obstante, para el mes de abril se identificó que un 21,1% de las muestras se encontraban en etapa de floración, lo que indicaría una extensión temporal de la etapa de floración, condición que sólo se había observado en la campaña anterior (2018).

Basado en lo anteriormente expuesto, la vegetación en la zona de conexión con el acuífero se encuentra dentro de los rangos observados, verificándose que no existen efecto del proyecto sobre esta componente.

# 7.3 Monitoreo de Algarrobos en el pozo Camar-2

De los 71 algarrobos ubicados en el área del pozo Camar 2, se identificaron 59 ejemplares en pie y en condiciones para los análisis del periodo 2019. Los 12 individuos restantes, han sido identificados como desprendidos y registrados como desaparecidos, situación que se ha producido principalmente por las escorrentías provenientes de la quebrada Camar en épocas estivales. El periodo 2019 es el caso más significativo a la fecha, en vista que precipitaron 212 mm, causando el desprendimiento de 8 ejemplares de algarrobos.

De los ejemplares en pie, se identificó que el 40,68% de los individuos presentaron crecimiento normal y 49,15% (29 ejemplares) se encontraron secos<sup>21</sup>, sin evidencia de copa viva ni estructuras reproductivas.

Este aumento en el tiempo de los ejemplares secos estaría explicado principalmente por una modificación natural de la red de drenaje en el 2008, 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 los que han evidenciado mayor detrimento de la vitalidad y la disminución del % de copa viva.

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> Cabe destacar la importancia de excluir los ejemplares desprendidos de los análisis, ya que estos tienden a sobrestimar la categoría "Seco", por lo tanto, no reflejan la realidad de la población estudiada.



## 7.4 Flora

La flora vascular del Borde Este del Salar de Atacama se emplaza en un área con un marcado déficit hídrico, caracterizado por la incidencia episódica de precipitaciones, que suelen desarrollarse únicamente durante el verano austral (diciembre-marzo), producto del fenómeno denominado como invierno altiplánico. En ocasiones puntuales puede variar el régimen pluviométrico, permitiendo entre otras cosas, el desarrollo de plantas.

Durante la actual campaña de monitoreo 2019, se registró el máximo número de especies en los transectos de flora desde que se implementó el Plan de Seguimiento, registrando una riqueza de 35 taxas, de las cuales, 20 taxa se identificaron dentro de los puntos de monitoreo y 15 taxa fuera de los puntos de monitoreo. Cabe mencionar que el número y las especies dominantes de la franja de vegetación del Borde Este del Salar, se han mantenido estables en el tiempo.

Aparentemente, el aumento en la riqueza y la abundancia de especie en esta temporada (2019) estaría directamente relacionado con la intensidad de las lluvias estivales, precipitando un total de 212 mm, lo que representa el máximo de la década. Esta relación se ha observado en el último tiempo, donde a mayor precipitación se observa un aumento en el número de especies observadas, así como de individuos registrados por transecto.

De las 375 parcelas establecidas en los 7 transectos de flora, se observa un aumento en el número total de especies registradas en los puntos de monitoreo en comparación con el año anterior (2018). Este aumento se da en 6 de los 7 transectos, en los que se destaca la presencia de hierbas anuales, tales como *Cistanthe salsoloides, Exodeconus integrifolius y Nitrophila atacamensis*; hierbas perennes como la *Festuca hypsophila*, y subarbustos como *Tiquilia atacamensis*. Respecto del rango histórico, se observaron cuatro transectos que registraron el máximo histórico de taxa en sus puntos de muestreo en el periodo 2019, específicamente en los Transecto 1, 2, 4 y 5.

De acuerdo a lo comprometido en el Programa de Cumplimiento de SQM, en su Acción 24 se estableció el análisis de riqueza y abundancia de flora de acuerdo con el Protocolo para el análisis de tendencias de variables ambientales (Anexo XVIII). La implementación de este protocolo indicó que, los registros de abundancia y riqueza florística en cada transecto se encuentran dentro de los rangos históricos.

