



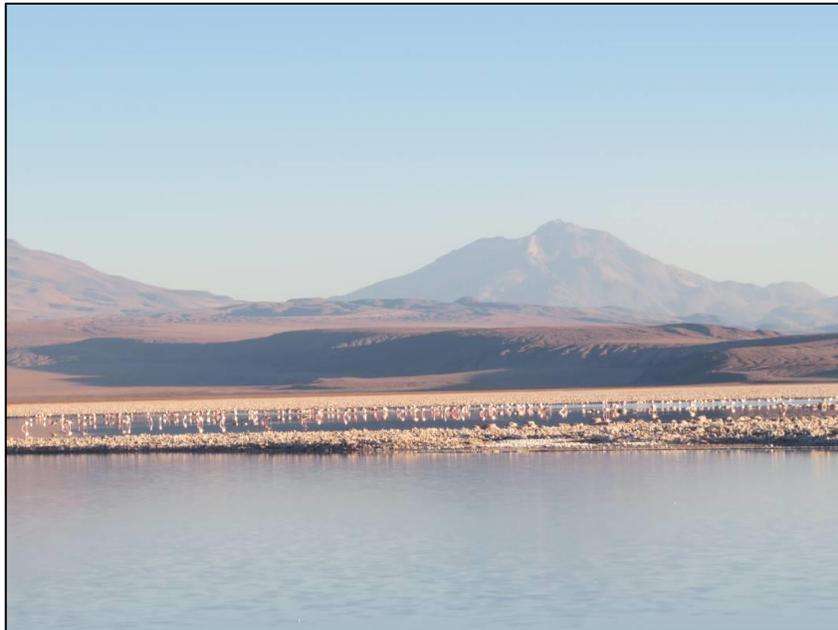
Plan de Manejo Biótico

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

(RCA N°21/2016)”

Monitoreo Invierno 2019 – Verano 2020

Informe Anual N°4



Región de Antofagasta

Septiembre de 2020

TABLA DE CONTENIDOS

1	RESUMEN	1
2	INTRODUCCION	17
3	OBJETIVO	31
4	ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME	31
5	FLORA Y VEGETACIÓN	33
5.1	MATERIALES Y MÉTODOS	35
5.1.1	COBERTURA Y VEGETACIÓN (COT).....	35
5.1.1.1	Descripción del área de estudio.....	35
5.1.1.2	Ubicación de puntos muestreo	38
5.1.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	40
5.1.1.4	Materiales y equipos utilizados	43
5.1.1.5	Metodología de muestreo.....	44
5.1.1.6	Metodología de cálculo y análisis	49
5.1.1.7	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro ...	52
5.1.2	FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS).....	53
5.1.2.1	Ubicación de puntos muestreo	53
5.1.2.2	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	64
5.1.2.3	Materiales y equipos utilizados	65
5.1.2.4	Metodología de muestreo.....	65
5.1.2.5	Metodología de cálculo y análisis	69
5.1.2.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro ...	71
5.1.3	DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL – MÉTODO DE IMÁGENES SATELITALES - NDVI.....	71
5.1.3.1	Descripción del área de estudio.....	71
5.1.3.2	Ubicación de sectores para la medición.....	72
5.1.3.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	74
5.1.3.4	Materiales y equipos utilizados	74
5.1.3.5	Metodología de cálculo y análisis	78
5.1.3.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro ...	79
5.2	RESULTADOS	85
5.2.1	RESULTADOS COBERTURA Y VEGETACION (COT).....	85
5.2.1.1	Resultados del muestreo campaña de invierno de 2019.....	85
5.2.2	RESULTADOS FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS).....	101
5.2.2.1	Resultados del muestreo de flora y vegetación, campaña de invierno de 2019	101

5.2.3	RESULTADOS DE DISTRIBUCION Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL - MÉTODO NDVI.....	118
5.2.4	Límites considerados en la evaluación de la flora y vegetación	121
6	FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES	121
7	TAPETES MICROBIANOS.....	122
8	SUELO O SUSTRATO	122
9	LIMNOLOGIA (BIOTA ACUATICA, CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS).....	122
10	AREA DE LAGUNAS	123
10.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	126
10.1.1	Descripción del área de estudio	126
10.1.2	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua.....	128
10.1.3	Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua	128
10.1.4	Materiales y equipos utilizados	130
10.1.5	Metodología de muestreo y/o medición	130
10.1.6	Metodología de análisis de las imágenes satelitales para delimitación de cuerpos de agua.....	130
10.1.6.1	Imágenes de alta resolución – Pleiades-1A	130
10.1.6.2	Imagen de resolución media – LANDSAT 8.....	134
10.1.6.3	Procesamiento de las imágenes satelitales	135
10.1.6.4	Descripción del Modelo de Clasificación Supervisada de cuerpos de agua	137
10.1.6.5	Parámetros espectrales del modelo de clasificación	138
10.1.6.6	Umbrales y validación del modelo de clasificación.....	140
10.1.6.7	Depuración cartográfica de cuerpos de agua.....	143
10.1.7	Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua.....	144
10.1.8	Fechas de medición	144
10.2	RESULTADOS	145
10.2.1	Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....	145
10.2.2	Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar.....	148
10.2.3	Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua	151
11	NIVEL FREATICO EN LAGUNAS.....	152
11.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	152
11.1.1	Área de Estudio.....	152
11.1.2	Ubicación de Puntos de Monitoreo.....	153

11.1.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables.....	155
11.1.4	Metodología de Muestreo, Medición y Análisis.....	155
11.1.5	Materiales y Equipos utilizados	156
11.1.6	Fechas de medición, muestro y/o análisis.	156
11.2	RESULTADOS	157
11.2.1	Resultados de los registros abril 2019 a marzo 2020.	157
11.2.2	Límites considerados en la evaluación	162
12	DISCUSIÓN	163
12.1	En relación con Flora y Vegetación	163
12.1.1	Análisis Vegetación (COT)	163
12.1.1.1	Comparación monitoreo invierno 2019 y verano 2020	163
12.1.1.2	Evolución entre monitoreo invierno 2016, 2017, 2018 y 2019	163
12.1.1.3	Evolución respecto a valores históricos	170
12.1.2	Análisis Flora y Vegetación (Transectas).....	171
12.1.2.1	Comparación entre invierno 2019 y verano 2020	172
12.1.2.2	Evolución entre invierno 2019 e inviernos 2016, 2017 y 2018	172
12.1.3	Distribución y cobertura de la vegetación azonal – Método de imágenes satelitales – NDVI.....	181
12.2	En relación con Área de Lagunas	187
12.2.1	Comparación de monitoreos con registros históricos de línea de base	187
12.2.1.1	La Punta y La Brava.....	188
12.2.1.2	Peine	195
12.3.1	Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua.....	201
12.4	En relación con Nivel Freático de Lagunas	203
12.4.1	Análisis comparativo invierno 2019 y verano 2020	203
12.4.2	Análisis comparativo con valores históricos.....	203
12.4.2.1	Nivel freático en Sector La Punta-La Brava.....	203
12.4.2.2	Nivel freático en Sector Peine.....	207
12.5	En relación con el Estado Ecológico del Sistema	211
12.5.1	Sistema La Punta – La Brava	213
12.5.1.1	Vegetación azonal.....	213
12.5.1.2	Superficie de Lagunas.....	240
12.5.1.3	Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava.....	247
12.5.2	Sistema Peine	250
12.5.2.1	Vegetación azonal.....	250
12.5.2.2	Superficie de Lagunas.....	269
12.5.2.3	Niveles Freáticos Sector Peine.....	274
13	CONCLUSIONES.	277
13.1	En relación con Flora y Vegetación	277
13.2	En relación con Área Lagunas	280

13.3 En relación con Nivel Freático en Lagunas	281
13.4 En relación con el Estado Ecológico del Sistema	284
14 REFERENCIAS	288
14.1 Flora y Vegetación	288
14.2 Área de las Lagunas	290
14.3 Nivel Freático en Lagunas	294
15 ANEXOS	294

FIGURAS

Figura N° 2-1. Delimitación de las Áreas de Estudio del Plan de Manejo Biótico	18
Figura N° 2-2. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Área Norte. Sector Soncor y Quelana (Transectas de vegetación azonal)	25
Figura N° 2-3. Localización de Puntos de Monitoreo Finales en el área de estudio. Área Sur. Sector La Punta y La Brava, Peine y Tilopozo.....	26
Figura N° 5-1. Área de estudio vegetación	37
Figura N° 5-2. Localización general de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el área de estudio, Salar de Atacama.	58
Figura N° 5-3. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en los subsectores La Punta y La Brava, Salar de Atacama.....	59
Figura N° 5-4. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Peine, Salar de Atacama.	60
Figura N° 5-5. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Aguas de Quelana, Salar de Atacama.....	61
Figura N° 5-6. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Soncor, Salar de Atacama.	62
Figura N° 5-7. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Tilopozo, Salar de Atacama.	63
Figura N° 5-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama.	73
Figura N° 5-9. Área de estudio para el monitoreo de la vegetación Verano 2020 en el Salar de Atacama.....	77
Figura N° 5-10. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Invierno de 2019.	90
Figura N° 5-11. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de	

estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Invierno de 2019.....	91
Figura N° 5-12. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Invierno de 2019.....	92
Figura N° 5-13. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	107
Figura N° 5-14. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de <i>Juncus balticus</i>	107
Figura N° 5-15. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	108
Figura N° 5-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> . .	108
Figura N° 5-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> .	109
Figura N° 5-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	109
Figura N°10-1. Ubicación sistemas lagunares que conforman el área de estudio para monitoreo y seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua por parte del Proyecto en el Salar de Atacama (PMB).	127
Figura N°10-2. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, invierno 2019.	132
Figura N°10-3. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano 2019.....	133
Figura N°10-4. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2019 (izquierda – banda 5) y verano 2019 (derecha - RGB).....	134
Figura N°10-5. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.	137

Figura N°10-6. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (raster) a polígonos (shape).	143
Figura N° 10-7. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades-1A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta y La Brava, agosto – diciembre 2019.	149
Figura N° 10-8. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2019.	150
Figura N° 11-1. Área de Estudio	153
Figura N° 11-2. Puntos de Monitoreo en Sistema La Punta-La Brava y Peine	155
Figura N° 11-3. Variación de niveles en el Sistema Lagunar La Punta-La Brava ..	161
Figura N° 11-4. Variación de niveles en el Sistema Lagunar Peine.	161
Figura N° 12-1. Cobertura promedio de otros recubrimientos por formación vegetal en los monitoreos de invierno.	177
Figura N° 12-2. Tendencia de la cobertura vegetal promedio y riqueza por sector (Invierno 2019).	179
Figura N°12-3. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.	188
Figura N° 12-4. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.	191
Figura N°12-5. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.	192
Figura N°12-6. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.	193
Figura N°12-7. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.	194
Figura N°12-8. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.	195

Figura N° 12-9. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.	197
Figura N°12-10. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017– 2018 – 2019, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.....	198
Figura N°12-11. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.	199
Figura N°12-12. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.....	200
Figura N° 12-13: Variación de niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB	205
Figura N° 12-14: Variación de niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB	206
Figura N° 12-15: Variación de niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB	207
Figura N° 12-16. Variación de niveles Pozo BA-21 – Sector Peine	209
Figura N° 12-17. Variación de niveles Pozo BA-22 – Sector Peine	210
Figura N° 12-18. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo.....	214
Figura N° 12-19. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1, M2, M3, M4, M5, M6 y M7 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo.	217
Figura N°12-20. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales de los sectores Tilopozo (arriba) y en La Punta y La Brava (abajo).....	220
Figura N°12-21. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de Schoenoplectus californicus en sector Tilopozo.....	223
Figura N°12-22. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de Juncus balticus, en sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava.	224
Figura N° 12-23. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de Distichlis spicata en sector Tilopozo.	225
Figura N° 12-24. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de Triglochin concinna en La Punta y La Brava.	226

Figura N° 12-25. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorrales de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Sarcocornia fruticosa</i> en sectores Tilopozo y La Punta y La Brava.	227
Figura N°12-26. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en los subsectores Tilopozo (arriba) y La Punta y La Brava (abajo).	229
Figura N°12-27. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2020, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava en superficie con vegetación del sector.	231
Figura N°12-28. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i> . Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2020, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava.....	231
Figura N°12-29. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2020) en la superficie con vegetación del sector Tilopozo- La Punta y La Brava.	233
Figura N°12-30. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i> . Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2020) en el sector Tilopozo- La Punta y La Brava.....	234
Figura N° 12-31. Evaluación interanual de la cobertura activa obtenida del índice NDVI en los monitoreos anuales (post - lluvia) 2017 a 2019: análisis del nivel de recurrencia en sitios estables y con variabilidad alta dentro de las formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava.....	236
Figura N°12-32. Evaluación interanual de la cobertura activa obtenida del índice NDVI en los monitoreos anuales (post - lluvia) 2017 a 2020: análisis del nivel de recurrencia en sitios estables y con variabilidad alta dentro de las formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava.....	237
Figura N°12-33. Series de tiempo del NDVI Landsat 2009-2020 y evaluación de tendencias interanuales (test Mann-Kendall) en los periodos histórico	

(previo al proyecto 2009-2016) y total, en formaciones vegetales monitoreadas del sector Tilopozo- La Punta y La Brava.....	239
Figura N°12-34. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.	240
Figura N° 12-35. Clasificación de estratos según análisis de recurrencia, sector La Punta y La Brava.....	242
Figura N°12-36. Superficies permanentes y no permanentes, en comparación con mínimo histórico, sector La Punta y La Brava.	243
Figura N°12-37. Variación temporal de valores de NDWI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector La Punta y La Brava.	245
Figura N°12-38. Variación temporal de valores de NDVI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector La Punta y La Brava.	246
Figura N° 12-39. Variación Niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB.....	248
Figura N° 12-40. Variación Niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB.....	249
Figura N° 12-41. Variación Niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB.....	249
Figura N°12-42. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en sector Peine.	251
Figura N°12-43. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1, M2, M3, M4, M5, M6 y M7 en el sector Peine.	253
Figura N° 12-44. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales del sector Peine.	255
Figura N° 12-45. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de Schoenoplectus californicus en sector Peine.	257
Figura N° 12-46. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de Distichlis spicata en sector Peine.....	258
Figura N° 12-47. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de Tessaria absinthioides en sector Peine.	258

Figura N° 12-48. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en el sector Peine.	259
Figura N°12-49. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2020, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine en superficie con vegetación del sector.....	261
Figura N°12-50. Formación de herbazal de <i>S. californicus</i> . Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2020, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine	262
Figura N°12-51. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2020) en la superficie con vegetación del sector Peine.	263
Figura N°12-52. Formación de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> . Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2020) en el sector Peine.	264
Figura N°12-53. Variación de distribución de la cobertura de vegetación activa* (AR) durante monitoreos de verano 2018 y 2020 en unidades de herbazal de <i>S. californicus</i> en el sector Peine.....	266
Figura N°12-54. Series de tiempo del NDVI Landsat 2009-2020 y evaluación de tendencias interanuales (test Mann-Kendall) en los periodos histórico (previo al proyecto 2009-2016) y total, en formaciones vegetales monitoreadas del sector Peine.	268
Figura N°12-55. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.....	269
Figura N° 12-56. Clasificación de estratos según análisis de recurrencia, sector La Punta y La Brava.....	270
Figura N°12-57. Superficies permanentes y no permanentes, en comparación con mínimo histórico, sector Peine.	271
Figura N°12-58. Variación temporal de valores de NDWI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall)	

en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector Peine.	272
Figura N°12-59. Variación temporal de valores de NDVI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector Peine.	273
Figura N° 12-60. Variación Niveles Pozo BA-21 – Sector Peine	275
Figura N° 12-61. Variación Niveles Pozo BA-22 – Sector Peine	275

TABLAS

Tabla N° 2-1. Resumen de contenidos presentados en Informe Anual PMB N°4....	22
Tabla N° 2-2. Detalle de las componentes, variables y estaciones reportadas de acuerdo al Plan de Manejo Biótico, y al numeral 7 Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el EIA y sus Adendas de la RCA 21/2016..	23
Tabla N° 2-3. Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis	27
Tabla N° 2-4. Identificación de Considerando de la RCA reportada en base a numeral 7.- Plan de Seguimiento Ambiental propuesto en el EIA y sus Adendas.	28
Tabla N° 5-1. Puntos de validación COT, campaña de invierno 2019.	38
Tabla N° 5-2. Estratificación por tipos biológicos y codificación de especies dominantes.	41
Tabla N° 5-3. Categorías de altura empleadas para la vegetación.....	41
Tabla N° 5-4. Rango de valores para la cobertura vegetal.	42
Tabla N° 5-5. Categorías de posición topográfica.	42
Tabla N° 5-6. Caracterización del grado de alteración de la vegetación en las formaciones vegetales.	42
Tabla N° 5-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno.	47

Tabla N° 5-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio.....	47
Tabla N° 5-9. Ejemplos de codificación de las unidades vegetales homogéneas según análisis de recubrimiento de suelo y tipo de formación según nomenclatura COT.....	50
Tabla N° 5-10. Ejemplos de la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la codificación de las unidades vegetales (UV).....	50
Tabla N° 5-11. Ejemplos comparativos para la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la nomenclatura COT.....	51
Tabla N° 5-12. Ejemplo de agrupación de formaciones vegetales.	51
Tabla N° 5-13. Ejemplos de descripción de formaciones vegetales: rangos de altura y de cobertura identificados en las unidades descritas y su mediana (valores recurrentes).	52
Tabla N° 5-14. Coordenadas de las transectas de monitoreo del Plan de Manejo Biótico del subcomponente Flora y Vegetación, en los sectores de estudio.	55
Tabla N° 5-15. Formaciones vegetales y número de transectas por sector.....	64
Tabla N° 5-16. Contenido de humedad del suelo.....	67
Tabla N° 5-17. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades - 1A.	76
Tabla N° 5-18. Características espaciales y espectrales del satélite WorldView-2..	76
Tabla N° 5-19. Umbrales de NDVI por formación vegetal y sector de monitoreo. ...	80
Tabla N° 5-20. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2019.	87
Tabla N° 5-21. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2019.....	89
Tabla N° 5-22. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.....	101
Tabla N° 5-23. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 7 (invierno 2019), en cada subsector.....	102
Tabla N° 5-24. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 7 (invierno 2019).....	112

Tabla N° 5-25. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 7 (invierno 2019).....	115
Tabla N° 5-26. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 7 (invierno 2019).	117
Tabla N° 5-27. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 7 (invierno 2019).	118
Tabla N° 5-28. Superficie de vegetación activa (NDVI) post – lluvias 2020 en base a la COT Invierno 2019, por sector.	119
Tabla N°10-1. Resumen de Componentes y Variables	124
Tabla N°10-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.....	124
Tabla N°10-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2019, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.....	129
Tabla N°10-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2019, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.....	129
Tabla N°10-5. Características técnicas del sensor Pleiades-1A.....	131
Tabla N°10-6. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8	134
Tabla N°10-7. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades 1A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2019.	141
Tabla N°10-8. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Agosto, 2019.....	145
Tabla N°10-9. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Agosto, 2019.....	146

Tabla N°10-10. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Diciembre, 2019.....	146
Tabla N°10-11. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Diciembre, 2019.	147
Tabla N° 10-12. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2019 (invierno y verano).....	148
Tabla N° 10-13. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2019 (invierno y verano).	148
Tabla N° 11-1. Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas	154
Tabla N° 11-2. Materiales y Equipos.....	156
Tabla N° 11-3. Fechas de Medición del Año	156
Tabla N° 11-4. Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava	158
Tabla N° 11-5. Resultados de Niveles Freáticos Sector Peine.....	160
Tabla N° 12-1. Comparación de superficies por recubrimiento de suelo y formaciones vegetales en el monitoreo de invierno 2019, método COT, respecto a los monitoreos de invierno 2018, 2017 y 2016.	165
Tabla N° 12-2. Variaciones en la cantidad y tipología de formaciones descritas por campaña.	170
Tabla N° 12-3. Rangos de variación de superficie relativa por tipo de vegetación desde la línea de base hasta el monitoreo de invierno de 2019.....	171
Tabla N° 12-4. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos Alta Resolución por sector.....	183
Tabla N° 12-5. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a las formaciones de seguimiento según PMB, por sector	184
Tabla N° 12-6. Superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas de <i>Schoenoplectus californicus</i> , en relación a los registros históricos de alta resolución.	186

Tabla N°12-7. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2019 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).	187
Tabla N° 12-8. Consolidado de índices <i>Kappa</i> de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8.	202
Tabla N° 12-9. Valores Mínimos y Promedio de la Serie Sector LP-LB.....	204
Tabla N° 12-10. Valores Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine	208
Tabla N° 12-11. Valores Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector LP-LB.....	248
Tabla N° 12-12. Valores Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector Peine	274

FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 5-1. Ejemplo de estaca en el punto inicial de las transectas de monitoreo en el área del Salar.	66
Fotografía N° 5-2. Ejemplos de especies en estado fenológico vigoroso versus especies en estado latente y rastrojos.	68
Fotografía N° 5-3. Ejemplos de condiciones de sustrato definidas para el muestreo en áreas desprovistas de vegetación.	69
Fotografía N° 5-4. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Invierno 2019.	94
Fotografía N° 5-5. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo azonal en Invierno 2019.....	98
Fotografía N° 5-6. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio.	100
Fotografía N° 5-7. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor.	100
Fotografía N° 5-8. Fisonomía de herbazal de <i>Distichlis spicata</i> en invierno 2019, en distintas transectas de estudio.	104

Fotografía N° 5-9. Fisonomía de herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i> en invierno 2019, en transectas de estudio.	104
Fotografía N° 5-10. Fisonomía de herbazal de <i>Juncus balticus</i> en invierno 2019, en transectas de estudio.	105
Fotografía N° 5-11. Fisonomía de herbazal de <i>Triglochin concinna</i> en invierno 2019, en transectas de estudio.	105
Fotografía N° 5-12. Fisonomía de matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i> en invierno 2019, en transectas de estudio.	105
Fotografía N° 5-13. Fisonomía de matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> en invierno 2019, en transectas de estudio.	106

1 RESUMEN

El presente informe corresponde al cuarto Informe Anual de Monitoreo o Seguimiento del **Plan de Manejo Biótico (PMB)**, comprometido en el Proyecto “**Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta**” de Albemarle Limitada¹ (en adelante Albemarle o ALB), aprobado por Resolución de Calificación Ambiental (RCA) mediante **RCA N° 21 de fecha 20 de enero del 2016**.

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

Para la presente entrega es fundamental indicar previamente que, debido al inicio de la Pandemia en Chile provocada por el incremento de casos de contagios del virus Covid-19 a nivel nacional, que dio lugar posteriormente a la declaración de Estado de Excepción Constitucional de Catástrofe, por Calamidad Pública, de fecha 18 de marzo de 2020, en virtud del Decreto Supremo N° 104, por parte del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, y prorrogada por el Decreto Supremo N° 269 del 16 de junio de 2020, no fue posible ejecutar la totalidad de los trabajos de monitoreo correspondientes a la campaña de terreno PMB de verano post-lluvias 2020, programada originalmente para marzo-abril 2020, que corresponden a los meses en los que regularmente se realizan las campañas de seguimiento en época estival en condición post-lluvias (invierno altiplánico). Lo anterior se fundamenta en que, producto de esta coyuntura, se establecieron restricciones de desplazamiento, logísticas y otras asociadas a medidas sanitarias preventivas, lo que llevó a suspender las actividades, observando paralelamente el comportamiento de la pandemia y atendiendo a las directrices de la autoridad sanitaria para proceder.

Ejemplo de ello es que, como medida precautoria, las comunidades locales que forman parte del Consejo de Pueblos Atacameños (CPA), tomaron la determinación de cerrar temporalmente el acceso a sus pueblos y de restringir toda prestación de servicios y soporte para contratistas de Albemarle, para disminuir las probabilidades de contagios, lo que incluye la restricción de alojamiento (**Ver Anexo Cartas Suspensión Campañas Monitoreo por COVID19 - Verano 2020**).

Por otra parte, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), estableció mediante Resolución 162 de fecha 18 de marzo 2020, el cierre de todas las áreas silvestres protegidas por el Estado, impidiendo el acceso a éstas a efectuar las labores de monitoreo en la Reserva Nacional Los Flamencos, medida que se mantiene hasta la actualidad (**Ver Anexo Cartas Suspensión Campañas Monitoreo por COVID19 - Verano 2020**).

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

En coherencia con lo anterior, y entendiendo lo relevante de tomar medidas y acciones coordinadas que fueran en la dirección de reducir al máximo las posibilidades de contagio en el área de estudio, es que no pudo ejecutarse en su totalidad el monitoreo PMB de verano post-lluvias 2020, ni retomarse en los meses posteriores, debido a no contar con las condiciones que permitiesen su reanudación.

Inicialmente la campaña de monitoreo estaba programada para marzo – abril 2020, luego, producto de la aparición de la contingencia sanitaria y declaración de Estado de Excepción Constitucional de Catástrofe, se reprogramó desde el 21 de abril al 04 de mayo de 2020, esperando una mejoría en la situación según indicación de la autoridad de salud (ej. reducción del peak de contagios en la región). Posteriormente, se volvió a reprogramar desde el 19 de mayo al 01 de mayo y finalmente, se reprogramó desde el 02 al 15 de junio 2020. En ninguna de las ocasiones anteriores, pudo realizarse la campaña, debido a la condición sanitaria del país **(Ver programas de trabajo en Anexo Cartas Suspensión Campañas Monitoreo por COVID19 - Verano 2020)**.

En la espera de una mejoría en las condiciones, que permitiesen reactivar los monitoreos de manera segura, es que se pierde finalmente la posibilidad de monitorear la situación estacional de verano post-lluvias requerida para la medición en terreno de las componentes bióticas monitoreadas en el PMB, dado que como se indica anteriormente, la campaña se reprogramó en 3 ocasiones hasta junio 2020, donde finalmente tampoco pudo ser ejecutada **(Ver Anexo Cartas Suspensión Campañas Monitoreo por COVID19 - Verano 2020)**.

Por lo anteriormente expuesto, el presente informe anual constituye una entrega de la información del Año N°4, de monitoreos (ciclo 2019-2020), con la información disponible sólo de las variables que fue posible levantar durante el período, **invierno 2019 y verano 2020**.

De acuerdo con lo anterior, el presente Informe Anual N°4 del PMB, para el seguimiento de superficies lagunares, da cuenta de las campañas semestrales de monitoreo realizadas en invierno 2019, las cuales se desarrollaron durante el mes de agosto del 2019, y en verano 2019-2020, las cuales se levantan en diciembre del 2019. Se pudo no obstante, a través de imágenes satelitales de alta resolución (abril y junio 2020), incorporar a través de trabajo en gabinete, información correspondiente al componente vegetación, para su variable “Cobertura de Vegetación Activa NDVI”, con medición de frecuencia anual, cubriendo con ello al menos para esta variable, la condición post-lluvias 2020. La única variable que fue posible monitorear y que presenta datos mensuales es la correspondiente a niveles freáticos de lagunas, que se reporta desde abril 2019 hasta marzo 2020.

La campaña correspondiente a invierno 2019 (monitoreo de componentes bióticas y de superficies lagunares), se desarrolló entre los días 27 de agosto al 07 de septiembre de 2019, y constituye la séptima campaña de monitoreo del PMB del proyecto. Por su parte, la campaña de superficies lagunares correspondiente a verano, se desarrolló durante el mes

de diciembre 2019, realizada entre el 18 y 20 de diciembre de 2019, constituyendo la octava campaña en particular para esta componente.

Cabe agregar que la variable Superficie de Lagunas, es también un compromiso del Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH) del proyecto, la cual quedó establecida a realizarse en julio y diciembre 2019, con un mes de desfase, por lo que también se cumple con el compromiso semestral de la misma en el PMB. Es importante destacar, que éste fue reportado de manera independiente el día 5 de febrero del presente año².

El monitoreo de la variable Vegetación y Flora de invierno 2019, se llevó a cabo en una campaña de terreno ejecutada entre los días 27 de agosto y 02 de septiembre de 2019, tanto para el levantamiento y validación COT, como para las transectas de flora. Para la validación de la fotointerpretación de la COT de invierno 2019, se utilizaron imágenes satelitales (imágenes multiespectrales de alta resolución del sensor Pleiades-1A de agosto de 2019). Por su parte, para la sección “Cobertura de Vegetación Activa NDVI”, correspondiente a verano post lluvias 2020, se utilizó imágenes multiespectrales de alta resolución de los sensores WorldView-2 (4 de abril 2020) y Pleiades-1A (8 de junio 2020). De acuerdo con lo señalado anteriormente, no fue posible llevar a cabo el seguimiento de la variable “Flora y Vegetación” en sus acápite: seguimiento a la carta ocupación de tierras (COT), y el seguimiento de transectas de vegetación con el método de intercepto de puntos, correspondiente al monitoreo verano post-lluvias 2020, dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19.

La variable Nivel Freático en Lagunas, con frecuencia de medición mensual, incorpora en el presente informe el periodo comprendido entre los meses de abril 2019 a marzo 2020. Cabe señalar que esta variable es también un compromiso del Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH) del proyecto, cuyo informe anual fue entregado a la SMA en marzo 2020³.

Las restantes variables reportadas en este informe (i.e. Fauna Vertebrados Terrestres, Suelo o Sustrato, Limnología y Tapetes microbianos), incorporan solo información de la campaña de invierno 2019, la que es presentada en el **Anexo Informe Semestral Invierno 2019**, para dar cuenta del monitoreo y análisis de todas las variables asociadas al Plan de Manejo Biótico con compromiso semestral. Esta información se presenta como anexo, para no caer en redundancias en cuanto a la presentación de resultados y su posterior análisis, ya que estos fueron entregados en el informe semestral 2019, y considerando que no fue posible ejecutar el monitoreo de verano 2020 específicamente para estas variables.

² Comprobante de Remisión de Antecedentes Respecto de las Condiciones, Compromisos y Medidas Establecidas en las Resoluciones de Calificación Ambiental SMA con fecha 22 de febrero de 2020. División de Fiscalización SMA. Cod: 91780.

³ Comprobante de Remisión de Antecedentes Respecto de las Condiciones, Compromisos y Medidas Establecidas en las Resoluciones de Calificación Ambiental SMA con fecha 30 de marzo de 2020. División de Fiscalización SMA. Cod: 93715.

A modo de contexto, la primera campaña del PMB del proyecto, en agosto del 2016, se realizó en etapa de Construcción, previo al inicio de operaciones⁴. En cambio, desde diciembre 2016 al presente, se realizan las campañas en el marco de la etapa de Operación del proyecto.

Los resultados entregados en cada componente y subcomponente fueron evaluados y comparados en relación a los registros de línea base del proyecto u otros registros para el área, en caso de existir, éstos son analizados en la medida del avance obtenido en el tiempo de las campañas de monitoreo y de acuerdo con la evolución de sus resultados. Todo lo anterior será analizado con mayor detalle en el capítulo de discusión de este documento.

En términos generales, para efectos de este Informe Anual N°4, los componentes evaluados dentro del cuerpo del informe son Biotas y Agua, se presentan para cada una de las **subcomponentes monitoreadas** un capítulo correspondiente a cada una de ellas. Tal como se señaló, las variables presentadas corresponden a Superficie de Lagunas, Vegetación y Nivel Freático en Lagunas, dado que cuentan con información tanto de la campaña Invierno 2019, como de Verano 2020, y son las variables de estado que determinan el estado ecológico del sistema. Las variables Fauna Vertebrados Terrestres, Suelo o Sustrato, Limnología (Biotas acuáticas, calidad de aguas y sedimentos) y Tapetes microbianos), incorporan solo información de la campaña de invierno 2019, la que se incorpora en el **Anexo Informe Semestral Invierno 2019**.

Sin perjuicio de lo anterior, se describen a continuación los principales y más relevantes resultados, análisis y conclusiones del Informe N°4 del Plan de Manejo Biótico – PMB, según estas subcomponentes o variables monitoreadas:

En relación con Flora y Vegetación:

El área de monitoreo de flora y vegetación corresponde a sectores del Salar que concentran las características representativas para el seguimiento de los subcomponentes señalados, éstos son: La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana. Con el fin de homologar la sectorización de todas las metodologías utilizadas para el seguimiento, respecto de lo establecido por el PMB, se distribuyó el área de estudio en cinco subsectores: (1) Tilopozo, (2) La Punta y La Brava, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana.

En relación con el monitoreo y caracterización de la flora y vegetación del área de estudio, y los fundamentos expuestos en este Informe Anual, se señala que no fue posible llevar a cabo el seguimiento de la variable “Flora y Vegetación” en sus acápite: seguimiento a la carta ocupación de tierras (COT), y el seguimiento de transectas de vegetación con el método de intercepto de puntos, correspondiente al monitoreo post-lluvias 2020, dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19. Por lo

⁴ Rockwood Lithium (Actualmente Albemarle Limitada) dio inicio formal a la etapa de operación del proyecto el 28 de septiembre 2016, mediante carta a la Superintendencia de Medio Ambiente una semana antes, fechada el 21 de septiembre de 2016.

tanto, bajo estas condiciones, se presentan los resultados de COT y transectas de vegetación azonal de invierno 2019, y el análisis de la cobertura de vegetación activa (según el índice NDVI), realizado durante la temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo posterior a las precipitaciones estivales 2020, de acuerdo a los objetivos planteados en el Plan de Manejo Biótico.

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

En cada subsector se realiza el monitoreo del **subcomponente flora**, a través de la medición del parámetro de composición y cobertura de especies, en base al método “Intercepto de Puntos”. La definición de puntos de transectas se realiza en levantamiento previo, denominado en adelante “Monitoreo Base 0 – MB0” (RWL-Cedrem Julio 2016), como cumplimiento al acápite 10.2 de la RCA 21/2016, según lo establecido por el informe de “Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016), el cual fue aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL”, que define las transectas y su metodología para la evaluación pre operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

Esta metodología se aplica en las 31 transectas establecidas, georreferenciadas y estacadas en terreno, de las cuales la transecta del sector Soncor no fue realizada en invierno 2019 por malas condiciones en los caminos de acceso hacia ésta. Paralelamente, se realiza el monitoreo del subcomponente vegetación, a través de la medición del parámetro de distribución y cobertura de la vegetación azonal mediante el método de Carta de Ocupación de Tierras (COT) y el segundo, con periodicidad anual, correspondiente a la cobertura vegetal activa derivada del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) a partir de imágenes satelitales de alta resolución.

En el monitoreo COT de invierno 2019, se mantiene la identificación de los tres tipos de recubrimiento de suelo (vegetación azonal, vegetación zonal y superficie sin vegetación), entre los cuales destaca la “superficie sin vegetación” representada por un 78,1% de superficie del área de estudio. En cuanto a “superficie con vegetación”, se mantiene también la misma representatividad que el invierno anterior 2018, de 8,7% con vegetación zonal y un 13,2% con vegetación azonal. La cantidad de las formaciones descritas por la COT inicial se ha mantenido similar (COT de LB; 2015), y los principales cambios se observan en el tipo de formación, en que la mayor variación aparece con la descripción de Matorrales mixtos azonales y Vegas. A partir de lo anterior, se describieron cinco agrupaciones de formaciones de matorral zonal según dominancia (ocho formaciones en total); seis agrupaciones de formaciones vegetales azonales de humedal (10 formaciones en total); y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de

matorral – vega, y tres agrupaciones de matorral hídrico – vega según dominancia (13 formaciones en total).

Entre las formaciones más representativas, destacan igualmente las superficies de las formaciones registradas en invierno 2018. Los matorrales zonales con dominancia de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.626,8 ha (4,9%), concentrados en el sector de Peine. Por otra parte, en la vegetación azonal son más representativas las formaciones de vega con dominancia de *Distichlis spicata* con 970,3 hectáreas (2,9%) localizada principalmente en el sector de Tilopozo; y los matorrales – vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* con 2.139,3 ha (6,5%), distribuidos de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana.

La formación con mayor cantidad de unidades continúa correspondiendo a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (42 unidades) en referencia a COT previas (invierno 2018), y a su vez, las unidades de esta formación presentan una variación de cobertura vegetal, de escasa a densa (5% a 90%). En contraste, el matorral de *Atriplex imbricata*, la vega de *Nitrophila atacamensis* y *Triglochin concinna*, la vega de *Phragmites australis*, *Schoenoplectus californicus* y *Distichlis spicata*, y el matorral hídrico - vega de *Tessaria absinthioides*, *Lycium humile* y *Distichlis spicata* (Quelana), están representados por una unidad cartográfica en el área de estudio.

En resumen para la COT invierno 2019, la cantidad de las formaciones descritas por la COT inicial (33 en línea de base 2015) se ha mantenido similar (34), y los principales cambios se observan en el tipo de formación, en que la mayor variación aparece con la descripción de Matorrales mixtos azonales y Vegas.

En cuanto a las formaciones vegetales, el análisis de flora y vegetación indica que en el monitoreo de invierno 2019 (M7) se observan, en general, las mismas características de estructura de las formaciones, composición de especies dominantes y fisonomía en relación a monitoreos de invierno anteriores (2016-M1, 2017-M3 y 2018-M5). Con respecto a las características físicas del suelo en donde se desarrollan estas formaciones vegetales, se presentan algunas diferencias en la humedad del suelo, observando mayor saturación en M7 en algunas transectas de las formaciones de herbazal de *D. spicata*, *S. californicus* y matorral de *S. fruticosa*, con respecto a M1 y M3, aunque menos variable con respecto a M5. Y en el caso del herbazal de *T. concinna*, se observó mayor saturación en M3 y M5 con respecto a M7. En cuanto a la salinidad, se observan mayores variaciones en algunas transectas, principalmente con menor salinidad en M7 con respecto a M1 y M3 en formaciones de *D. spicata* y *J. balticus*, aunque mayor respecto a M5. En la formación de *T. absinthioides* se observa mayor variación entre transectas, observando aumentos y disminuciones de los afloramientos salinos en M7 respecto a inviernos anteriores.