Por su parte, la evaluación del pH y salinidad, medida como Conductividad eléctrica del suelo, realizada con la finalidad de detectar cambios a nivel de sustrato en cada transecto y relacionarlos con las mediciones efectuadas sobre la flora detectó lo siguiente:

- Los suelos en el actual monitoreo presentaron un pH que varió entre ligeramente ácido a muy fuertemente alcalino (pH > 9,0).
- De las 70 de las 75 muestras analizadas por laboratorio el Agroanálisis UC (93,3% del total), se distribuyeron dentro los rangos observados para el pH durante los años anteriores.
- Mientras que, la conductividad eléctrica presenta valores ligeramente salinos (1,71 3,16 dS/m) hasta fuertemente salino (>6,07 dS/m), con variaciones puntuales que serían producto de las condiciones del micrositio, ya que se dan en muestras específicas y no en transectos completos.
- La conductividad eléctrica del sustrato se mantuvo dentro de los rangos mínimos y máximos históricos en 67 muestras, equivalentes al 88% del total analizado.

Por otra parte, el Protocolo para el análisis de tendencias de variables ambientales (Anexo XVIII), aplicado en el análisis del comportamiento histórico de las variables microambientales del suelo (pH y Salinidad), determinó que:





- El analisis del pH con muestras normalizadas indica que el monitoreo actual, indica que no difiere de la serie histórica y sólo tres muestras continuaron con tendencia a la baja en el monitoreo actual (2019), pero siempre manteniéndose en las categorías de pH alcalinas, las que se consideran normales para un salar (Luzio, 2010).
- El Protocolo de tendencias aplicado sobre la conductividad eléctrica con muestras normalizadas, determinó que el monitoreo actual no difiere de la serie histórica y sólo el 0,02% de las muestras presenta una tendencia significativa.
- De esta manera, se descartó un efecto sostenido en el tiempo y se verifica que las diferencias observadas entre mediciones 2006-2011 y 2012-2019 se produjeron por la estandarización de las condiciones de medición, al enviarse a un laboratorio especializado desde el 2012.

De acuerdo con lo observado, el pH y salinidad (conductividad eléctrica) no parecen tener una relación estrecha con la riqueza y frecuencia de la flora vascular, dado que las especies presentes en el Borde Este del Salar de Atacama se encuentran adaptadas a las condiciones de extrema salinidad y los resultados de ese monitoreo sugieren que la vegetación está ligada principalmente a la disponibilidad hídrica en cada sitio.

De acuerdo con lo indicado anteriormente, y en vista que en la campaña actual se registró la máxima expresión de la riqueza y frecuencia de la flora vascular, lo que se encuentra dentro de las condiciones normales del sistema, es que se puede afirmar que no se verifican efectos del Proyecto sobre la flora vascular.

# 7.5 Fauna

Debido a la imposibilidad de realizar la prospección de fauna en todos los sectores comprometidos durante el mes de abril del presente año, el desarrollo de las actividades durante el mes de junio, particularmente en el sector de Aguas de Quelana, podría generar una subestimación de la riqueza y abundancia de ciertas especies, particularmente de aves. Si bien, en Aguas de Quelana no hay cuerpos de agua permanentes, es una zona de alimentación de especies de flamencos y otras aves. Las distintas especies de aves migradoras presentes en la Reserva Nacional los Flamencos, comienzan sus procesos de tránsito hacia el hemisferio norte al acercarse el invierno austral, por lo que, el desarrollo del monitoreo durante fechas donde las temperaturas medias son más bajas puede generar un sesgo en la información recopilada debido al abandono del sector por parte de dichas especies. Así mismo, en el caso de especies residentes, es probable que exista una reducción en la actividad por parte de los ejemplares, lo que podría reflejarse en registros de abundancia menor a lo esperado en meses más cálidos, en particular para especies altamente dependientes de las condiciones ambientales (i.e. reptiles).

Los resultados de la campaña 2019, realizada en los meses de abril y junio, se registraron 24 especies de vertebrados terrestres, donde 2 fueron reptiles, 17 aves y 5 corresponden a mamíferos. No se observaron anfibios en el área de estudio.

De las especies registradas durante la presente campaña, no se incorporan especies nuevas, manteniendo así las 71 especies registradas hasta el 2018.

De las dos especies de reptiles registradas en la temporada 2019, *Liolaemus constanzae* fue la más abundante. Por su parte, *Liolaemus fabiani*, contó con una abundancia de 0,8 ind/transecto, siendo detectada en simpatria con *L. constanzae*.





Corroborando esta tendencia, los datos de monitoreos previos muestran el predominio de las especies *L. constanzae* y *L. fabiani* en la zona de estudio. Estas muestran una marcada diferenciación en cuando a sus preferencias de hábitat: *L. constanzae* es la especie dominante en ambientes con vegetación y baja humedad (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 de Salar, Marginal de Salar y Pajonal). La variación de la abundancia a lo largo del monitoreo se ha mantenido dentro de rangos normales, no mostrando evidencias de una tendencia hacia la disminución del número de individuos.

En el monitoreo 2019, en ambientes terrestres se avistaron ejemplares pertenecientes a 10 especies de aves acuáticas y terrestres. Similar a lo observado en campañas previas, existiendo un bajo registro de ejemplares en estos sectores, destacando el paso de una bandada de flamencos (*Phoenicoparrus jamesi*) en el sector de Vegas de Carvajal (hábitat Marginal de Salar). Considerando los catorce años de seguimiento, las especies con mayor abundancia corresponden a la tortolita de la puna (*Metriopelia aymara*), que se distribuyen en todos los sectores de estudio, y el chorlo de la puna (*Charadrius alticola*), asociado principalmente a ambientes con cuerpos de agua cercanos, como los de Salar o Marginal de Salar. La variación histórica de la abundancia de las aves en los ambientes terrestres prospectados a lo largo del monitoreo se ha mantenido dentro de rangos normales, no mostrando evidencias de una tendencia hacia la disminución en el número de individuos.

En el monitoreo 2019, en ambientes acuáticos se avistaron 3.093 individuos de aves, los que pertenecen a nueve especies. Al igual que en los monitoreos anteriores las especies dominantes fueron las tres especies de flamencos (*Phoenicopterus chilensis*, *Phoenicoparrus andinus* y *Phoenicoparrus jamesi*), así como especies acompañantes como el caití (*Recurvirostra andina*) y el chorlo de la puna (*Charadrius alticola*), todas especies asociadas a ambientes acuáticos.

El análisis de los datos de abundancia, considerando los tres sectores, indica que el número de flamencos censados en la temporada 2019, muestra una recuperación respecto al año anterior (2018). Sin embargo, estos resultados pueden dar cuenta de variaciones cíclicas normales dentro de la dinámica poblacional que muestran estas especies, como ya ha sido reportado en la literatura. Este patrón es explicado por eventos de dispersión que son determinados por las condiciones bióticas y abióticas de los sitios reproductivos y de hibernación. Siguiendo la proyección de esta dinámica fluctuante, se espera que en los próximos monitoreos comience un ciclo de recuperación en la abundancia, principalmente para las dos especies que muestran la mayor reducción de individuos: la parina grande (*P. andinus*) y la parina chica (*P. jamesi*).

Los resultados de los datos históricos de abundancia de los flamencos en cada sector muestran diferentes escenarios. El Sistema Lacustre de Soncor muestra la mayor abundancia de pollos de flamenco y de parina grande (*P. andinus*), indicando que las lagunas del sector son un sitio reproductivo importante, particularmente para esta especie. Por su parte, en el Sistema de Aguas de Quelana, el número de pollos registrados ha sido históricamente bajo, por lo que es probable que estos cuerpos de agua no presenten las características adecuadas para la reproducción masiva de estas aves. Finalmente, en el Sistema de Peine, se observa una tendencia a la disminución de ejemplares de flamencos. Esta tendencia negativa debe ser evaluada en función de los resultados obtenidos en los futuros monitoreos.