En relación a la **riqueza de especies**, éstas se mantienen en general constantes. La única mayor diferencia se observa desde el 2017, en la transecta T12 del subsector La Punta,

donde en M1 se registraron tres especies, sin embargo a partir de dicha campaña, se ha registrado solo una especie en 2017-M3, 2018-M5 y 2019-M7.

Referente a la **composición y coberturas** registradas en la campaña de invierno 2019 (M7), se observa que el herbazal de *Schoenoplectus californicus* localizado en el sector de Tilopozo y Peine, presenta en los monitoreos la mayor cobertura absoluta de toda el área de estudio, tanto en su especie dominante como en las transectas (seis) definidas en esta formación. Por otra parte, las especies acompañantes *Baccharis juncea*, *Lycium humile*, *Nitrophila atacamensis* y *Puccinellia frigida* presentes en las transectas de distintas formaciones, en general, mantienen similares sus coberturas en M7 con respecto a monitoreos de invierno anteriores M1, M3 y M5, y puntualmente destacan algunas diferencias, pero manteniéndose dentro de la cobertura media registrada.

Respecto de la **cobertura absoluta por transecta**, en 2019-M7 los mayores valores se observan en el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, coincidente con los monitoreos anteriores. En cuanto a los valores de menor cobertura absoluta por transecta (menor al 10%), en M7 destacan tres transectas en herbazales de *Distichlis spicata*, una transecta en herbazal de *Juncus balticus*, dos transectas en matorral de *Tessaria absinthioides*, y una transecta en un herbazal de *Triglochin concinna*. En general, la cobertura muerta (absoluta) se registra para todas las formaciones estudiadas, exceptuando una transecta en el herbazal de *S. californicus* (T19 en Tilopozo), y a la vez, en esta misma formación es donde se registra uno de los máximos de cobertura muerta absoluta, correspondiente a la transecta T03 en Peine (84,8%), valor asociado a los rastrojos evidentes que dejó la quema ocurrida en la temporada de primavera de 2018, que sin embargo, no significó una disminución de la cobertura vegetal de la formación, recuperándose su cobertura vegetal en verano 2018-M6 y invierno 2019-M7 con registros similares a inviernos anteriores.

Con respecto a la **cobertura absoluta de otros recubrimientos**, en general no se observan mayores diferencias de coberturas al comparar los resultados de M7 (invierno 2019) con los monitoreos de invierno anteriores. Este recubrimiento es generalmente alto (>50%), exceptuando pocas transectas con valores entre 40 y 50% (T08, T20, T17 y T24). Por otro lado, destaca el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, como la única formación que presenta muy baja o nula cobertura de otros recubrimientos, con menos de un 1% de cobertura registrado en la transecta T01 en M1 y M7 (agua superficial) y en la transecta T04 en M1 y M5 (costra salina).

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

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

Específicamente en M7 (verano 2019), se observa una recuperación de la cobertura vegetal con respecto a lo registrado desde M1 a M5 (2016 a 2018). Si bien en nueve transectas la cobertura en M7 es menor que M5 y registros previos, el aumento general en M7 refleja que el aporte de las precipitaciones ocurridas en el verano de 2019, incidió en una mayor actividad en la vegetación, observada principalmente en los herbazales de *D. spicata*.

En relación a la cobertura muerta, los mayores valores se registran en el herbazal de *S. californicus* (T01, T02 y T03 en Peine) y en un herbazal de *D. spicata* (T20 en Tilopozo). No obstante, esta cobertura muerta no afecta a la cobertura absoluta vegetal en la formación, registrando igualmente coberturas sobre el 100% en los herbazales de *S. californicus*. La formación de *D. spicata* corresponde a una de las transectas con menor variación de cobertura vegetal desde MB0 con los monitoreos de invierno.

Considerando el método de análisis de distribución y cobertura de la vegetación azonal con el NDVI de imágenes de alta resolución, y considerando todas las áreas de los 4 sectores analizados (La Punta-La Brava, Peine, Tilopozo, Soncor y Quelana), el cálculo de la vegetación activa para esta superficie con vegetación representa un 18,2% (1.320,1 hectáreas) de la COT, y en base a la evolución en el tiempo, se concluye que existiría una mantención general de las superficies de vegetación activa, dentro del rango de los registros históricos de línea de base en los sectores de estudio en que se encuentran.

En cuanto a los valores históricos mínimos (Tabla 5.3 del Apéndice B del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015) desde imágenes de alta resolución, la superficie de vegetación activa en los sectores de **Tilopozo – La Punta y La Brava y Peine**, se encuentran dentro del rango histórico en los cuatro años de monitoreos, superando incluso los valores máximos. Cabe recordar, que para el sector de Peine, se había observado una disminución de la cobertura activa entre el monitoreo de 2017 al 2018, sin embargo, en el verano de 2019 la cobertura activa aumentó a una superficie similar a la registrada en 2017. Los registros actuales consideran una disminución con respecto al año anterior, pero no alcanzan los valores mínimos registrados durante 2018.

En el sector de **Aguas de Quelana**, el valor de superficie de vegetación activa, está por sobre el rango mínimo histórico, superando incluso el valor máximo histórico en los cuatro períodos (2017-2020), diferencia que se debe al aumento de la superficie del área de

muestreo para el monitoreo. En cambio, para el sector **Soncor**, el resultado de superficie de vegetación activa (para las formaciones particulares de seguimiento), es menor en los cuatro años de monitoreos a la superficie mínima histórica definida. No obstante, esto se debe al mayor detalle definido por la COT en las campañas posteriores a la RCA, en los ajustes y precisiones realizadas a este instrumento en el contexto del PMB. Para este sector, la superficie de vegetación activa NDVI en verano 2017, 2018, 2019 y 2020, se ha observado relativamente estable, evidenciándose una leve baja de los valores registrados durante 2020 en referencia a los años anteriores.

En particular, en cuanto a las formaciones de vega (herbazal) de *Schoenoplectus californicus*, para el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo, ésta supera la superficie mínima en los cuatro años de monitoreo, encontrándose dentro del rango de los registros históricos. En tanto, el sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico en los cuatro periodos y en orden decreciente desde el 2017 al 2020. De acuerdo a las observaciones realizadas a la formación vegetal, se puede señalar que estos descensos están asociados a procesos de alteración sostenida de su estructura, por manejo tradicional de la vegetación a través de quemadas controladas que realizan las comunidades atacameñas para obtención de forraje para sus animales.

Al considerar en su conjunto las superficies de vegetación activa de los cuatro seguimientos anuales que se tienen a la fecha (2017-2020) en los sectores Tilopozo – La Punta y La Brava, Peine y Soncor, y al ver su evolución en el tiempo, se observa en general una disminución desde verano 2017 a verano 2018, con un leve aumento en la superficie de vegetación activa en 2019, descendiendo nuevamente en verano 2020, pero sin llegar a los valores mínimos registrados en el seguimiento. Por otro lado, para el sector Aguas de Quelana se observa un descenso de la cobertura activa de vegetación desde verano 2017 a verano 2019, con un leve aumento de 2019 a 2020.

En relación con Área de las Lagunas:

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

El propósito es realizar el seguimiento de la cobertura de los cuerpos de agua, a través de imágenes satelitales, en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama que conforman el área de estudio: (1) La Punta y La Brava y (2) Peine. Para tal fin, se utilizan imágenes de alta resolución del sensor Pleiades 1A y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8, obtenidas en invierno y verano, correspondientes a los meses de agosto y diciembre 2019.

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

Los valores de ajuste presentan una concordancia considerable para ambos sistemas lagunares, con un rango de valores de índice *Kappa*⁵ para el periodo de verano de 2019 entre 0,79 (La Punta y La Brava) y 0,91 (Peine) desde imágenes de alta resolución, con una precisión global⁶ entre 0,90 y 0,96 respectivamente. En tanto desde Landsat 8 los valores *Kappa* muestran un rango entre 0,59 (La Punta y La Brava) y 0,76 (Peine), con valores de precisión global entre 0,86 y 0,90 respectivamente.

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

Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de alta resolución (Pleiades 1A) en invierno de 2019 correspondieron a: 52,8 ha en La Punta y La Brava y 86,7 ha en Peine, en tanto para verano de 2019 las superficies son: 62,7 ha en La Punta y La Brava y 101,7 ha en Peine.

Las superficies lagunares estimadas en el monitoreo desde imágenes de media resolución (Landsat 8), para invierno de 2019 corresponden a 53,8 ha en La Punta y La

⁵ El índice *Kappa* corresponde a una medida estadística que ajusta el efecto del azar en la proporción de la concordancia observada para elementos cualitativos (variables categóricas). Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador.

⁶ Este valor describe la exactitud de los aciertos en la clasificación supervisada expresada en porcentaje (0 a 100%). Se interpreta como la proporción de píxeles de una imagen clasificados correctamente en concordancia con los datos de terreno, p.e. todos los píxeles identificados como “agua” en la imagen, también corresponden a “agua” en terreno, en este caso de un 100% de coincidencia es una clasificación perfecta.

Brava y 85,1 ha en Peine, en tanto para verano de 2019, corresponden a 57,7 ha en La Punta y La Brava y 107,8 ha Peine.

En relación al análisis comparativo entre las imágenes satelitales, las diferencias en la resolución espacial entre las imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8, para los periodos de invierno y verano de 2019, son atribuibles principalmente a la resolución espacial, sin embargo, son menos significativas y no superan las 6 ha. La variación más importante se observa en el sistema lagunar de Peine, en ambos periodos, con una diferencia de superficie de -1,6 ha (-1,8%) en invierno y de 6,1 ha (+6,0%) en verano, de Landsat por sobre Pleiades; en tanto para el sector de La Punta y La Brava se observa una diferencia de 1,0 ha (+1,8%) en verano y -5,1 ha (-8,1%) en invierno.

En relación con los monitoreos desde imágenes de alta resolución, el sector de Peine presenta valores de superficie mayores en verano en comparación con invierno, con una diferencia de +15,0 ha (+14,7%). Asimismo, el sector de La Punta y La Brava también presenta valores de superficie mayores en verano, con una diferencia de +9,9 ha (+15,7%). Desde imágenes de media resolución la variación es un poco más significativa, presentando un valor de superficie mayor en verano en ambos sectores; de +3,9 ha (+6,7%) para la Punta y La Brava, y en Peine 22,7 ha (21,1%).

En relación al análisis comparativo de las superficies con la línea de base, es posible señalar que las superficies de los cuerpos de agua se encuentran dentro de los límites de seguimiento establecidos. En ambos sistemas lagunares, las coberturas están por sobre los registros mínimos de línea de base, donde las diferencias porcentuales se atribuyen principalmente a las variaciones estacionales intranuales e interanuales y a la fisonomía de estos sistemas lagunares.

En relación con Nivel Freático en Lagunas:

Se realizó medición de los niveles freáticos en 5 los puntos distribuidos en los Sistemas Lagunares La Punta - La Brava (3) y Peine (2), que conforman el monitoreo de niveles del PMB, con una frecuencia de medición mensual, para el periodo comprendido entre los meses de **abril 2019 a marzo 2020**.

La metodología continua siendo la misma de los últimos 3 años: en cada punto de monitoreo se mide la profundidad del agua manualmente, utilizando un pozómetro. La medición se realiza desde un punto de referencia prefijado para cada piezómetro somero (barreno), que corresponde al collar del brocal del mismo. La obtención de la cota del nivel de agua en cada piezómetro se obtiene restando la profundidad medida a la cota de referencia del punto.

Para los años 2019-2020, para los pozos del sector La Punta-La Brava (los barrenos BA-05, BA-07 y BA-16) se presentan registros de mayor frecuencia de medición en todo el

periodo. Esto, en el contexto de la activación del PAT Hídrico (PATH) que hubo en enero de 2019, lo que implicó aumentar formalmente la medición entre febrero hasta abril 2019. Internamente, Albemarle decidió mantener la medición de 3 niveles mensuales después de abril, de manera de robustecer las mediciones y el posterior análisis de los niveles en los pozos del sector, lo que se realizó en la mayoría de los meses entre mayo 2019 y marzo 2020 para los puntos del sector La Punta La Brava, dado que son del PATH. En el caso de los pozos BA-21 y BA-22 del sector Peine, si bien éstos no son pozos puntos PATH, si son parte del plan de seguimiento ambiental, razón por la cual sólo se presentan 2 mediciones mensuales para éstos cuando hubo activación, es decir, hasta abril 2019 y desde mayo 2019, siguen con la medición de frecuencia mensual hasta marzo 2020. Lo anterior, se enmarca dentro de lo comprometido **para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH)**, específicamente lo estipulado en el Plan de Alerta Temprana Hídrico (PATH⁷).

De los niveles medidos para los 5 puntos monitoreados se puede concluir que el valor promedio anual del período, para cada pozo, se encuentra dentro del rango de los valores históricos registrados.

En general, considerando ambos sectores, se presentan pozos de variabilidad histórica estable, como es el caso de los pozos BA-05 (en La Punta-La Brava) y BA-22 (Peine); por otro lado, los datos del último año muestran un quiebre (parcial a lo menos) con tendencia a la baja en el pozo BA-07 (La Punta-La Brava).

A modo general, se tiene que, al igual que para años anteriores, durante la época de verano (principalmente entre diciembre y febrero, previo a las precipitaciones del invierno altiplánico) se registran los niveles más bajos del punto de vista de la variabilidad de los niveles de las lagunas, y para algunos pozos (BA-16 y BA-22) se registraron cotas bajo los mínimos históricos. Luego, en marzo 2020 para los pozos del sector La Punta-La Brava se tienen aumentos del nivel entre 2 y 3,3 cm (lo que lleva a los registros de marzo 2020 a ser más elevados que algunos de años anteriores para estos pozos), efecto que no se ve en los niveles del Sector Peine, a diferencia de lo ocurrido el año anterior. Esto vuelve a constatar una mayor sensibilidad de los niveles freáticos en las lagunas de LP-LB en relación a la precipitación del sector, si se comparan con los del Sector Peine. Se debe indicar que el total de agua caída en enero-marzo 2020 fue mínima de alrededor de 6 mm.

En particular, para el Sistema La Punta-La Brava, considerando toda la data observada (abril 2013- marzo 2020) se observan niveles estables en los pozos BA-05 y BA-16, con ciclos anuales representados por niveles más elevados (o aguas mas someras) en los

⁷ El PATH (Plan de Alerta Temprana Hídrico), tiene por objetivo detectar anticipadamente (en el tiempo y en el espacio) desviaciones respecto de los pronósticos del comportamiento del componente hídrico que pudieren llegar a afectar los sistemas objeto de protección (cuerpos lagunares) y, activar las medidas preventivas necesarias para evitar efectos no previstos. Existen 3 sectores de alerta PATH: núcleo, acuífero y norte, los cuáles presentan diferentes condiciones de activación; entre ellas, para el PATH del sector norte, Albemarle se activa automáticamente si lo hace SQM, y en julio 2018 y enero 2019 se activó el PAT de SQM, por lo que se activó también el PATH de Albemarle.

meses de invierno, entre julio y agosto, y valores de niveles menores (o aguas más profundas), en los meses de verano, entre diciembre y marzo. Se debe puntualizar que para BA-16 esta relativa estabilidad se rompe con los datos del último año, en que se registran niveles menores a años anteriores y con registros bajo el mínimo histórico del pozo hasta febrero de 2020, ya que en marzo aumentan nuevamente las cotas. El pozo BA-07 presentó una tendencia al descenso de sus niveles hasta el verano de 2019, en que tanto los valores máximos como los mínimos observados año a año eran cada cual más bajos que el anterior. Lo anterior se revierte con los datos del presente período (abril 2019- marzo 2020), ya que luego del peak de febrero 2019 aumentan los niveles quedando constatado con el aumento del promedio anual que es superior a los de años anteriores.

Realizando el mismo análisis histórico para el Sistema Peine, representado por los pozos BA-21 y BA-22, se tiene que para los niveles en el pozo BA-21 se presentan ciclos de 2 años (entre un valor alto y uno bajo) distintos a los ciclos anuales que presenta BA-22 y como también se presentan los pozos del sector La Punta-La Brava. Para el pozo BA-21, en abril 2015, marzo 2017 y febrero 2019, se observan los ascensos de nivel de aguas subterráneas, como respuesta directa a eventos de precipitaciones ocurridas en los períodos de invierno boliviano, lluvias que generalmente acontecen en febrero. Para BA-21, los registros de la serie indicaban una tendencia al descenso de los valores mínimos de la serie y un ascenso de los valores máximos hasta enero 2019. En el período actual, la tendencia cambia en forma positiva, disminuyendo un poco los peaks máximos pero aumentando los mínimos, estrechando así el rango de niveles del pozo.

Para el pozo BA-22, la serie presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus niveles, con comportamiento de aumento de los niveles en los meses de invierno (junio a agosto) y descensos en la temporada de verano (enero-febrero). Se observa que los últimos cuatro registros (tomados entre noviembre 2019 y marzo 2020) están bajo el mínimo histórico, sin embargo son niveles superiores a los niveles mínimos observados en 2018 y 2019. Así, si el mínimo en el pozo corresponde a 2.300,268 m s.n.m., los niveles registrados en el periodo referido están bajo éste milimétricamente, entre 2.300,264 y 2.300,267 m s.n.m. No obstante lo anterior, el promedio de los niveles el último año, período abril 2019 a marzo 2020, se encuentra por sobre el mínimo histórico y de línea base.

En relación con el Estado Ecológico del Sistema:

En relación con el indicador de cobertura promedio de vegetación por sector, cobertura vegetal por transecta, estructura comunitaria, y salinidad, como fuera señalado no fue posible llevar a cabo el monitoreo de las variables señaladas en campaña post - lluvias estivales 2020, dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19. Las medidas de restricción de movilidad (consecuentes a las medidas adoptadas en el control sanitario), no permitieron el traslado y acceso a los

subsectores de estudio, reduciendo las posibilidades de seguimiento a acciones remotas. Por tanto, bajo estas condiciones, sólo se realiza el análisis de cobertura de vegetación activa (según el índice NDVI) para periodo post – lluvias estivales 2020. Los análisis restantes de cobertura de vegetación, estructura comunitaria y variación de salinidad se presentan hasta invierno 2019 (M7), correspondiente al primer monitoreo semestral del Año 4 del PMB. (Ver en **Anexo Informe Semestral Invierno 2019**).