Respecto a las restantes aves registradas en ambientes acuáticos, el análisis por sector indica que, tanto en el Sistema Soncor como en el de Peine, la variación de la abundancia se ha mantenido dentro de los niveles observados a lo largo del monitoreo. Sin embargo, durante la presente campaña se detectó una disminución en el sector de Peine. Por su parte, en el Sistema de Aguas de Quelana, se ha observado una tendencia a la disminución del número de individuos, que podría estar relacionadas con las variaciones en





las superficies de los cuerpos de agua que muestran este sector. Esta tendencia debe ser evaluada en función de los resultados obtenidos en los futuros monitoreos.

En cuanto a los mamíferos, durante la campaña 2019, se capturaron tres especies de roedores y se obtuvo evidencia indirecta de la presencia de tuco tuco (*C. fulvus*) Según los registros históricos, la especie más abundante durante los catorce años de seguimiento es el ratón de pie sedoso (*E. puerulus*), seguido por la lauchita andina (*A. andinus*), mostrando una clara partición del hábitat. El ratón de pie sedoso es la especie dominante en el ambiente de Rica rica-Pingo pingo, mientras que la lauchita andina concentra el mayor número de individuos en el ambiente de Pajonal. El análisis de los datos históricos indica que las variaciones en la abundancia de los micromamíferos se han mantenido dentro de las variaciones obtenidas a lo largo del monitoreo, con aumentos explosivos en el número de individuos, característicos en los roedores, en particular después de periodos de mayores precipitaciones, donde existe un incremento en los recursos.

Por su parte, la presencia de *Pseudalopex sp* se ha verificado a lo largo de todo el monitoreo, en los dos sectores y ambientes prospectados (evidencia directa), y en prácticamente toda el área de estudio (evidencia indirecta), lo que da cuenta de la alta movilidad de esta especie generalista, que ocupa en forma extensa el borde Este del Salar de Atacama.

# 7.6 Biota Acuática

#### 7.6.1 Medio Abiótico

Todos los sectores prospectados presentaron características típicas de los humedales altoandinos de la zona norte de Chile, con características de sistemas cerrados con una baja a nula escorrentía de sus aguas y correspondientes a lagunas hipersalinas con sustratos formados principalmente limo. Los sistemas muestreados en general presentaron buena calidad de sus aguas, y la presencia de comunidades acuáticas acordes a las características físicas y químicas de este tipo de ecosistemas acuáticos.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos de importancia limnológica de la columna de agua y del sedimento determinados en la actual campaña de monitoreo (abril 2019) se puede indicar que la temperatura registrada de manera puntual mostró diferencias entre los distintos sistemas muestreados, arrojando una mayor homogeneidad de los valores de Temperatura en el sector de Soncor mientras que en los Sectores de Aguas de Quelana, Peine y Puilar existe una mayor variación y mayor heterogeneidad de los valores de Temperatura en las estaciones de muestreo. Los menores valores de temperatura se registraron en Puilar.

Para el parámetro pH medido en la campaña de abril de 2019, se determinó una baja variabilidad en los valores medidos en cada sistema hidrológico y no se detectaron variaciones significativas en los valores de pH medidos en los distintos sectores del área de estudio indicando homogeneidad en el área de estudio en términos de este parámetro con valores que variaron entre aguas ligeramente acidad a ligeramente básicas. La Conductividad mostró no existen diferencias significativas entre los sectores del Salar de Atacama a diferencia de la Salinidad que indicó diferencias significativas entre el sector de Puilar respecto a Soncor.

En cuanto al parámetro Oxígeno disuelto se determinó que existe poca variabilidad de la concentración de oxígeno en los sectores de Soncor y Peine, mientras que en el sector de Puilar existe una mayor variación. Además, se detectaron diferencias de los valores de Oxígeno disuelto entre los distintos sistemas hidrológicos, principalmente entre el sector de Puilar respecto de los sectores de Soncor y Peine, ya que





presentaron los menores valores de concentración de Oxígeno disuelto. Esta alta variabilidad en la disponibilidad de oxígeno en la columna de agua entre los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio, lo que podría deberse y estar estrechamente relacionado con la hora de muestreo y con las salinidades de cada sector.

En comparación con los datos históricos, todos los sistemas muestreados presentaron en general condiciones de temperatura bastante variables y valores de pH que permiten la mantención y conservación de la Vida Acuática según la normativa nacional vigente. Históricamente y durante la actual campaña de monitoreo (abril de 2019) la mayor parte de los sitios monitoreados presentaron bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Sin embargo, cabe destacar y como se mencionó con anterioridad, una característica física y química fundamental del agua salina, y la cual tiene una estrecha relación con la conductividad, es la disminución en la capacidad de disolver el oxígeno, por lo que los cuerpos de agua salina en general presentan menores concentraciones de oxígeno disuelto que los cuerpos de agua dulce y por consiguiente, la biota presente en estos sistemas se encuentra adaptada a estas condiciones de hábitat, lo cual se ve evidenciado con la presencia de las comunidades de biota acuática en todos los sectores prospectados. Cabe indicar también que, en el caso de variables como temperatura superficial y oxígeno disuelto, las principales diferencias detectadas tanto en el actual periodo, como en las comparaciones interanuales estarían dadas principalmente por la condición y horario ambiental al momento del muestreo.

Por su parte los parámetros conductividad eléctrica de agua, sedimento, agua intersticial y Salinidad presentaron concentraciones que permiten indicar que en función de estos parámetros el recurso hídrico se cataloga como aguas no aptas para riego por sus características naturalmente hipersalinas. Sin embargo, estas elevadas conductividades y salinidades no tienen una implicancia directa en el desarrollo de la vida acuática, la cual se encuentra adaptada a dichas condiciones.

## 7.6.2 Medio Biótico

Respecto a la variable Clorofila-a durante la campaña de abril de 2019, la clorofila medida en la fracción planctónica muestra una alta variabilidad entre los valores medidos en cada sector de monitoreo indicando una heterogeneidad en el sistema respecto a la biomasa, dicha variabilidad se ha mantenido históricamente. Además, existen diferencias significativas en la productividad primaria en los distintos sistemas hidrológicos del área de estudio principalmente entre el sistema de Soncor respecto al resto de los sitios de muestreo ya que Soncor presentó los mayores valores de clorofila. Por otro lado, la clorofila-a medida en la fracción bentónica presento mayor variabilidad en los sectores de Soncor y Aguas de Quelana, los cuales presentaron valores de concentración de clorofila-a más altos respecto a los otros sitios, indicando que existe una mayor productividad en términos de biomasa bentónica respecto al resto del área de estudio probablemente asociado a la variabilidad presente en el sustrato que presenta este sector, dichas diferencias se han mantenido de manera histórica.

En términos del Fitobentos, Fitoplancton y del Zoobentos, durante el actual periodo (abril 2019) no existen diferencias en los niveles de Abundancia y Riqueza determinados entre los distintos sistemas y en general, existe una baja variabilidad de estos parámetros entre las estaciones de muestreo de cada sistema hidrológico del área de estudio, presentando una homogeneidad de estos parámetros en toda el área de estudio. Sin embargo, la comparación histórica señala diferencias significativas en todos los sectores estudiados tanto en la abundancia, como en la riqueza de estos componentes, cabe señalar que esta diferencia interanual podría verse explicada por la gran variabilidad y dinamismo que presentan los distintos sistemas estudiados que se ve reflejada por la gran heterogeneidad en los valores de los parámetros comunitarios.





Respecto al Zooplancton, durante la campaña de abril de 2019 se determinó que existe variabilidad espacial respecto a la Abundancia y Riqueza de este componente. La variabilidad de la abundancia se detectó principalmente por la mayor abundancia detectada en los sistemas hidrológicos de Puilar y Aguas de Quelana respecto a Peine. Cabe señalar que en general existe una baja variabilidad y escasa diferencia en los valores de Riqueza entre los sistemas de estudio que indican un ambiente homogéneo respecto a este parámetro sin embargo esta escasa variabilidad difiere significativamente, registrándose mayores valores de riqueza en Puilar y Aguas de Quelana respecto a Soncor y Peine.