En relación con el indicador de cobertura promedio de vegetación por sector, en términos generales, de acuerdo a los resultados de los seguimientos de 2016-M1 a 2019-M7, el sector de Tilopozo presenta una leve variación de la cobertura vegetal entre monitoreos principalmente desde MB0 a M5, en M6 presenta una baja moderada a una cobertura promedio, presentando una recuperación de cobertura vegetal en M7. En relación con la cobertura de rastrojos para el sector Tilopozo, en general se presentan promedios mayores a los registrados en MB0; no obstante, se verifica una disminución de la vegetación muerta en M7 con respecto a M6. En el sector La Punta y La Brava, se observa en todos los monitoreos coberturas mayores a lo registrado en MB0. En cuanto a la cobertura de otros recubrimientos, ambos sectores presentan variaciones mínimas entre monitoreos, por lo que su cobertura de otros recubrimientos se observa estable hasta M7. Con respecto a la riqueza, se observa una estabilidad entre los monitoreos desde MB0 a M7, con variación máxima de un individuo.

Respecto de la cobertura vegetal por transecta, con respecto a la variación de la cobertura en las transectas en los seguimientos M1 a M7 (2016- Inv2019), en general se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, sin mostrar una tendencia clara desde MB0 a M7. Se puede observar un leve descenso en el matorral de *S. fruticosa* en el sector de La Punta y La Brava. El herbazal de *S. californicus*, en Tilopozo, presenta la mayor cobertura vegetal del sector, si bien registra variaciones entre monitoreos, éstos siempre registran una cobertura absoluta por sobre el 100%.

Respecto de la estructura comunitaria, o composición de las especies, durante el periodo de seguimiento (hasta invierno 2019) a nivel de los sectores de evaluación, se presenta en general estable con cambios específicos en la estructura de ciertas transectas. En términos generales, estas variaciones no constituirían cambios significativos y los cambios se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar.

En relación a la salinidad, para el **Sector Tilopozo-La Punta y La Brava**, la mayor parte de las transectas de monitoreo del sector, registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento, con variaciones cercanas a un 10% en esta cobertura. Para el **sector Peine**, seis de las nueve transectas de monitoreo del sector registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento; mientras la transecta T06 (Peine) muestra un aumento en comparación con M1 en todos los monitoreos, pero recuperando la condición base en M7. El caso de descenso en la cobertura salina de la T09 (herbazal de *D. spicata*), registraba hasta el monitoreo M6, una

relación proporcional significativa entre la cobertura vegetal y la salinidad del suelo (signo positivo); sin embargo a M7 esta relación no se establece, por lo que se requiere más datos para concluir si existe tal relación. Respecto a las correlaciones con la cobertura de afloramientos salinos, la T10 (herbazal de *T. concinna* en subsector La Brava), mantiene a M7 la correlación significativa proporcional (signo positivo) con la concentración salina en el suelo. A la vez, esta formación presenta variaciones en la cobertura vegetal a la actualización en M7, por lo que en parte se puede seguir asociando con la amplia variación en la salinidad del suelo

En base a la evaluación del estado ecológico en las transectas de vegetación en base a lo establecido PMB “*se entenderá como un cambio en tendencia si después de 3 años consecutivos (periodos), se observa una disminución sostenida de la cobertura de especies, aumento de sustrato salino (medición adquirida en el monitoreo del suelo) o cambios en la estructura comunitaria (composición de especies)*”, con la información que se tiene hasta invierno 2019, se concluye la mantención del estado ecológico en la cobertura, la composición de las especies y el sustrato salino durante el periodo de seguimiento a nivel de los sectores de evaluación, con cambios específicos en la cobertura y estructura de ciertas transectas.

En relación con la vegetación activa con el NDVI, se observa una mantención general de la variabilidad dentro del rango histórico en la actividad vegetal, para las formaciones vegetales en seguimiento, según la cobertura y los valores del NDVI obtenidos tanto de imágenes de alta resolución (Pleiades 1A – mosaico sur y WorldView-2 – mosaico norte), como de media resolución (Landsat 8), en todos los sectores de estudio (Tilopozo-La Punta y La Brava y Peine). Para la formación de herbazal de *S. californicus* del sector Peine, se observa una recuperación parcial de 2019 a 2020 considerando la baja que se venía observando respecto a los registros históricos.

Se realizó la comparación de la tendencia a escala interanual del NDVI Landsat para el periodo pre - operacional (2009-2016) y operacional (2016-2020) en las formaciones de seguimiento en el sector. La evaluación de la tendencia interanual del NDVI Landsat, registra un ascenso en ambos periodos de estudio, indicando esto una estabilidad en la actividad/vigor de la vegetación, incluso con una leve tendencia al ascenso en todas las formaciones vegetales monitoreadas. Destaca la condición previa al 2011 de NDVI bajos, en ambos sectores y para todas las formaciones, situación que no se ha dado en los últimos 3 años consecutivos (2018-2020); y que según las pruebas de tendencia podría suponer un periodo de aumento de la superficie de vegetación activa.

Respecto de la evaluación de cobertura de vegetación activa mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución, según lo establecido por el PMB respecto a que “*se entenderá un cambio de tendencia sí después de 3 años consecutivos, se observa una disminución sostenida de la cobertura, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)*”, se puede indicar que a la fecha, se registra una mantención del estado ecológico de la cobertura activa (NDVI) a nivel de los sectores de evaluación, con

una tendencia específica a la baja en la formación herbazal de *S. californicus* del sector Peine.

En relación al indicador superficies de lagunas, es posible señalar que las superficies de los cuerpos de agua se encuentran dentro de los límites de seguimiento establecidos. En ambos sistemas lagunares, las coberturas están por sobre los registros mínimos de línea de base. Lo anterior, se confirma a partir del análisis del comportamiento temporal de los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine presentado en este informe, que indica que, al comparar la dinámica pre - operación y post - operación del proyecto, se mantiene el estado ecológico y las superficies lagunares se mantienen en equilibrio hasta el cuarto año de monitoreo.

En relación al indicador Niveles Freáticos, se puede señalar que, del análisis de tendencia para los 3 últimos años de monitoreo, en general, los niveles freáticos se presentan estables para ambos Sectores y se concluye que se mantiene el estado ecológico del sistema, dado que los promedios anuales de los 3 años de monitoreo se encuentran por sobre el mínimo histórico.

En particular, para el Sector La Punta-La Brava los 3 pozos del Sector (BA-05, BA-07 y BA-16) presentan sus promedios anuales dentro del rango histórico y por sobre el mínimo histórico. Para el Barreno BA-07, se observa en este último año una tendencia al ascenso de sus niveles marcado por un promedio anual de 2300,044 m s.n.m. y para el caso del BA-16, se observa en este último año una tendencia al descenso de sus niveles marcado por un promedio anual de 2300,848 m s.n.m, menor a años previos, pero aun así por sobre mínimo histórico.

Para el Sector Peine, se observa en ambos pozos, promedios anuales por sobre el mínimo histórico. Para el pozo BA-21 se presenta una tendencia de los últimos 3 años con promedios anuales variables, pero dentro de un cierto rango estable a los largo de los años, con promedios que subieron en los períodos 2017-2018 y 2019-2020; y con descensos en los períodos 2016-2017 y 2018-2019. Para el caso del pozo BA-22 se presenta con una variación de niveles muy estable a lo largo de los últimos 3 años, con sus promedios anuales muy similares en donde para este último período abril 2019 – marzo 2020, es de 2.300,280 m s.n.m., por sobre y en el rango de los valores registrados históricamente en el sector.

De acuerdo con lo anterior y a partir del comportamiento de las 3 variables de estado (Vegetación Azonal, Superficie lagunar y Niveles Freáticos en lagunas), durante estos 3 últimos años consecutivos de monitoreo (período 2018-2020), se observa la mantención del estado ecológico del sistema, por cuanto no se han registrado cambios en su dinámica, permaneciendo dentro de los rangos de línea de base registrados históricamente por sector.

2 INTRODUCCION

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

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

Albemarle inició sus campañas del PMB en agosto de 2016, en etapa de Construcción, previo al inicio de operaciones⁸. A partir de diciembre 2016, se realizan las campañas semestrales en etapa de operación del proyecto, las cuales se continúan ejecutando a la fecha. El objetivo de este Informe es entregar los resultados del Monitoreo Biótico Anual N°4, para cada una de las variables o subcomponentes que involucra el PMB, en su frecuencia y métodos correspondientes de medición, para con ello realizar el análisis de este seguimiento de cada una las variables bióticas involucradas. Junto con lo anterior, como objetivo también está el detectar tempranamente cualquier cambio en su estado ecológico, como consecuencia de fenómenos locales, regionales y/o globales.

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

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

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

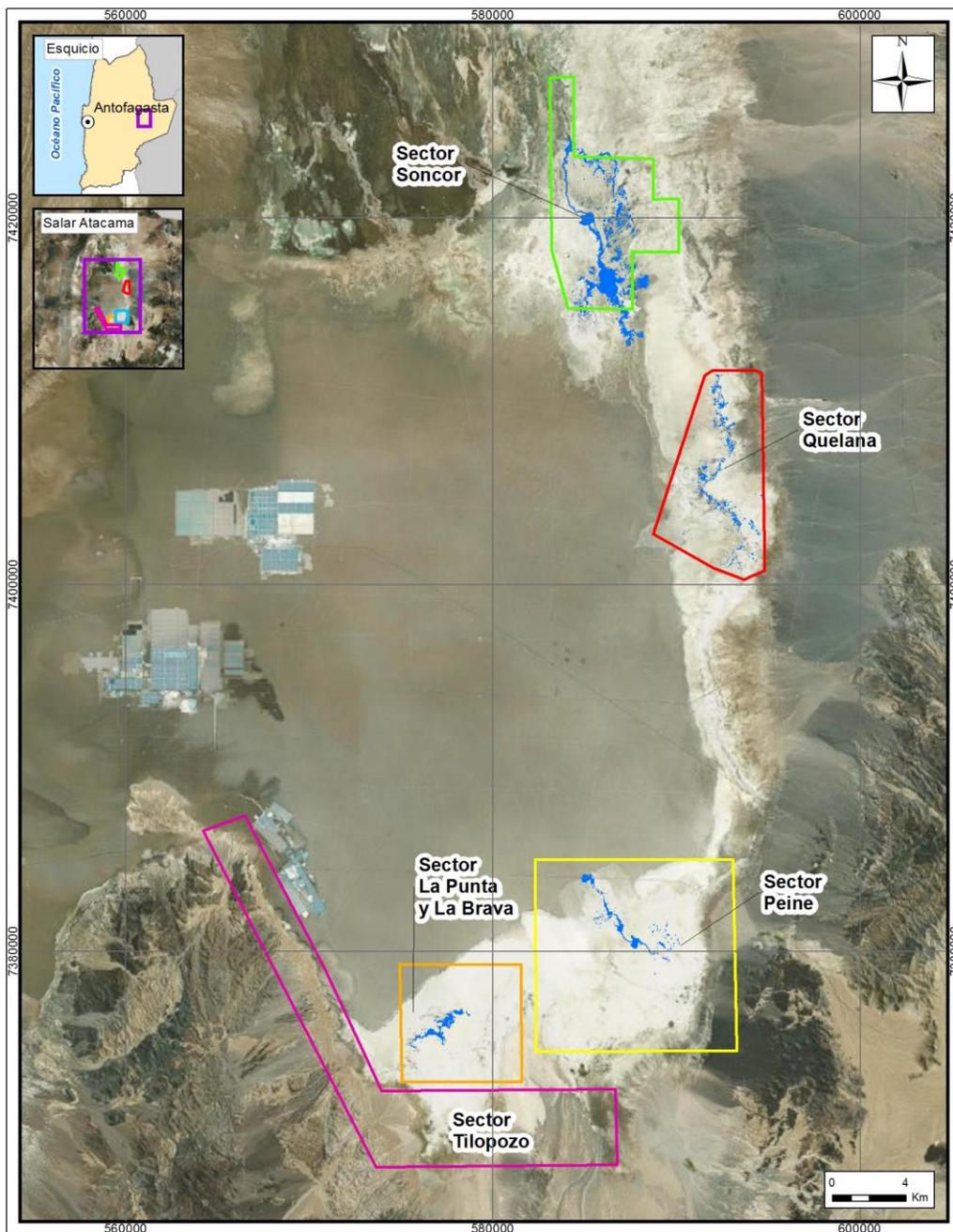
- 4) Sistema Soncor (*), constituido por las lagunas Barros Negros y Chaxa; y
- 5) Quelana (*), Aguas de Quelana (ubicadas ambas 4 y 5 en la Reserva Nacional Los Flamencos).

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

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

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

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



Fuente: Elaboración Propia

El presente Informe Anual N°4 del PMB da cuenta de las campañas semestrales de monitoreo realizadas en invierno 2019, las cuales se desarrollaron durante el mes de agosto del 2019, y en verano 2019-2020, las que para el caso de seguimiento de superficies lagunares, se levantan en diciembre del 2019.

Es relevante indicar que para la presente entrega, debido al inicio de la Pandemia en Chile provocada por el incremento de casos de contagios del virus Covid-19 a nivel nacional, que dio lugar posteriormente a la declaración de Estado de Excepción Constitucional de Catástrofe, por Calamidad Pública, de fecha 18 de marzo de 2020, en virtud del Decreto Supremo N° 104, por parte del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, y prorrogada por el Decreto Supremo N° 269 del 16 de junio de 2020, no fue posible ejecutar la totalidad de los trabajos de monitoreo correspondientes a la campaña de terreno PMB de verano post-lluvias 2020, programada originalmente para marzo-abril 2020, que corresponden a los meses en los que regularmente se realizan las campañas de seguimiento en época estival en condición post-lluvias (invierno altiplánico). Lo anterior se fundamenta en que, producto de esta coyuntura, se establecieron restricciones de desplazamiento, logísticas y otras asociadas a medidas sanitarias preventivas, lo que llevó a suspender estas actividades, observando paralelamente el comportamiento de la pandemia y atendiendo a las directrices de la autoridad sanitaria para proceder.

Como parte de estas medidas precautorias, están las tomadas por las comunidades locales que forman parte del Consejo de Pueblos Atacameños (CPA), que establecieron la decisión de cerrar temporalmente el acceso a sus pueblos y de restringir toda prestación de servicios y soporte para contratistas de Albemarle, para disminuir las probabilidades de contagios, lo que incluye la restricción de alojamiento (**Ver Anexo Cartas Suspensión Campañas Monitoreo por COVID19 - Verano 2020**).

Igualmente, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), estableció mediante Resolución 162 de fecha 18 de marzo 2020, el cierre de todas las áreas silvestres protegidas por el Estado, impidiendo el acceso a éstas a efectuar las labores de monitoreo en la Reserva Nacional Los Flamencos, medida que se mantiene hasta la actualidad (**Ver Anexo Cartas Suspensión Campañas Monitoreo por COVID19 - Verano 2020**).

En coherencia con lo anterior, y entendiendo lo relevante de tomar medidas y acciones coordinadas que fueran en la dirección de reducir al máximo las posibilidades de contagio en el área de estudio, es que no pudo ejecutarse en su totalidad el monitoreo PMB de verano post-lluvias 2020, ni retomarse en los meses posteriores, debido a no contar con las condiciones que permitiesen su reanudación.

Inicialmente la campaña de monitoreo estaba programada para marzo – abril 2020, luego, producto de la aparición de la contingencia sanitaria y declaración de Estado de Excepción Constitucional de Catástrofe, se reprogramó desde el 21 de abril al 04 de mayo de 2020, esperando una mejoría en la situación según indicación de la autoridad de salud (ej. reducción del peak de contagios en la región). Posteriormente, se volvió a reprogramar

desde el 19 de mayo al 01 de mayo y finalmente, se reprogramó desde el 02 al 15 de junio 2020. En ninguna de las ocasiones anteriores, pudo realizarse la campaña, debido a la condición sanitaria del país **(Ver programas de trabajo en Anexo Cartas Suspensión Campañas Monitoreo por COVID19 - Verano 2020)**.

En la espera de una mejoría en las condiciones, que permitiesen reactivar los monitoreos de manera segura, es que se pierde finalmente la posibilidad de monitorear la situación estacional de verano post-lluvias requerida para la medición en terreno de las componentes bióticas monitoreadas en el PMB, dado que como se indica anteriormente, la campaña se reprogramó en 3 ocasiones hasta junio 2020, donde finalmente tampoco pudo ser ejecutada **(Ver Anexo Cartas Suspensión Campañas Monitoreo por COVID19 - Verano 2020)**.

Por lo anteriormente expuesto, el presente informe anual constituye una entrega de la información del Año N°4, de monitoreos (ciclo 2019-2020), sólo con la información disponible de las variables que fue posible levantar durante el período, invierno 2019 y verano 2020.

De acuerdo con lo anterior, el presente Informe Anual N°4 del PMB, para el seguimiento de superficies lagunares, da cuenta de las campañas semestrales de monitoreo realizadas en invierno 2019, las cuales se desarrollaron durante el mes de agosto del 2019, y en verano 2019-2020, las cuales se levantan en diciembre del 2019. Se pudo no obstante, a través de imágenes satelitales de alta resolución (abril y junio 2020), incorporar a través de trabajo en gabinete, información correspondiente al componente vegetación, para su variable "Cobertura de Vegetación Activa NDVI", con medición de frecuencia anual, cubriendo con ello al menos para esta variable, la condición post-lluvias 2020. La única variable que fue posible monitorear y que presenta datos mensuales es la correspondiente a niveles freáticos de lagunas, que se reporta desde abril 2019 hasta marzo 2020.

La campaña correspondiente a invierno 2019 (monitoreo de componentes bióticas y de superficies lagunares), se desarrolló entre los días 27 de agosto al 07 de septiembre de 2019, y constituye la séptima campaña de monitoreo del PMB del proyecto. Por su parte, la campaña de superficies lagunares correspondiente a verano, se desarrolló durante el mes de diciembre 2019, realizada entre el 18 y 20 de diciembre de 2019, constituyendo la octava campaña en particular para esta componente.

Cabe agregar que la variable Superficie de Lagunas, es también un compromiso del Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH) del proyecto, la cual quedó establecida a realizarse en julio y diciembre 2019, con un mes de desfase, por lo que también se cumple con el compromiso semestral de la misma en el PMB. Es importante destacar, que éste fue reportado de manera independiente el día 5 de febrero del presente año⁹.

⁹ Comprobante de Remisión de Antecedentes Respecto de las Condiciones, Compromisos y Medidas Establecidas en las Resoluciones de Calificación Ambiental SMA con fecha 22 de febrero de 2019. División de Fiscalización SMA. Cod: 91780.