Por su parte, la comparación histórica interanual de todos los parámetros comunitarios de Fitobentos, Fitoplancton, Zoobentos y Zooplancton, indica en su mayoría la existencia de diferencias significativas en todos los sectores estudiados, y como se mencionó, estas grandes diferencias interanuales podrían verse explicadas por la gran variabilidad y dinamismo que presentan los distintos sistemas estudiados en el tiempo, y que se ve reflejada por la gran heterogeneidad en los valores de los parámetros comunitarios que no responden a un patrón específico.

Finalmente, cabe indicar que las comparaciones interanuales entre los distintos periodos de monitoreo para la mayoría de las variables evidenciaron diferencias significativas en sus niveles de concentraciones, abundancias y riquezas, sin embargo, dichas diferencias no han presentado un patrón establecido y responden más bien a diversos factores, tales como momento y hora del muestreo. Además, si bien se detectaron diferencias tanto de aumento o disminución de algunas variables respecto a la data historia, todos los valores determinados en el medio abiótico y biótico se encuentran dentro de los rangos históricos medidos en todos los sectores. La excepción se detectó con las abundancias de las microalgas bentónicas donde es importante señalar que durante la actual campaña de monitoreo se detectó la presencia de Blooms algales (proliferaciones masivas) los cuales posiblemente podrían estar asociados al aumento de los nutrientes en los sistemas estudiados.

Finalmente, es de gran importancia señalar que la toma de datos y el muestreo completo efectuado de forma oportuna es un factor decisivo al momento de poder establecer patrones de comportamiento tanto del medio abiótico, como del medio biótico. Ambos componentes van estrechamente de la mano y es relevante que sean muestreados durante la misma época para así poder ser monitoreados y poder comparar con los datos históricos, de lo contrario las comparaciones podrían no reflejar la realidad de la situación, muchas veces sobrestimando o subestimando los resultados.





# 8 BIBLIOGRAFÍA

# 8.1 Vegetación, Flora y Algarrobos

Aguilar, N., Galindo, G.; Fortanelli, J. y Contreras, C (2010). Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina. 18 pp.

Alvarez JA & PE Villagra (2009). *Prosopis flexuosa* DC. (Fabaceae, Mimosoideae). Kurtziana (Argentina) 35(1): 49-63.

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.

Casanova et al, 2013

Chuvieco, E. (2002). Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Ediciones Ariel. 578p.

Cisneros, A.B.; Moglia, J.G. 2017. Prosopis alba, alternativa sustentable para zonas áridas y semiáridas. In: 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.

Gajardo R (1994) La vegetación natural de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 165 pp.

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. Nosetto, P. Villagra & R. Jackson. 2008. Isótopos estables como trazadores delas fuentes de agua de bosques de algarrobo en un desierto arenoso. XXI Congreso Argentino de Cienciasdel Suelo, Potrero de los Funes, San Luis.

Le Quesne, C. 2002. Agentes de daño en el bosque nativo. Capítulo 1: Bioecología del Bosque Nativo. Ediotorial Universitaria. 409 p.

Luebert, F. y Pliscoff, 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., .1983. O. Matthei, M. Quezada. 1983. Flora Arbórea de Chile. Ed. Universidad de Concepción. 407 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.

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

Trivelli, M.; Huerta, J. 2014. Alcances sobreflora y vegetación de la cordillera de los Andes, Región de Antofagasta. Primera Edición. Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero, Santiago, Chile. 319 pp.

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

Villagran, C. & V. Castro. 2004. Ciencia Indígena de Los Andes del Norte de Chile. Editorial Universitaria. 362 pp.

XTerrae, 2019. Informe "Estudio relación morfología y escorrentía superficial abanico quebrada Camar, sector tubería agua industrial".

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

## 8.2 Fauna Terrestre

Araya B. & G. Millie. 1998. Guía de campo de las aves de Chile. Octava edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 406 p.

Blanco, D. y M. Carbonell. 2001. El censo neotropical de aves acuáticas. Los primeros 10 años: 1990-1999. Wetlands International, Buenos Aires & Ducks Unlimited, Memphis, 96pp.

Bibby, C.J., N.D. Burgess y D.A. Hill. 1992. Bird census techniques. Academic Press, London.