El monitoreo de la variable Vegetación y Flora de invierno 2019, se llevó a cabo en una campaña de terreno ejecutada entre los días 27 de agosto y 02 de septiembre de 2019, tanto para el levantamiento y validación COT, como para las transectas de flora. Para la validación de la fotointerpretación de la COT de invierno 2019, se utilizaron imágenes satelitales (imágenes multiespectrales de alta resolución del sensor Pleiades-1A de agosto de 2019). Por su parte, para la sección “Cobertura de Vegetación Activa NDVI”, correspondiente a verano post lluvias 2020, se utilizó imágenes multiespectrales de alta resolución de los sensores WorldView-2 (4 de abril 2020) y Pleiades-1A (8 de junio 2020). De acuerdo con lo señalado anteriormente, no fue posible llevar a cabo el seguimiento de la variable “Flora y Vegetación” en sus acápite: seguimiento a la carta ocupación de tierras (COT), y el seguimiento de transectas de vegetación con el método de intercepto de puntos, correspondiente al monitoreo verano post-lluvias 2020, dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19.

La variable Nivel Freático en Lagunas, con frecuencia de medición mensual, incorpora en el presente informe el periodo comprendido entre los meses de abril 2019 a marzo 2020. Cabe señalar que esta variable es también un compromiso del Plan de Seguimiento Hídrico (PSAH) del proyecto, cuyo informe fue entregado a la SMA en marzo 2020¹⁰.

Las restantes variables reportadas en este informe (i.e. Fauna Vertebrados Terrestres, Suelo o Sustrato, Limnología y Tapetes microbianos), incorporan solo información de la campaña de invierno 2019, la que es presentada en el **Anexo Informe Semestral Invierno 2019**, para dar cuenta del monitoreo y análisis de todas las variables asociadas al Plan de Manejo Biótico con compromiso semestral. Esta información se presenta como anexo, para no caer en redundancias en cuanto a la presentación de resultados y su posterior análisis, ya que estos fueron entregados en el informe semestral 2019, y considerando que no fue posible ejecutar el monitoreo de verano 2020 específicamente para estas variables.

Por lo anteriormente expuesto, el presente informe anual constituye una entrega de la información del Año N°4, de monitoreos (ciclo 2019-2020), con la información disponible de las variables que fue posible levantar durante el período, invierno 2019 y verano 2020. En la **Tabla N° 2-1**, se indican para efectos de ordenamiento, aquellas componentes reportadas en el presente Informe Anual, indicando las campañas respectivas en la que se levantó su información.

¹⁰ Comprobante de Remisión de Antecedentes Respecto de las Condiciones, Compromisos y Medidas Establecidas en las Resoluciones de Calificación Ambiental SMA con fecha 30 de marzo de 2020. División de Fiscalización SMA. Cod: 93715.

Tabla N° 2-1. Resumen de contenidos presentados en Informe Anual PMB N°4

Compo- nente	Subcomponente	Frecuencia	Variables generales	Campaña Invierno 2019	Campaña Verano 2020
Biota	Flora terrestre	Semestral	Composición y cobertura de especies	+	-
	Vegetación terrestre	Semestral/ Anual	Distribución y cobertura de la vegetación azonal	+	+ (Solo Cobertura Activa NDVI)
	Fauna Terrestre	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia	+	-
	Flora y Fauna acuática (**Limn)	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia Coberturas plantas acuáticas	+	-
	Tapetes microbianos	Semestral	Caracterización de tapetes / Presencia evaporitas y microbialitos	+	-
Suelo	Sustrato	Semestral	Físicas y Químicas	+	-
	Sedimento (***Limn)	Semestral	Físicas y Químicas	+	-
Agua	Calidad de agua (**Limn)	Semestral	Físicas y Químicas	+	-
	Lagunas	Mensual	Nivel freático lagunas	+	+
	Lagunas	Semestral	Superficie cuerpos de agua	+	+

(+)= Información presente; (-)= Información ausente (COVID-19). La información de Fauna terrestre, Limnología, tapetes microbianos y sustrato se presenta en **Anexo Informe Semestral 2019**.

La campaña correspondiente a invierno 2019, se desarrolló entre los días 27 de agosto al 07 de septiembre de 2019, y constituye la séptima campaña de monitoreo del PMB del proyecto. Por su parte, la campaña de superficies lagunares correspondiente a verano, se desarrolló durante el mes de diciembre 2019, realizada entre el 18 y 20 de diciembre de 2019, constituyendo la octava campaña en particular para esta componente.

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

La **Tabla N° 2-2** presenta resumidamente todos los componentes y subcomponentes de las variables comprometidas, así como frecuencia y estaciones a monitorear en cada campaña,

de acuerdo a los establecido en el PMB y en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto de fecha 20 de enero del 2016, RCA 21/2016.

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

Compo- nente	Subcomponente	Frecuencia	Variables generales	Número Estaciones PMB	Estaciones voluntarias	Número de Estaciones Totales
Biota	Flora terrestre	Semestral	Composición y cobertura de especies	31*	-	31*
	Vegetación terrestre	Semestral/ Anual	Distribución y cobertura de la vegetación azonal	59**	-	59**
	Fauna Terrestre	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia	16	9	25
	Flora y Fauna acuática (***)Limn)	Semestral	Composición, Riqueza y Abundancia Coberturas plantas acuáticas	12	2	14
	Tapetes microbianos	Semestral	Caracterización de tapetes / Presencia evaporitas y microbialitos	10	6	16
Suelo	Sustrato	Semestral	Físicas y Químicas	14	-	14
	Sedimento (****Limn)	Semestral	Físicas y Químicas	12	2	14
Agua	Calidad de agua (***)Limn)	Semestral	Físicas y Químicas	12	2	14
	Lagunas	Mensual	Nivel freático lagunas	5	-	5
	Lagunas	Semestral	Superficie cuerpos de agua	No aplica	No aplica	No aplica

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

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

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

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

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

Estos sistemas están constituidos por lagunas; en dichos sistemas, ciertas condiciones de humedad en el área circundante permiten el desarrollo de ecosistemas de vegas. Por tanto, las lagunas y los ecosistemas azonales, cuya estructura está determinada principalmente

por el desarrollo de vegetación azonal dependiente de los niveles de humedad y salinidad del suelo, son el foco de seguimiento de este Plan de Manejo Biótico, por su condición de dependencia de los niveles de agua de los acuíferos, constituyendo así, elementos importantes de dar seguimiento para detectar tempranamente cualquier cambio.

El estado ecológico, de acuerdo con lo establecido en el PMB, se evalúa en términos de tres variables de estado: (1) nivel freático, (2) vegetación azonal¹¹, y (3) superficie de las lagunas, las cuales se presentan en el cuerpo de este Informe Anual N°4 y se analizan con mayor profundidad en el **Capítulo 8.5** de este informe.

En cuanto a los puntos de monitoreo asociados al PMB, estos se presentan en su totalidad en la **Figura N° 2-2** y **Figura N° 2-3**, donde se puede observar la distribución final de los puntos de monitoreo por cada subcomponente en el área de estudio.

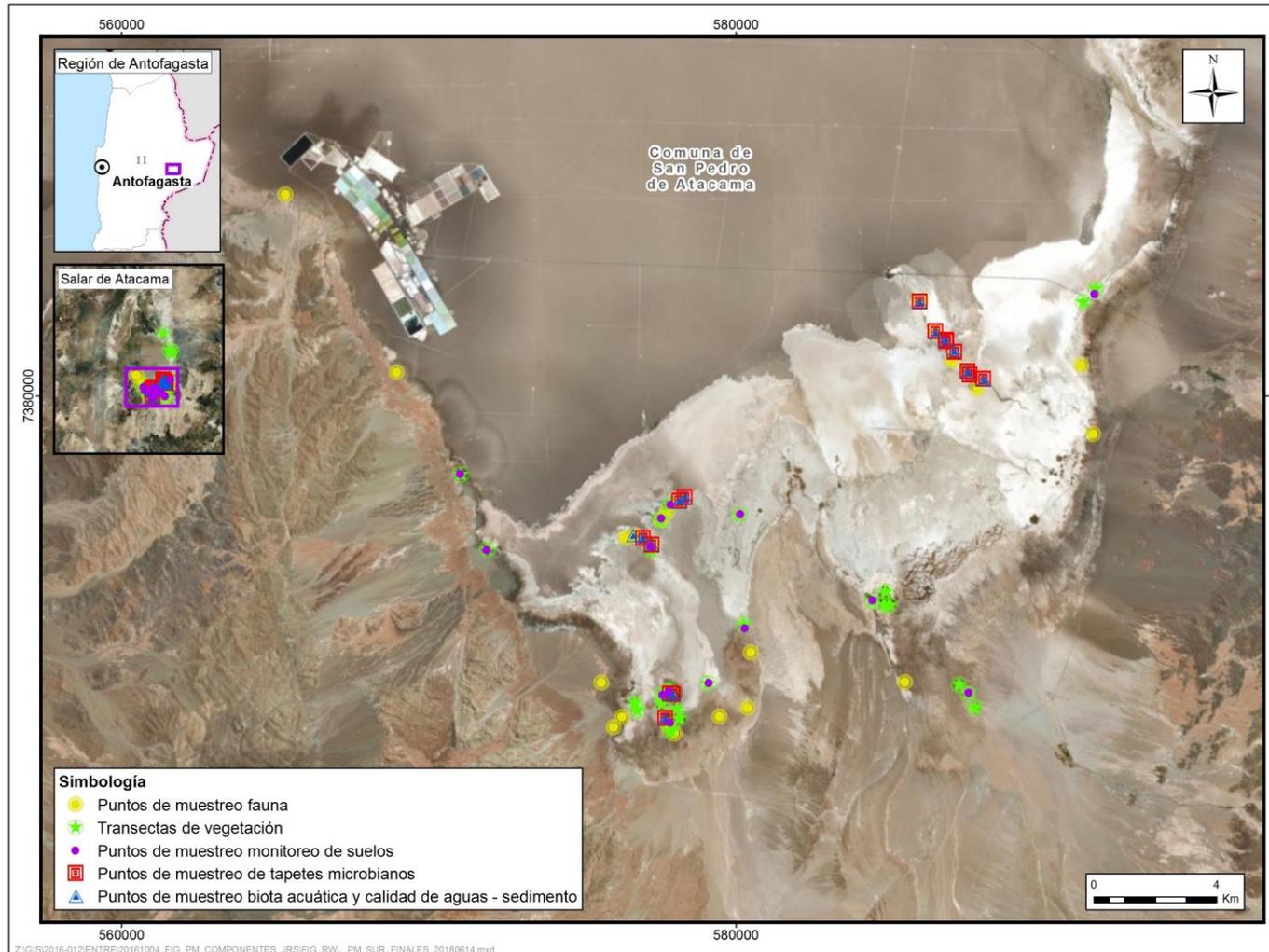
¹¹ Para el capítulo de análisis de cambio de estado ecológico para vegetación azonal de este Informe Anual N°4, se incorpora información de transectas de vegetación azonal con información hasta la campaña de invierno 2019 (M7), dado que no fue posible levantar información de verano 2020 de acuerdo a lo fundamentado, por la Pandemia COVID-19.

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



Fuente: Elaboración Propia

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



Fuente: Elaboración Propia

Es importante indicar que, como estructura de informe, **cada subcomponente con sus variables se presentan en un capítulo específico**, reportando las fechas de campaña, el área de estudio particular, estaciones, parámetros de evaluación, entre otros, siguiendo el formato establecido en la **Resolución Exenta 223/2015** de la Superintendencia de Medio Ambiente. En la **Tabla N° 2-3** se identifican los responsables y ejecutores de las mediciones, muestreo y/o análisis realizados en la campañas de invierno 2019 y trabajo en gabinete de verano post-lluvias 2020 para el componente vegetación azonal (cobertura vegetación activa NDVI) reportadas en el presente informe consolidado anual, de acuerdo a las variables y/o parámetros correspondientes. En **Anexo Responsables y Participantes de las actividades de muestreo** se presenta los responsables de cada componente. Importante es reiterar que dentro del cuerpo de este Informe Anual N°4, se presentan las variables de **superficie de lagunas, niveles freáticos y vegetación**, dado que fue posible su monitoreo en la totalidad de las campañas semestrales del período reportado, es esto, invierno 2019 y verano 2020 (excepto COT y transectas de vegetación azonal que sólo presentan los resultados de invierno 2019) y que son las variables de estado que determinan el **estado ecológico del sistema**.

Tabla N° 2-3. Responsables de Mediciones, Muestreo y/o Análisis

Subcomponente	Variable	Medición	Muestreo	Análisis
Flora terrestre	Composición y cobertura de especies	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	No aplica
Vegetación terrestre	Distribución y cobertura de la vegetación azonal	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	No aplica
Fauna terrestre	Composición, Riqueza y Abundancia	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	No aplica
Flora y fauna acuática	Composición, Riqueza y Abundancia Coberturas plantas acuáticas	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Amakáik Consultoría Ambiental SpA
Tapetes microbianos	Caracterización de tapetes	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Cedrem Consultores / Limnológica Estudios Ambientales	Limnológica Estudios Ambientales
Sustrato	Físicas y químicas	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	Laboratorios acreditados como ETFA: ALS Life Sciences Chile S.A.; y ANAM S.A. Laboratorio AGROLAB y; Laboratorio de Física de Suelos. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile
Sedimentos	Físicas y Químicas	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como ETFA (ANAM S.A.)

Subcomponente	Variable	Medición	Muestreo	Análisis
Calidad de agua	Físicas y Químicas	Laboratorio acreditado como EFTA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como EFTA (ANAM S.A.)	Laboratorio acreditado como EFTA (ANAM S.A.)
Lagunas	Nivel de agua	Albemarle	No aplica	No aplica
	Superficie	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores	Cedrem Consultores

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla N° 2-4** se transcriben los Considerandos de la RCA que dan origen al presente Informe Anual.

Tabla N° 2-4. Identificación de Considerando de la RCA reportada en base a numeral 7.- Plan de Seguimiento Ambiental propuesto en el EIA y sus Adendas.

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

RCA y Adendas	Considerando	Transcripción
		<p>Composición, Riqueza y Abundancia de Anfibios, en 16 puntos. Con procedimiento de medición de Transectas.</p> <p>Todos con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.</p>
	<p>7.- FÍSICO Parámetros físico-químicos del agua (pág. 58, 59)</p>	<p>Columna de agua en 12 puntos.</p> <p>Con procedimiento de medición de análisis en laboratorio, con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.</p>
	<p>7.- FÍSICO parámetros físico-químicos del sedimento (pág. 59)</p>	<p>Sedimento en 12 puntos.</p> <p>Con procedimiento de medición de análisis en laboratorio, con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.</p>
	<p>7.- BIÓTICO, Biota acuática (pág. 59)</p>	<p>Estructura comunitaria de macrófitas en 12 puntos. Con procedimiento de medición de muestras cualitativas.</p> <p>Composición, Riqueza y Abundancia de especies planctónicas (fitoplancton y zooplancton) en 12 puntos. Con procedimiento de medición de agua colectada y fijada, enviada al laboratorio.</p> <p>Composición, Riqueza y Abundancia de especies bentónicas (fitobentos y zoobentos) en 12 puntos. Con procedimiento de medición de sedimentos colectados y fijados, enviados al laboratorio.</p> <p>Todos con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.</p>
	<p>7.- Componentes Especiales (pág. 60)</p>	<p>Tapetes microbianos en 10 puntos, con procedimiento de medición de Puntos de descripción de la estratificación.</p> <p>Microbialitos en 10 puntos, con procedimiento de medición puntual. Evaporitas en 10 puntos, con procedimiento de medición puntual.</p> <p>Todos con frecuencia semestral durante fase de construcción y operación, y reporte anual. Niveles o límites comprometidos es la mantención dentro de su variación histórica.</p>
<p>Adenda 5, Anexo 2</p>	<p>4.2.4. Niveles Freáticos</p>	<p><u>Niveles de freáticos en 5 puntos,</u> Numeral 4.2.4 (Anexo 2) Ubicación de Estaciones de Monitoreo (Pág. 401) <i>“5 Puntos de Niveles freáticos, 3 en La Punta-La Brava los que coinciden con los puntos de monitoreo de niveles del Plan de Alerta Temprana del proyecto en el sector de Alerta Acuífero, más 2 puntos</i></p>

RCA y Adendas	Considerando	Transcripción
	Lagunas	<p><i>en Peine, en los cuales se cuenta con mayor información histórica.”</i> Procedimiento de medición manual, con frecuencia mensual.</p> <p><u>Superficie de lagunas en La Punta-La Brava y Peine, con procedimiento de medición de imágenes satelitales de alta resolución, con frecuencia semestral. (Tabla 4.2-6)</u></p>

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

3 OBJETIVO

El objetivo de este Informe, es presentar los resultados del monitoreo correspondiente al Informe Anual N°4 del Plan de Manejo Biótico del proyecto RWL, comprometido en la RCA 21/2016, los que involucran las componentes y variables de medición de frecuencia Mensual (Niveles Freáticos en Laguna), Semestral, y Anual (Cobertura de Vegetación Activa NDVI) correspondientes a la temporada de invierno 2019 y a la estación de verano 2019-2020, de tal manera de poder verificar tempranamente el comportamiento de las variables y cualquier cambio en su estado ecológico.

4 ALCANCES Y ESTRUCTURA DEL INFORME

Como se mencionó anteriormente, en el cuerpo de este Informe Anual N°4, se presentan las variables de **superficie de lagunas, niveles freáticos y vegetación azonal**, dado que fue posible su monitoreo en la totalidad de las campañas semestrales del período reportado, es esto, invierno 2019 y verano 2020 (excepto COT y transectas de vegetación azonal que sólo presentan los resultados de invierno 2019) y que son las variables de estado que determinan el **estado ecológico del sistema**.

Las restantes variables reportadas en este informe (i.e. Fauna Vertebrados Terrestres, Suelo o Substrato, Limnología y Tapetes microbianos), incorporan solo información de la campaña de invierno 2019, la que es presentada en el **Anexo Informe Semestral Invierno 2019**, para dar cuenta del monitoreo y análisis de todas las variables asociadas al Plan de Manejo Biótico con compromiso semestral. Esta información se presenta como anexo, para no caer en redundancias en cuanto a la presentación de resultados y su posterior análisis, ya que estos fueron entregados en el informe semestral 2019, y considerando que no fue posible ejecutar el monitoreo de verano 2020 específicamente para estas variables.

Para cada subcomponente o agrupación reportado, se presenta un capítulo específico, indicando las fechas específicas de muestreo, medición o análisis de la campaña, el área de estudio, ubicación de los puntos de muestreo, metodologías específicas, materiales y métodos, parámetros de evaluación y los resultados, siguiendo para cada una de estas variables el formato establecido en la Resolución Exenta SMA N°223/2015 de la Superintendencia de Medio Ambiente.

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

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

No obstante, a la particularidad y profundización de los resultados de cada capítulo en su temática, al final del presente informe, en el Capítulo Discusión se desarrolla una evaluación integral de las componentes monitoreadas para dar cuenta de la evolución que se pudiera haber percibido en este cuarto año de mediciones. De acuerdo a lo que se ha fundamentado, para las componentes Fauna Vertebrados Terrestres, Suelo o Sustrato, Limnología (Biota acuática, calidad de aguas y sedimentos) y Tapetes microbianos solo se presenta discusión para la información de Invierno 2019 (ver **Anexo Informe Semestral Invierno 2019**).

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

De acuerdo con lo señalado por el Plan de Manejo Biótico (Anexo 2, Adenda 5), la evaluación de la condición de cambio de las variables de estado señaladas, se realizará por sector de manera independiente (Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo), mediante un análisis de tendencia, cuyos contenidos son incorporados en el Capítulo Estado Ecológico del Sistema del presente informe. Estos cambios de estado ecológico son evaluados principalmente analizando su tendencia promedio en los 3 últimos años y comparando dicha evolución de las variables de estado versus su comportamiento previo (línea de base y registros históricos) junto con la mirada completa de todos los monitoreos realizados hasta la fecha (2017-2020).

A partir del numeral siguiente, se presenta el detalle de cada componente, como un capítulo específico con los lineamientos establecidos en la Resolución de SMA 223/2015.

5 FLORA Y VEGETACIÓN

En el presente informe anual de seguimiento ambiental, se indican las actividades y resultados obtenidos en los monitoreos correspondiente a invierno 2019 y post lluvias 2020, de frecuencia semestral y anual, para el subcomponente ambiental Flora y Vegetación. Asimismo, se entrega un análisis de tendencias con la evolución histórica de los resultados de este componente en los cuatro años de monitoreo, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Manejo Biótico comprometido en la RCA RE N°21/2016 del Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama” de la empresa actual Albemarle, ubicado en la Región de Antofagasta, en adelante el Proyecto.

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

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

En lo que respecta a la campaña post lluvias 2020, en el periodo anual reportado para vegetación y flora en el presente informe, se presenta solo resultados de la determinación de la cobertura de vegetación activa (según NDVI), **no incluyendo en esta oportunidad, las campañas estacionales correspondientes a los seguimientos de la COT y transectas de vegetación de verano 2020, dado que finalmente después de varios intentos, no pudieron ser realizadas, debido a las condiciones sanitarias excepcionales impuestas por la Pandemia Covid-19.** El monitoreo para el seguimiento de la vegetación activa NDVI, se desarrolló durante la temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo posterior a las precipitaciones estivales (invierno altiplánico o andino) tal como quedase establecido en el PMB. Este análisis realizado en gabinete se enmarcó en los días 4 de abril 2020 y 8 de junio 2020, correspondientes a las fechas de capturas de las imágenes satelitales de alta resolución de archivo disponibles para el área de estudio, utilizadas como base del estudio.

La variable cobertura de vegetación activa NDVI, tiene establecido frecuencia anual de análisis, la que debe llevarse a cabo en temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo posterior a las precipitaciones estivales (invierno altiplánico o andino) tal como quedase establecido en el PMB, por lo que los resultados del presente capítulo referidos a situación post lluvias, se enmarcan sólo en esta variable de vegetación.

El objetivo del seguimiento de la variable “Flora y Vegetación” es monitorear y caracterizar la situación de la flora y vegetación azonal en el área de estudio, a través de las metodologías establecidas en la RCA 0021/2016, éstas son: seguimiento a la carta ocupación de tierras (COT), seguimiento de transectas de vegetación con el método de intercepto de puntos en base a la metodología *point quadrat* y seguimiento de la vegetación activa a través del índice NDVI a partir de imágenes satelitales, con el fin de contrastar los resultados del monitoreo con la situación pre operacional del proyecto y de línea base y su evolución en el tiempo.

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

- Monitorear la distribución y la cobertura de la vegetación (zonal y azonal), en su estructura comunitaria horizontal y vertical, en resultados semestrales (en esta oportunidad solo para invierno 2019) a través del método de carta de ocupación de tierras (COT).
- Determinar la cobertura, riqueza, abundancia, y composición vegetal en las transectas de vegetación azonal, en resultados de los monitoreos de frecuencia semestral (invierno 2019).
- Determinar la cobertura de vegetación activa (según la estimación del índice NDVI), priorizando aquellas áreas donde existan formaciones vegetales sensibles a la alteración del suministro hídrico (hidrófilas y/o halófitas), de frecuencia anual en estación de verano post lluvias.
- Comparar los valores de vegetación activa de cada sector, obtenidos a partir del índice NDVI en temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo posterior a las precipitaciones estivales año 2020, con los registros históricos de la línea de base y el monitoreo realizado en verano 2019, verano 2018 y en verano 2017.
- Comparar en la discusión la cobertura y composición vegetal (Monitoreo 7) con el monitoreo inicial (MB0) realizado en la etapa pre operacional del proyecto, junto con la variación o evolución de los monitoreos de invierno anteriores, Monitoreo 1 (2016), Monitoreo 3 (2017) y Monitoreo 5 (2018).

5.1 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.1 COBERTURA Y VEGETACIÓN (COT)

5.1.1.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se sitúa en el Salar de Atacama, en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa, II Región de Antofagasta. Se encuentra a 280 kilómetros al oriente de Antofagasta, y a 27 kilómetros al oriente de Peine, a una altura geográfica aproximada de 2.300 m.s.n.m. El área coincide con el denominado Núcleo del Salar, que corresponde a un cuerpo salino formado de costras duras de cloruro de sodio y depósitos minerales.

Específicamente, el área de estudio corresponde a aquellos sectores del Salar que, en relación a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), concentran la vegetación: La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana. Con el fin de mantener la sectorización establecida por el PMB, se distribuyó el área de estudio en cinco subsectores: (1) Tilopozo, (2) La Punta y La Brava¹², (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana¹³ (**Figura N° 5-1**).

Sólo para la componente Flora y Vegetación, se incorporaron posteriormente a la RCA 21/2016 que aprobó el proyecto, los sectores de Soncor y Quelana, según lo indicado en el informe de Monitoreo de Vegetación, “Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016, aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016”, “Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL”; y en la cual se determinaron las transectas y su metodología para la evaluación pre-operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales del Plan de Seguimiento Biótico del Proyecto (PMB).

En consecuencia, aquellos sectores del Salar que, en relación a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), concentran la vegetación son: La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana. Con el fin de mantener la sectorización establecida por el PMB, se distribuyó el área de estudio en cinco subsectores: (1) Tilopozo, (2) La Punta y La Brava¹⁴, (3) Peine, (4) Soncor y (5) Aguas de Quelana¹⁵ (**Figura N° 5-1**). Es importante mencionar que para la transecta localizada en Soncor (T14), no se ha tenido acceso desde el primer monitoreo,

¹² Con el fin de homologar la sectorización a la establecida por el PMB, se decidió seccionar el área de Tilopozo en dos subsectores: *La Punta y La Brava*, y *Tilopozo*.

¹³ En Quelana, el área de estudio de la COT se extendió con el fin de lograr describir de forma integral este ecosistema y por lo mismo, los límites del estudio se asimilaron a los contemplados en el monitoreo de cuerpos de agua en este sector.

¹⁴ Con el fin de homologar la sectorización a la establecida por el PMB, se decidió seccionar el área de Tilopozo en dos subsectores: *La Punta y La Brava*, y *Tilopozo*.

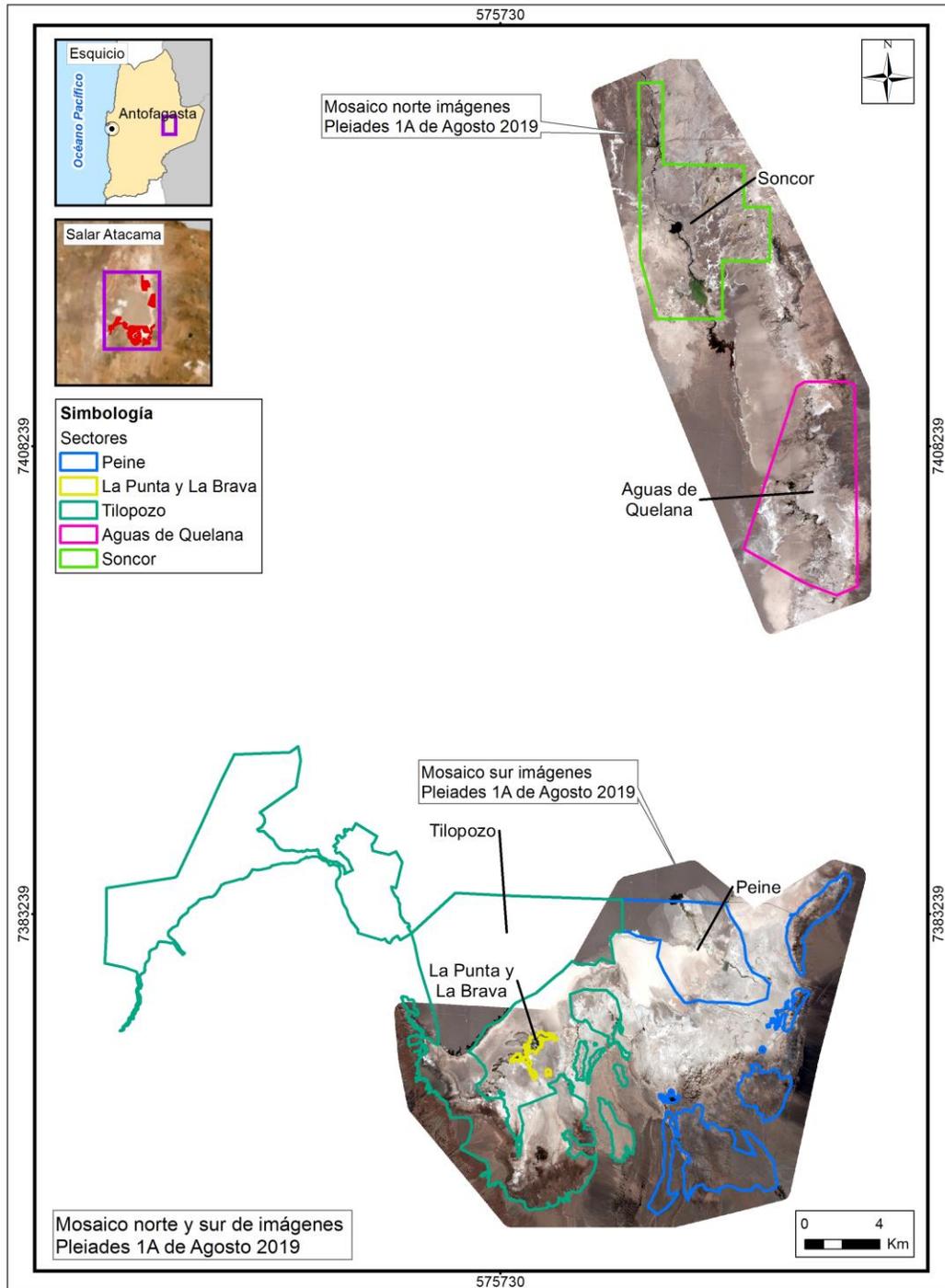
¹⁵ En Quelana, el área de estudio de la COT se extendió con el fin de lograr describir de forma integral este ecosistema y por lo mismo, los límites del estudio se asimilaron a los contemplados en el monitoreo de cuerpos de agua en este sector.

principalmente por daños en el camino de acceso vehicular, e inundaciones en el acceso a la transecta, siendo validada a distancia.

En cuanto a la vegetación del Salar, según lo descrito por Gajardo (1993), el territorio se encuentra inserto en la Región del Desierto, específicamente en el área que corresponde a la formación del Desierto del Salar de Atacama. Esta formación abarca la cuenca completa del Salar de Atacama, la que exhibe un paisaje muy homogéneo. Presenta grandes extensiones carentes de vegetación, salvo en los bordes Este y hacia el Sur, en que se encuentran algunas comunidades esteparias desarrolladas. Estas comunidades son: de *Atriplex atacamensis* – *Tessaria absinthioides* (Cachiyuyo – Brea), de *Acantholippia punensis* – *Franseria meyeniana*, de *Atriplex atacamensis* – *Acantholippia trifida* y la de *Prosopis chilensis* – *Geoffroea decorticans*.

Por otro lado, considerando los pisos vegetacionales de Luebert y Pliscoff (2017), el área del Salar se encuentra ubicada en el llamado Matorral Desértico Tropical Interior de *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides*: se manifiesta como un matorral alto, freatófilo, dominado por los arbustos *Atriplex atacamensis*, *Tessaria absinthioides* y la gramínea *Distichlis spicata*. Su presencia asociada a los salares, estaría determinada por la existencia de una napa freática que proporciona la humedad suficiente para compensar el déficit hídrico provocado por la escasez de precipitaciones, a pesar de lo cual se ha considerado como una unidad independiente. Ocasionalmente es posible observar la presencia de los árboles espinosos *Prosopis alba* y *Geoffroea decorticans*. Debido a estar edáficamente condicionada no es posible reconocer comunidades zonales e intrazonales.

Figura N° 5-1. Área de estudio vegetación .



Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2 Ubicación de puntos muestreo

La **Figura N° 5-1** muestra la ubicación de los puntos de muestreo de esta componente. Cabe señalar que, para el seguimiento de la COT, no se contaba previamente en el marco del PMB con puntos de muestreo establecidos para su seguimiento semestral en terreno, por lo que se definieron a partir del monitoreo base MBO en julio de 2016. Para dicha definición, se consideraron como primera referencia los puntos de inicio de las transectas (**ver sección 5.1.2.1**), a los cuales se les aplicó la metodología COT de manera de poder obtener una cobertura más robusta y representativa del sistema a caracterizar. Todos estos puntos originales y adicionales ya han sido informados y analizados en el Informe Anual N°1 (2016-2017), en el informe Anual N°2 (2017-2018) y en el informe Anual N°3 (2018-2019) y también en los Informes Semestrales.

Para este monitoreo de invierno 2019, correspondiente al cuarto año de seguimiento, se levantó información de 60 puntos de monitoreo correspondientes a cada polígono sujeto a seguimiento definido en la COT y en los comprometidos para el seguimiento. Estos puntos COT corresponden a los 59 puntos de monitoreo previamente definidos en campañas anteriores, más un punto complementario agregado en esta última campaña (MPC001). Este punto se agregó con el objetivo de reforzar el seguimiento con NDVI en el sector de Peine, en zonas expuestas a quema con escasa regeneración evidenciada en esta campaña (**Figura N° 5-1 y Anexo Vegetación y Flora: Cartografía COT (Invierno 2019)**).

Es importante señalar que los puntos monitoreados son representativos de polígonos de las formaciones vegetales comprometidas en el Anexo 2, Adenda 5 RWL: Herbazal de *Schoenoplectus californicus*, Herbazal de *Juncus balticus*, Herbazal de *Distichlis spicata*, Matorral de *Sarcocornia fruticosa*, donde se incorporó el polígono con co-dominancia de *Nitrophila atacamensis* (Formaciones Azonales); y el Matorral de *Tessaria absinthioides* (Formación Zonal); y que los puntos seleccionados hayan sido muestreados anteriormente en las campañas de validación COT (trazabilidad).

Considerando la extensión del área de estudio, se realizó el recorrido en vehículo y en forma pedestre, las unidades cartográficas designadas para el monitoreo, que incluye el criterio de accesibilidad a los distintos subsectores.

Tabla N° 5-1. Puntos de validación COT, campaña de invierno 2019.

SUBSECTOR	CÓDIGO PUNTOS COT	CÓDIGO ASOCIADO A TRANSECTAS/COT	Coordenadas UTM (WGS84)	
			Este	Norte
Peine	PE003	T03	584870	7373199
	PE004	T04	584450	7373358
	PE007	T07	587538	7370322
	PE008	T08	591329	7383068
	PE009	T09	591730	7383499

SUBSECTOR	CÓDIGO PUNTOS COT	CÓDIGO ASOCIADO A TRANSECTAS/COT	Coordenadas UTM (WGS84)	
			Este	Norte
	PE010	CAC024	587738	7371289
	PE014	CAC028	591508	7378099
	PE015	CAC029	592690	7383248
	PE016	CAC030	591901	7383155
	PE017	CAC031	591476	7383136
	PE020	JLS023	585013	7373509
	PE022	JLS025	585727	7372392
	PE024	VPR003	585149	7373376
	PE025	T02	584864	7373653
	PE026	T01	584979	7373198
	PE027	T05	587784	7369847
	PE028	T06	587249	7370627
	PE029	RPV026	591440	7383173
	-	MPC001	584847	7373158
La Brava	LB003	T10	577230	7374967
La Punta	LP001	T11	577546	7375994
	LP002	T12	577872	7376446
	TL059	T13	580099	7376130
Tilopozo	TL001	T18	576735	7370058
	TL003	T20	577581	7370304
	TL004	T21	579122	7370660
	TL005	T22	578107	7369841
	TL006	T23	578198	7369527
	TL009	T26	571909	7375029
	TL010	T27	571081	7377447
	TL011	T28	580249	7372583
	TL012	T29	577865	7370468
	TL013	T30	577602	7369977
	TL014	T31	576807	7369755
	TL015	CAC001	575683	7372556
	TL016	CAC002	574559	7372618
	TL022	CAC008	571517	7376668
	TL024	CAC010	576632	7370652
	TL025	CAC011	576303	7370302
	TL027	CAC013	576506	7370061
	TL029	CAC015	577770	7369319
	TL033	CAC021	579309	7373995
TL036	JLS001	575742	7371469	
TL039	JLS004	572401	7374900	

SUBSECTOR	CÓDIGO PUNTOS COT	CÓDIGO ASOCIADO A TRANSECTAS/COT	Coordenadas UTM (WGS84)	
			Este	Norte
	TL044	JLS009	577604	7370528
	TL047	JLS012	577553	7369903
	TL051	JLS016	579936	7369678
	TL052	JLS020	580977	7375826
	TL054	VPR001	575790	7371575
	TL055	VPR002	577758	7370522
	TL056	T19	577853	7370416
	TL057	T24	577922	7369310
	TL058	T25	577901	7369109
Aguas de Quelana	QE001	T15	593317	7403472
	QE002	T16	591112	7405899
	QE003	T17	591450	7405511
	QE005	CAC032	594640	7401839
	QE006	CAC034	594624	7402441
	QE008	CAC036	594578	7403454
Soncor	-	T14*	585849	7418685
	SO001*	RPV015	585849	7418685

*: Transecta y punto COT sin muestreo estacional en Monitoreo 7 por restricciones de acceso al subsector Soncor.

Fuente: Elaboración propia.

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

El parámetro de seguimiento utilizado en el análisis de vegetación en cumplimiento a lo dispuesto por la RCA, corresponde a la **distribución y cobertura de vegetación azonal**, a través del método de carta de ocupación de tierras (en adelante COT) y los parámetros de **composición, riqueza y cobertura**, orientado a la **caracterización florística** de cada una de las transectas y por sector. Los parámetros analizados equivalen a la condición semestral estimada por sector, en base al seguimiento en invierno 2019.