Caziani, SM. y EJ. Derlindati, 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 JM. 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 CF y Ruiz J. 2016. Aves de Chile. Sus islas oceánicas y Península Antártica. Una guía de campo ilustrada. FS Editorial, Punta Arenas. 550pp.

Decreto Supremo N° 5/1998 Reglamento de Ley de Caza, Servicio Agrícola Ganadero.

Decreto Supremo Nº 75/2005 Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres.

Decreto Supremo Nº 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 Nº 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 Nº 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 Nº 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 Nº 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  $N^{\circ}$  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





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.

Gallardo OP y E. Rodríguez, 1992. Hábitos alimentarios y etología de flamencos en el Salar de Surire. Tesis de grado. Universidad Arturo Prat, 89 pp

Iriarte JA. 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.

Ley Nº 19.473 de Caza de 27.09.96 del Ministerio de Agricultura.

López-Lanús, B. y D. E. Blanco (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 G. González. 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-Pedreros A. 2008. Huellas y signos de mamíferos de Chile. Cea Ediciones.

Muñoz-Pedreros A. & JL. Yañez. 2000. Mamíferos de Chile. Ediciones CEA, Valdivia Chile. 464 pp.

Muñoz-Pedreros A., J. Rau, J. Yañez. 2004. Aves rapaces de Chile. Cea Ediciones.

Muñoz-Pedreros A., J. R. Rau, M. Valdebenito, V. Quintana & D. R. Martínez. 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. & F. Jaksic. 1992. Lista comentada de los reptiles terrestres de Chile continental. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 43: 63-91.

Osgood WH. 1943. The Mammals of Chile. Field Museum of Natural History. Zoological Series 30: 1-268.

Parada, M. 1990a. 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 H. Nuñez. 2005. Las especies chilenas del género Liolaemus Wiegmann 1843 (Iguania: Tropiduridae: Liolaeminae). Taxonomía, sistemática y evolución. Publicación ocasional, Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 59: 1-486.

Rau, J., C. Zuleta, A. Gantz, F. Sáiz, A. Cortés, L. Yates, A. Spotorno y E. Couve. 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 Zoología. 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, JP. 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., J. Fitzpatrick, T. Parker III, & D. Moskovits. 1997. Neotropical birds, ecology and conservation. The University of Chicago Press, Chicago, 478pp.

geográfica de anfibios y reptiles de Chile. Bollettino del Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino 6: 481-539.

Vidal M. & A. Labra. 2008. Herpetología de Chile. Science Verlag, Santiago.



## 8.3 Biota Acuática

AMAKAIK CONSULTORIA AMBIENTAL (2016). Manual para el monitoreo e identificación de la microalga bentónica Didymosphenia geminata. 2° Edición. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA). Valparaíso, Chile.

APHA-AWWA-WEF (2005) Standard methods for the examination of waters and wastewaters. 21th edition. Nueva York. Amer. Public Health Assoc. 1368 pp.

ARAYA J & L ZÚÑIGA (1985) Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. Boletín Informativo Limnológico (Chile) 8: 1-110.

CONTE, F. & M. GEDDES. 1988. Acid brine shrimp: metabolic strategies in osmotic and ionic adaptation. Hydrobiologia 158: 191–200.

DOMÍNGUEZ E & HR FERNÁNDEZ (Eds.) (2009) Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, 656 pp.

HAMMER, U. 1986. Saline lakes ecosystems of the world. Dr. W Junk Publishers, Dordrecht.

JARA C, RUDOLPH E & GONZÁLEZ E (2006) Estado de conocimiento de los crustáceos malacostracos dulceacuícolas de Chile. Gayana Zoología, 70,40-49.

KRAMMER K & LANGE-BERTALOT H (1986-1991) Bacillariophyceae 1. (1986); Bacillariophyceae 2 (1988); Bacillariophyceae 3 (1991); Bacillariophyceae 4 (1991). En: Ettl, H. et al., (Eds.), Süsswasserflora von Mitteleuropa, G. Fischer, Jena.

LANGE-BERTALOT H (2001) Diatoms of Europe. Naviculasensustricto 10 Genera Separated from Naviculasensulato. Frustulia. Lange Bertalot (Ed). 526 pp.