El levantamiento de la información y la clasificación de las formaciones vegetales, a través de la COT, describe la vegetación desde una perspectiva fisionómica, para lo cual se determinaron los siguientes elementos: especies dominantes, estratificación de especies según su altura, cobertura total de la formación y de especies dominantes, la posición topográfica y el grado de alteración de la vegetación, en cada punto COT relevado.

Para la estratificación se usan los cuatro tipos biológicos definidos por Godron *et al.* (1968) como base (herbáceo, leñoso bajo, leñoso alto y suculento) y sobre éstos se suma la información de las especies dominantes, las cuales se codificaron de acuerdo a la metodología de COT, como muestra la **Tabla N° 5-2**, la cual sintetiza el modo de codificación de los tipos biológicos detectados en terreno.

Tabla N° 5-2. Estratificación por tipos biológicos y codificación de especies dominantes.

TIPO BIOLÓGICO	GÉNERO	ESPECIE	EJEMPLO
Herbáceo	Minúscula	Minúscula	<i>Baccharis juncea</i> : bj
Leñoso Bajo	Mayúscula	Minúscula	<i>Tessaria absinthioides</i> : Tb
Leñoso Alto	Mayúscula	Mayúscula	<i>Polylepis tarapacana</i> : PT
Suculento	Minúscula	Mayúscula	<i>Maihueniopsis boliviana</i> : mB

Fuente: Elaboración en base a Etienne & Prado (1982)

La altura de los estratos se codificó de acuerdo a los valores señalados en la **Tabla N° 5-3**.

Tabla N° 5-3. Categorías de altura empleadas para la vegetación.

TIPO BIOLÓGICO	RANGO DE ALTURA (M)	CÓDIGO
Suculentas (S) Herbáceas (H) Arbustos (Leñoso Bajo: LB)	0 – 0,05	1
	0,05-0,25	2
	0,25 -0,50	3
	0,5 – 1	4
	1 - 2	5
	> 2	6
Árboles (Leñoso Alto: LA)	< 2	5
	2 - 4	6
	4 - 8	7
	8 - 12	8
	12 – 20	9
	20 - 32	10
> 32	11	

Fuente: Elaboración en base a Etienne & Prado (1982)

La cobertura de las especies se estima visualmente en terreno. Para cada unidad vegetal se registran las especies dominantes, la **Tabla N° 5-4** resume la codificación de las medidas de cobertura de acuerdo a la metodología empleada.

Tabla N° 5-4. Rango de valores para la cobertura vegetal.

COBERTURA %	DENSIDAD	CÓDIGO	ÍNDICE
1 – 5	Muy escasa	me	1
5 – 10	Escasa	e	2
10 – 25	Muy clara	mc	3
25 – 50	Clara	c	4
50 – 75	Poco densa	pc	5
75 – 90	Densa	d	6
90 – 100	Muy densa	md	7

Fuente: Etienne & Prado (1982).

La caracterización de la posición topográfica de la vegetación se efectúa siguiendo el procedimiento utilizado para la generación del Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile (CONAF – CONAMA –BIRF, 1999). La **Tabla N° 5-5** presenta las diferentes categorías de posición topográfica utilizadas para los sectores monitoreados.

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

CÓDIGO	POSICIÓN TOPOGRÁFICA
1	Terreno plano
2	Terraza
3	Cumbre escarpada
4	Cumbre redondeada
5	Alto ladera
6	Media ladera
7	Bajo ladera
8	Ladera escarpada
9	Depresión abierta
10	Depresión cerrada
11	Ladera
12	Lomajes
13	Dunas

Fuente: CONAF-CONAMA-BIRF (1999).

El grado de alteración de las formaciones vegetales, se determina visualmente en terreno de acuerdo a los criterios semicuantitativos establecidos en la **Tabla N° 5-6**.

Tabla N° 5-6. Caracterización del grado de alteración de la vegetación en las formaciones vegetales.

GRADO DE ALTERACIÓN	CARACTERÍSTICAS	CÓDIGO
Vegetación en estado natural	Estructura primaria no modificada. Composición florística autóctona y con individuos mayoritariamente sin daños por agentes bióticos o abióticos. Sin signos evidentes de intervención antrópica.	1
Vegetación alterada	Estructura primaria modificada. Composición florística principalmente autóctona. La vegetación puede presentar daños en los individuos	2

GRADO DE ALTERACIÓN	CARACTERÍSTICAS	CÓDIGO
	(bióticos, abióticos y/o antrópicos) o evidencias de intervención antrópica hasta en un 30% de su cobertura. (Ej.: Explotación, corta, descepado; movimientos de tierra, presencia de caminos u otras interrupciones en la continuidad de las formaciones vegetales).	
Vegetación deteriorada	Estructura primaria y composición florística modificada, con probable presencia de especies de origen alóctono. La vegetación puede presentar daños en los individuos (bióticos, abióticos y/o antrópicos) o evidencias de intervención antrópica, en más de un 30% de su cobertura.	3
Vegetación muerta	Sectores donde la cobertura vegetal ($\geq 50\%$) se encuentra muerta (deterioro importante de los tejidos que impide una recuperación de los individuos), por lo que existe una pérdida de las características propias de la formación vegetal original.	4

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.4 Materiales y equipos utilizados

Los implementos utilizados para el muestreo de vegetación son:

- Un navegador Garmin 20X ETREX, para localizar los puntos de muestreo en el área de estudio. Además, se georreferenciaron con este GPS las coordenadas en UTM (Universal Transversal de Mercator), en Datum WGS 84 19S, de cada formación descrita.
- Un formulario tipo y cartografía de terreno.
- Cámara fotográfica. Se realizó un registro fotográfico de la formación vegetal, sistematizando la toma fotográfica con cuatro fotografías orientadas según los puntos cardinales.
- Imágenes satelitales. Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio, provienen del sensor Pleiades-1A, y en su conjunto conforman dos mosaicos, el primero en el sector norte que comprenden los sistemas lagunares de Soncor y Aguas de Quelana, y el segundo en el sector sur que corresponde a los sistemas de Tilopozo, La Punta y La Brava, y Peine. En el caso del monitoreo de invierno 2019, para la validación de la fotointerpretación de la COT se utilizaron imágenes satelitales (imágenes multiespectrales de alta resolución del sensor Pleiades-1A de agosto de 2019).

5.1.1.5 Metodología de muestreo

5.1.1.5.1 Diseño y tipo de muestreo

El tipo de muestreo utilizado corresponde al diseño estratificado-dirigido. Los estratos corresponden a los tipos de formaciones vegetales definidos por la COT. En estos estratos se localizaron los puntos de muestreo, cuya distribución espacial se realizó de manera dirigida por el especialista a cargo, de acuerdo a sus conocimientos y los criterios descritos continuación.

En primer término, los puntos de muestreos se distribuyeron de modo de abarcar la mayor diversidad vegetal del área, intentando interpretar, con al menos un muestreo, la mayor proporción de las unidades (polígonos) vegetales descritos en la línea de base del proyecto, con prioridad en las unidades azonales objeto de seguimiento.

5.1.1.5.2 Trabajo en terreno

El trabajo de terreno tiene como propósito ejecutar el diseño de muestreo preparado en gabinete para recabar los registros de vegetación en los sectores de estudio.

El relevamiento, según este método considera el siguiente procedimiento para el catastro de información:

- Validación en terreno de la delimitación de unidades cartográficas (realizada mediante fotointerpretación en gabinete, sobre los polígonos descritos en la COT de este periodo);
- En cada unidad cartográfica, estratificación de la comunidad vegetal según tipo biológico y determinación en cada estrato de las especies dominantes, definidas como aquellas especies que presentan el mayor porcentaje de cobertura (Etienne & Prado 1982);
- Caracterización en términos estructurales de cada unidad cartográfica con vegetación: registro de la cobertura por tipo biológico y, para las especies dominantes, de su altura y cobertura vegetal;
- Reconocimiento de la composición florística de cada unidad descrita;
- Determinación cualitativa del relieve y la topografía de la unidad.
- Reconocimiento de los atributos que describen el estado de la vegetación, orientado a determinar su grado de alteración en cada unidad cartográfica.

Considerando la extensión del área de estudio, se recorrieron en vehículo y en forma pedestre, las unidades cartográficas más representativas de las formaciones vegetales presentes en el área de estudio, que estuvieran ubicadas en lugares accesibles y/o libres de peligros.

5.1.1.5.3 Delimitación y atribución de formaciones vegetales

Para fines del monitoreo, desde la información COT se ajusta la escala de trabajo de línea de base, a una escala con mayor nivel de detalle, necesaria para el seguimiento del subcomponente, de manera de percibir adecuadamente la variabilidad ambiental a lo largo del monitoreo.

Este proceso de aumento en el detalle de la COT, incluye la delimitación de las unidades homogéneas de vegetación (polígonos) mediante fotointerpretación a la escala de trabajo 1:2.000. Esta escala permite reconocer con mayor precisión los límites naturales disminuyendo cortes abruptos en el análisis cartográfico. Luego se realiza la clasificación/atribución de dichas unidades, según los tipos de recubrimiento de suelo, los que se subdividen a su vez de acuerdo al tipo de formación vegetal según se listan en la **Tabla N° 5-7**.

El proceso inicial de fotointerpretación, se realiza a través de la plataforma SIG, en el software ArcGIS versión 10.3, usando imágenes multiespectrales de alta resolución, las cuales provienen del satélite Pleiades-1A (pixel de 2 metros).

Los polígonos resultantes son atributados según la nomenclatura que se define en la **Tabla N° 5-7** y **Tabla N° 5-8**, para obtener una caracterización acorde al análisis de la vegetación azonal hídrica. Esta nomenclatura, se basa en la metodología de la COT (Etienne & Prado 1982).

En relación a la atribución de las unidades cartográficas de la COT a continuación, se describen los distintos niveles de análisis, los cuales se utilizan para las clasificaciones de recubrimiento de suelo y sus tipos de vegetación:

- I. **Unidad cartográfica (UC):** corresponde a un polígono de la cartografía COT. Su código identificador es único.
- II. **Unidad vegetal (UV):** conjunto de unidades cartográficas que tienen atributos comunes en términos de la COT, referido al tipo de formación vegetal u otro recubrimiento del suelo, coberturas por tipo biológico y especies dominantes.
- III. **Formación vegetal:** conjunto de plantas, de una o varias especies, que comparten características de forma y comportamiento (Godron, Daget & Emberger, 1968; Etienne & Prado, 1982). Estas características incluyen aspectos estructurales de abundancia, estratificación y cobertura, es decir, es la expresión de la flora en un área determinada, más la dimensión de abundancia, estratificación y dominancia, entre otras. Este enfoque, de tipo fisonómico, está basado en los conceptos de estratificación (referido a la disposición vertical de la vegetación) y cobertura, lo cual permite dar una imagen de la disposición vertical y horizontal de las especies en terreno (*in situ*).

- IV. **Tipo de formación vegetal:** conjunto de formaciones vegetales reunidas en base a la representatividad de sus tipos biológicos en términos de dominancia. Esta clasificación se realiza con el fin de hacer un análisis con enfoque ecológico a la vegetación y se diseñó a partir de las categorías del uso de suelo definidas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF 1999) y de la clasificación de la vegetación de Chile según distintos autores (Gajardo 1994; Luebert & Pliscoff 2017). La **Tabla N° 5-7** lista los tipos de formaciones utilizados.
- V. **Recubrimiento de suelo:** zonificación de los tipos de formaciones vegetales y otras coberturas de la superficie terrestre. Esta clasificación fue realizada a partir de las categorías de uso de suelo¹⁶ definidas para el Catastro y Evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF 1999). La **Tabla N° 5-8** lista las categorías usadas en el presente estudio.
- VI. **Tipo de recubrimiento de suelo:** conjunto de tipos de recubrimientos de suelo clasificados como vegetación u otros recubrimientos. Además, para los tipos “con vegetación”, ésta se divide en dos tipos según sus patrones de distribución:
- a) *vegetación zonal*, cuando las formaciones vegetales presentan una distribución espacial que responde a elementos característicos de la zona, donde las condiciones climáticas regionales están plenamente expresadas.
 - b) *vegetación azonal*, cuando las formaciones vegetales presentan una distribución local y/o particular, independiente de las condiciones climáticas regionales, ya que responden a elementos específicos del sitio, como el tipo de suelo, sustrato o humedad (Luebert & Pliscoff 2006; Font-Quer 1965). Esta cobertura de vegetación está controlada fundamentalmente por el aporte de agua subterránea y condiciones climáticas regionales, los que las hace particularmente frágiles (MMA, 2011).

En “otros recubrimientos”, se distinguen tres recubrimientos de suelo que no presentan vegetación, ya sea por causas naturales (áreas desprovistas de vegetación) o por causas antrópicas (áreas industriales), y en el caso de los cuerpos de agua que corresponden a lagunas dentro del salar.

¹⁶ Uso de suelo: Categorías en base a la planificación, estado y regulaciones del uso de la tierra en Chile, que comprenden Áreas urbanas e industriales, Terrenos agrícolas, Bosques, Humedales, Áreas desprovistas de vegetación, Nieves y glaciares, Aguas continentales y Áreas no reconocidas (CONAF 1999).

Tabla N° 5-7. Categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones utilizadas en el proceso de fotointerpretación y validación en terreno.

RECUBRIMIENTO			TIPO DE FORMACIÓN O RECUBRIMIENTO	Código
Tipo de vegetación o recubrimiento	Línea de Base	Homologación en Monitoreo/ Seguimiento		
VEGETACIÓN ZONAL	Formación matorral	Matorrales	Matorral	4.1
VEGETACIÓN AZONAL	Formación herbazal	Humedales	Vega	5.1
	Formación matorral	Matorral - humedal	Matorral hídrico	6.1
			Matorral hídrico - Vega	6.2
			Matorral - Vega	6.3
OTROS RECUBRIMIENTOS	Misceláneos	Áreas industriales	Centros industriales	1.1
			Suelos removidos	1.2
	Humedales	Cuerpos de agua	Lagunas, Lagos, Embalses	2.1
	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	Salares	3.1
			Áreas denudadas	3.2

Dónde: Código es con el que se identifican los tipos de formación por recubrimiento de suelo en formularios de terreno y cartografía COT.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5-8. Definición de categorías de recubrimiento de suelo y tipos de formaciones con presencia en el área de estudio.

CATEGORÍAS	DEFINICIÓN
RECUBRIMIENTOS DE SUELO	
<i>Áreas industriales</i> ¹	Sectores ocupados por instalaciones industriales, caminos y/o suelos removidos por maquinaria pesada. Pueden desarrollarse especies nativas en estas áreas, pero sus coberturas son inferiores a un 5%, con una distribución heterogénea en las unidades.
<i>Áreas desprovistas de vegetación</i> ¹	Sectores donde la cubierta vegetal es nula o se limita a individuos aislados, que en conjunto no superan el 5% de cobertura. Se encuentran en esta categoría salares y áreas denudadas por efectos de erosión natural. Es importante considerar, que en estas unidades se puede presentar una cobertura vegetal (muy escasa), pero que no llega a conformar vegetación, tanto por la baja cobertura y por su distribución heterogénea dentro de la unidad.
<i>Cuerpos de agua</i> ¹	Es el curso o volumen de agua natural o artificial, saladas o dulces, oceánicas o continentales superficiales, móviles o estancadas, que cubre parte del territorio, individualizable por sus características naturales, sus usos o por sus límites administrativos. Dentro de esta categoría se encuentran lagos, lagunas o embalses y ríos.
<i>Matorrales</i> ^{4 y 7}	Superficies cubiertas con vegetación donde predomina el tipo biológico arbustivo. Se incluyen distintos tipos de formaciones dependiendo de la dominancia que tenga el estrato arbustivo y los otros estratos acompañantes y/u otras características ecológicas particulares.

CATEGORÍAS	DEFINICIÓN
RECUBRIMIENTOS DE SUELO	
<i>Humedales</i> ⁶	Superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, y con desarrollo de vegetación, en la que domina el tipo biológico herbáceo con coberturas que pueden alcanzar el 100%. Se incluyen vegas, matorrales hídricos o formaciones mixtas que incluyen combinaciones de las formaciones anteriores.
<i>Matorral – Humedal</i> ⁶	Superficies cubiertas por vegetación mixta entre formaciones de los recubrimientos matorral y humedal, donde la cobertura del tipo biológico arbustivo y del tipo herbáceo es similar, y están asociadas a disponibilidad superficial de agua de manera permanente o estacional, o donde la cobertura del tipo biológico arbustivo es dominante en superficies asociadas a disponibilidad superficial de agua de manera permanente o estacional. Se identifica el tipo Matorral hídrico y podría presentarse la formación mixta Matorral - Vega.
TIPOS DE FORMACIONES	
<i>Matorral</i> ^{1, 2, 3 y 4}	Formación vegetal donde predominan especies arbustivas o arbóreas, el tipo biológico arbóreo constituyendo una cobertura de copa menor al requerido en la definición legal de bosque nativo. El tipo biológico arbustivo es dominante y puede variar entre 5 a más del 75% de cobertura; y el tipo biológico herbáceo puede estar entre 0 y 100%.
<i>Matorral hídrico</i> ⁵	Formación vegetal donde el tipo biológico arbóreo es menor al 5%, el arbustivo es dominante y puede variar entre 5 a más del 75%; y el tipo biológico herbáceo puede estar presente, entre 0 y 100%. Corresponde a formaciones asociadas a disponibilidad superficial de agua de manera permanente o estacional.
<i>Vega</i> ⁶	Formación vegetal donde predomina la cobertura del tipo biológico herbáceo, que puede variar entre 5 a más del 90% de cobertura; y el tipo biológico arbustivo puede estar presente bajo un 5 % de cobertura. Se caracteriza por presentar plantas rizomatosas dominantes con un crecimiento <40 cm de altura, en sustratos con acumulación muy variable de materia orgánica y un contenido de humedad variable alcanzando al menos su capacidad de campo en periodo estival, o con baja saturación a completamente saturados en vegas salinas.

Dónde: (1): CONAF, CONAMA y BIRF (1999); (2): Luebert y Pliscoff (2006); (3): Etienne y Prado (1982); (4) CONAF (2014), Guía de Evaluación Ambiental; (5) Faúndez (2013); (6) Definición simplificada por Cedrem Consultores en base a las referencias Ahumada y Faúndez (2009), CONAF, CONAMA y BIRF (1999) y Documento informativo Ramsar No.1 (1971); (7): Cedrem Consultores.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.6 Metodología de cálculo y análisis

5.1.1.6.1 Análisis de vegetación

Toda la información recogida en el muestreo, es ordenada y almacenada digitalmente en una base de datos de consulta, sobre la información ya recogida para el componente en la línea de base del proyecto.

Posteriormente, se desarrolla un trabajo de revisión y sistematización de la información, comparando la información proveniente de los formularios con los registros de COT y de flora para las especies dominantes con nombres científicos verificados, y las fotografías de terreno. Esto, en conjunto con las observaciones provenientes de terreno, permitió validar o reclasificar las distintas unidades homogéneas catastradas en los tipos de recubrimiento de suelo y los tipos de formaciones vegetales, señalados anteriormente en la **Tabla N° 5-7**.