MERRIT R.W y K.W CUMMINS. 1996. An introduction to the Aquatic Insect of North America. Third Edition. Kendall / Hunt Publishing Company.862 pp.

PARRA O & CM BICUDO (1996) Algas de Aguas Continentales: Introducción a la Biología y Sistemática. Ediciones Universidad de Concepción. 268 pp.

PARRA O & M GONZÁLEZ (1976) Guía bibliográfica y distribución de las cianófitas de Chile (excluyendo el Continente Antártico). Gayana Bot. 32: 1-55.

PARRA O & M GONZÁLEZ (1977) Catálogo de las algas dulceacuícolas de Chile: Pyrrophyta, Chrysophyta Chrysophyta-Xantophyceae, Rhodophyta, Euglenophyta y Chlorophyta. Gayana Bot. 33: 1-102.

PARRA O, GONZALEZ M & V DELLAROSSA (1983) Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. Con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Chlorophyceae. ED. Universidad de Concepción.

PARRA O, GONZALEZ M, DELLAROSSA V, RIVERA P & M ORELLANA (1982a) Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. Con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Cyanophyceae. ED. Universidad de Concepción.

PARRA O, M GONZALEZ; V DELLAROSSA, P RIVERA & M ORELLANA (1982c) Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. Con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Crytophyceae-Dinophyceae-Euglenophyceae. ED. Universidad de Concepción





PARRA O, M GONZALEZ; V. DELLAROSSA, PRIVERA & M ORELLANA (1982b). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. Con especial referencia al fitoplancton de Chile. I. Chysophyceae-Xanthophyceae. ED. Universidad de Concepción.

PENNAK RW (1989) Freshwater invertebrates of the Unites States: Protozoa to Mollusca. John Wiley, New York. 628 pp.

RAMÍREZ C & C SAN MARTÍN (2005) "Diversidad de macrófitos chilenos". En: I. Vila, A. Veloso, R. Schlatter y C. Ramírez (eds.), Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, pp. 21-61.

RAMÍREZC, D CONTRERAS & J SAN MARTÍN (1986) "Distribución geográfica y formas de vida en hidrófitos chilenos". Actas VIII Congreso Nacional de Geografía, Publicación especial Instituto Geográfico Militar de Chile, 1: 103-110.

RIVERA P, F CRUCES & I VILA (2003) Cyclotella ocellata Pantocsek (Bacillariophyceae): Primera cita en Chile y comentarios sobre su variabilidad morfológica. Gayana Botanica 60: 123-131.

RIVERA P, M GEBAUER & HL BARRALES (1990) A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18°28'S and 58°S. Part II. Data from 1982 to 1988. Gayana Botanica 46: 155-198.

ROLDÁN G & RAMÍREZ J (2008) Fundamentos de limnología neotropical. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

ROLDÁN G (2003) Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

ROUND FE, CRAWFORD RM Y MANN DG (1996) The Diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 735 pp.

RUMRICH U, LANGE-BERTALOT H & M RUMRICH (2000) IconographiaDiatomologica 9. Diatomeen der Anden (von Venezuela bis Patagonien/ Tierra del Fuego). Lange Bertalot (Ed). 671 pp.

SHERWOOD, J. E., F. STAGNITTI, M. J. KOKKINN & W. D. WILLIAMS. 1992. A standard table for predicting equilibrium dissolved oxygen concentrations in salt lakes dominated by sodium chloride. Int. J. Salt Lake Res. 1: 1–6.

SIMONSEN R (1987) Atlas and Catalogue of the Diatom Types of FrederichHustedt, Vol 1, 2 y 3.J. Cramer, GerbrüderBorntraegerBerlin – Stuttgart.

VEGA M, DE LOS RÍOS P & A. MANSILLA (2010). Distribución del género Hyalella Smith, 1874 (Custacea: Amphipoda) en el sur de la patagonia y tierra del fuego. Anales Instituto Patagonia (Chile), 38(1):141-143.

WETZEL RG (2001) Limnology. Lake and River Ecosystems. Third Ed. Academic Press, San Diego. XVI, 1006 pp.