A partir de los registros relevados en las unidades cartográficas, se construye una base de datos y una cobertura digital en formato *shape* de la cartografía COT. De esta manera, se caracterizó la vegetación (u otro recubrimiento si correspondiese), incluyendo los siguientes aspectos y atributos:

- *Información de referencia:* código punto de muestreo, coordenadas UTM y altitud, sector del proyecto;
- *Atributos de caracterización de la vegetación:* recubrimiento del suelo, tipo de formación, formación vegetal, especies dominantes y rango de cobertura por tipo biológico; rangos de altura y cobertura por especie dominante;
- *Atributos topográficos de sitio:* altitud, posición topográfica, exposición y pendiente;
- *Atributos ambientales:* grado de alteración.

A continuación, se describen los procesos llevados a cabo para analizar la información en gabinete, y así describir en los sectores de muestreo, los atributos de la vegetación recientemente listados:

a) Codificación de las unidades vegetales y cartográficas

La Unidad Vegetal (UV) corresponde al conjunto de unidades cartográficas homogéneas, que comparten los mismos atributos de recubrimiento de suelo, tipo de formación, estructura y composición según nomenclatura COT. En formaciones vegetales, específicamente comparten valores de coberturas por tipo biológico y especies dominantes.

La codificación UV corresponde a un código mixto de letras y números: las primeras letras aluden al proyecto (RWL) las que además, van acompañadas por un número identificador de la UV (ver ejemplos en la **Tabla N° 5-9**).

El segundo codificador identifica, con un código único, a cada una de las Unidades Cartográficas (UC) que componen una UV. Este código se encuentra en función del código UV al que pertenecen, acompañado de un número correlativo asociado al número de polígonos presentes en cada sector (ver ejemplos en la **Tabla N° 5-9**).

Tabla N° 5-9. Ejemplos de codificación de las unidades vegetales homogéneas según análisis de recubrimiento de suelo y tipo de formación según nomenclatura COT.

Ejemplo	Recubrimiento de Suelo	Tipo Formación	Atributos COT		Ejemplo Codificación	
			Tipo biológico / Cobertura	Especies dominantes	UV	UC
1	Humedales	Vega	H2	sca	RWL-031	RWL-031-163
2	Humedales	Vega	H2	dp	RWL-030	RWL-031-161
3	Humedales	Vega	H2	dp		RWL-031-162
4	Matorral - Humedal	Matorral - Vega	LB3 H5	Tb dp	RWL-055	RWL-055-113
5	Matorral - Humedal	Matorral - Vega	LB4 H3	Tb dp	RWL-046	RWL-046-90

Dónde: COT: Carta de Ocupación de Tierras; Tipos biológicos: (LB): Leñoso bajo, (H): Herbáceo, (S) Suculento.
 Coberturas: (3): muy clara (10-25 %), (6): densa (75-90 %), (7) muy densa (90-100 %). Especies dominantes: sca: *Schoenoplectus californicus*, dp: *Distichlis spicata*, Tb: *Tessaria absinthioides*.

Fuente: Elaboración propia

b) Denominación de las formaciones vegetales

De las distintas UV identificadas, fueron agrupadas aquellas homogéneas en cuanto a la cobertura por tipo biológico y a las especies dominantes. Estas agrupaciones corresponden a las diferentes formaciones vegetales en el área de estudio, determinadas así por la representatividad del tipo biológico y las especies dominantes en cada estrato. En la **Tabla N° 5-10**, se observan algunos ejemplos de cómo se denominan finalmente las formaciones vegetales, siguiendo los ejemplos de codificación de la UV que fueron presentados en la **Tabla N° 5-9**.

Tabla N° 5-10. Ejemplos de la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la codificación de las unidades vegetales (UV).

Ejemplo	Código UV	Descripción UV	Formación Vegetal
1	RWL-033	Vega muy clara	Vega de <i>Juncus balticus</i>
2	RWL-020	Vega clara	
3	RWL-021		
4	RWL-052	Matorral escaso -Vega muy claro	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>
5	RWL-056	Matorral muy claro -Vega claro	

Fuente: Elaboración propia

Se consideró esta denominación con el objeto de facilitar la comprensión de los análisis e interpretación de los resultados, por lo que sólo se traduce en una adaptación de la

propuesta metodológica original de la COT, ya que establece la denominación de la formación por el uso del tipo biológico dominante seguido por su estratificación y cobertura (ej. formación leñosa alta muy escasa), de manera que su comprensión es más directa, y facilita la interpretación para fines del seguimiento de las formaciones vegetales. En la **Tabla N° 5-11** se muestran algunos ejemplos comparativos.

Tabla N° 5-11. Ejemplos comparativos para la denominación de las formaciones vegetales realizada a partir de la nomenclatura COT.

Ejemplo		Definición
1	Nomenclatura COT	Formación herbácea muy clara (H3).
	Nomenclatura Proyecto	Vega de <i>Distichlis spicata</i> (H3)
2	Nomenclatura COT	Formación leñosa baja muy clara (LB3) - Formación herbácea baja muy clara (H3).
	Nomenclatura Proyecto	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i> (LB3 H3)

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se definió una segunda categoría denominada “agrupación”, la cual asocia algunas formaciones vegetales identificadas en el área de estudio en función de sus especies dominantes. Esta agrupación se relaciona a lo comúnmente llamado comunidad vegetal en descripciones bibliográficas. El objetivo de esta clasificación es simplificar la descripción al lector y revisor del componente, ya que formaciones vegetales similares tienden a dividirse en muchas unidades debido a características específicas de su composición florística, a la escala de trabajo de la fotointerpretación y a la delimitación de las unidades homogéneas de la vegetación del sector.

En la **Tabla N° 5-12** presentan ejemplos referenciales para entender a qué se refiere esta agrupación de formaciones vegetales. Cabe señalar, que siempre que estas formaciones se encuentren dentro de una agrupación, las mismas se nombran “con dominancia de” para diferenciarlas de aquellas no incluidas en esta categoría.

Tabla N° 5-12. Ejemplo de agrupación de formaciones vegetales.

Nombre de la agrupación	Nombre de la Formación vegetal
Matorral -Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>
	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> , y <i>Schoenoplectus californicus</i>
	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>
	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> , y <i>Distichlis spicata</i>
	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Schoenoplectus californicus</i> , y <i>Juncus balticus</i>
	Matorral - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Distichlis spicata</i> , y <i>Baccharis juncea</i>

Fuente: Elaboración propia

c) Interpretación de las alturas y coberturas por tipo biológico

Sobre las denominaciones y descripciones de la vegetación, es importante recordar que cada formación vegetal o agrupación de formaciones vegetales está constituida de una a varias unidades cartográficas. Es por esto, que una formación vegetal o agrupación, presenta generalmente una variabilidad en la cobertura de las especies dominantes que componen un tipo biológico y/o de las alturas para los estratos por tipo biológico.

Atendiendo a esto, para la presentación de los resultados COT en la descripción de la vegetación se entrega el rango de altura y de cobertura identificado para todas las unidades descritas en una formación vegetal, así como la mediana dentro de este rango para identificar los valores más recurrentes para tales características.

Por ejemplo, una formación vegetal dominada por un estrato arbustivo (Matorral de *Ephedra breana*) puede presentar una altura variable del estrato arbustivo entre 5 cm y 0,50 m de altura, pero una mediana entre 25 y 50 cm. Y para la cobertura, se puede dar el caso que presente una variabilidad entre 10 y 75% de cobertura vegetal en el estrato arbustivo, pero con valor recurrente (mediana) de entre 25 y 50%, que correspondería a una cobertura clara. En la **Tabla N° 5-13** se describen algunos ejemplos de cómo se presentan los resultados COT.

Tabla N° 5-13. Ejemplos de descripción de formaciones vegetales: rangos de altura y de cobertura identificados en las unidades descritas y su mediana (valores recurrentes).

<i>Formación vegetal</i>	Especies dominantes	Altura Vegetal Mediana (Rango)*		Cobertura Vegetal Mediana (Rango)*	
		LB	H	LB	H
<i>Matorral con dominancia de Ad</i>	Ad Aa Ai cis cid	4(2-5)	2(1-2)	3	4
<i>Matorral de Ai</i>	Ai cid	3	3	3	2
<i>Matorral con dominancia de Eb</i>	Eb dp	4(2-5)	2	2(2-3)	2

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

Fuente: Elaboración propia

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

El monitoreo 7 de invierno 2019 se llevó a cabo en una campaña de terreno ejecutada entre los días 27 de agosto y 02 de septiembre de 2019, para el levantamiento y validación COT.

El monitoreo 8 de Post-lluvias 2020, no pudo ser realizado para esta variable, debido a las condiciones sanitarias excepcionales impuestas por la Pandemia Covid-19, fundamentadas en la Introducción de este Informe Anual N°4.

5.1.2 FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS)

5.1.2.1 Ubicación de puntos muestreo

Para el presente informe, se consideraron las 31 transectas establecidas durante el Monitoreo Base 0 (RWL-Cedrem agosto 2016) del subcomponente Flora y Vegetación del proyecto y que fueron ubicadas atendiendo a las transectas propuestas en cumplimiento de la Resolución de Calificación Ambiental (Res Ext N° 0021/2016) que aprobó el proyecto “Estudio de Impacto Ambiental: Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”.

Específicamente en marco del “Informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016)”, éste fue aprobado a través del Ord. SAG N°315/2016. “Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL”, el cual determina el número y ubicación de las transectas y su metodología para la evaluación pre operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

Cabe recordar, que el programa de monitoreo mencionado en el párrafo anterior, para el subcomponente de flora y vegetación propuestos en el Plan de Manejo Biótico (RCA y Adenda 5), incluía 24 estaciones o puntos de monitoreo, con 10 puntos en el sector de Peine y 14 puntos en el sector La Punta - La Brava, sector que incluye los subsectores de La Punta, La Brava y Tilopozo. Posteriormente, y que se incluyeron siete puntos como áreas de control de la vegetación en sectores de laguna. Éstas son parte del Plan de Manejo Biótico y fueron propuestas por Albemarle (ex.Rockwood) a la autoridad ambiental competente, a través de Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016 aprobado en Ord. SAG N°315/2016. Los 7 puntos que se mencionan, se traducen en transectas que corresponden a los puntos de monitoreo T10 (La Brava), T11 y T12 (La Punta), T14 (Soncor) y T15, T16 y T17 (Aguas de Quelana), ver **Tabla N° 5-14**.

Las 31 transectas se encuentran ubicadas en áreas con presencia de formaciones vegetales sensibles a la alteración del suministro hídrico; en el área de estudio existen tanto formaciones vegetales hidrófilas sensibles a la alteración del suministro hídrico (herbazales de *Schoenoplectus californicus* y de *Juncus balticus*), como grandes extensiones de formaciones de especies halófitas (herbazal de *Distichlis spicata* y de *Sarcocornia fruticosa*). Se distribuyen en seis subsectores dentro del área de seguimiento propuesta por el proyecto. En relación a su distribución 14 de ellas se encuentran en el subsector Tilopozo, nueve en el sector de Peine, tres en el subsector La Punta, una en el subsector La Brava, tres en el sector Aguas de Quelana y una en el sector Soncor (**Figura N° 5-2**). Cabe señalar que en el Monitoreo 7 (invierno 2019) no se tuvo acceso directo a la transecta T14 en el subsector de Soncor, aunque ésta fue validada a distancia a través de un punto COT complementario corroborando su fisionomía de área desprovista de vegetación y sin registros florísticos.

En la **Tabla N° 5-14** se presentan las coordenadas de las transectas realizadas para el monitoreo biológico del subcomponente flora y vegetación, considerando además la asociación con los puntos originales propuestos en el Plan de Manejo Biótico (RCA y Adenda 5) y en **Figura N° 5-3, Figura N° 5-4, Figura N° 5-5, Figura N° 5-6 y Figura N° 5-7** se indica la localización de las transectas por subsector.

Tabla N° 5-14. Coordenadas de las transectas de monitoreo del Plan de Manejo Biótico del subcomponente Flora y Vegetación, en los sectores de estudio.

SUB SECTOR	PUNTO ASOCIADO*	FORMACIÓN VEGETAL	TRANSECTA		COORDENADAS UTM (WGS84)		ALTITUD (m.s.n.m.)	ORIENTACIÓN TRANSECTA
			Número	Código	Este	Norte		
Peine	VB01	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	T01	T01i	584979	7373198	2.307	SE
				T01f	585029	7373195		
			T02	T02i	584864	7373653	2.311	SE
				T02f	584886	7373611		
	T03	T03i	584870	7373199	2.312	NO		
		T03f	584822	7373214				
	T04	T04i	584450	7373358	2.307	SO		
		T04f	584440	7373310				
	VB02	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	T05	T05i	587784	7369847	2.329	NE
				T05f	587787	7369896		
			T06	T06i	587249	7370627	2.324	SE
				T06f	587291	7370598		
T07	T07i	587538	7370322	2.323	SE			
	T07f	587589	7370321					
VB03	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T08	T08i	591329	7383068	2.304	SO	
			T08f	591304	7383026			
		T09	T09i	591730	7383499	2.301	SE	
T09f	591734		7383449					
La Brava	VLB2	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	T10	T10i	577230	7374967	2.302	NE
				T10f	577264	7375004		
La Punta	VLP1	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	T11	T11i	577546	7375994	2.298	SE
				T11f	577557	7375945		
	VLP2	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T12	T12i	577872	7376446	2.305	NO
				T12f	577827	7376471		

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

SUB SECTOR	PUNTO ASOCIADO*	FORMACIÓN VEGETAL	TRANSECTA		COORDENADAS UTM (WGS84)		ALTITUD (m.s.n.m.)	ORIENTACIÓN TRANSECTA
			Número	Código	Este	Norte		
				T26f	571931	7374985		
	VT6	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T27	T27i	571081	7377447	2.304	NO
				T27f	571031	7377448		
	VTM1*	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	T28	T28i	580249	7372583	2.309	SE
				T28f	580295	7372564		
	VT2	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	T29	T29i	577865	7370468	2.308	SO
				T29f	577823	7370437		
	VT1	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	T30	T30i	577602	7369977	2.309	NE
				T30f	577604	7370026		
			T31	T31i	576807	7369755	2.310	NE
		T31f	576807	7369807				

Dónde: Punto Asociado*: Puntos propuestos para monitoreo en el Plan de Manejo Biótico;

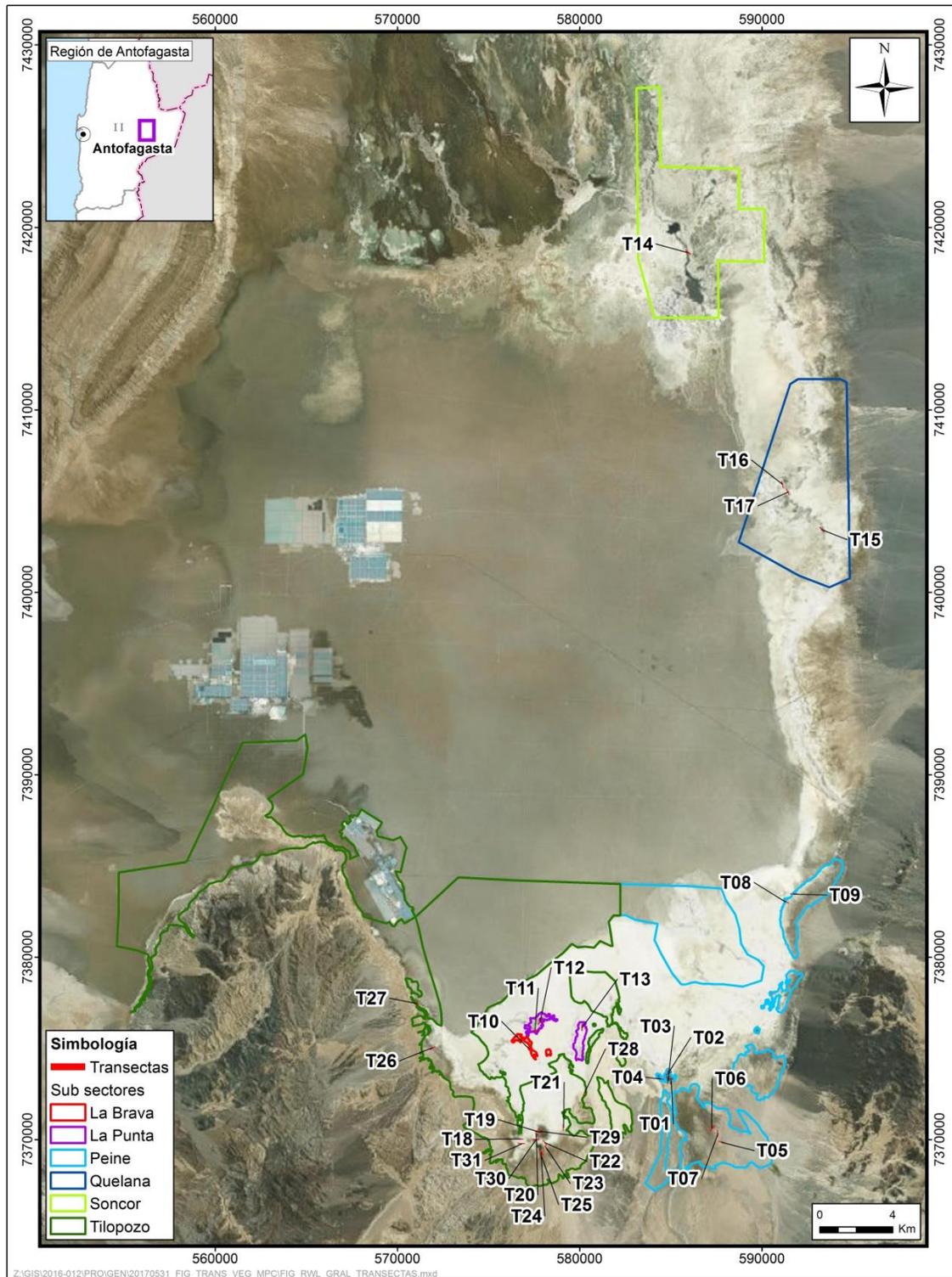
VTM1*: Cabe señalar que en Plan de Manejo Biótico (PMB 2015) esta transecta fue identificada para el sector Peine, la cual se muestra en el sector de Tilopozo para efectos del Seguimiento, por mayor cercanía a este sector, identificando la transecta T28 al sector Tilopozo;

VQ* y **VS***: Puntos asociados al Sector Soncor y Quelana en el informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación transectos de Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016), aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL; y el cual determina las transectas y su metodología para la evaluación pre operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

** : Subsector Aguas de Quelana sin muestreo estacional en Monitoreo 6 por restricciones de acceso al área; y subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo 6 debido a restricciones de acceso y malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal

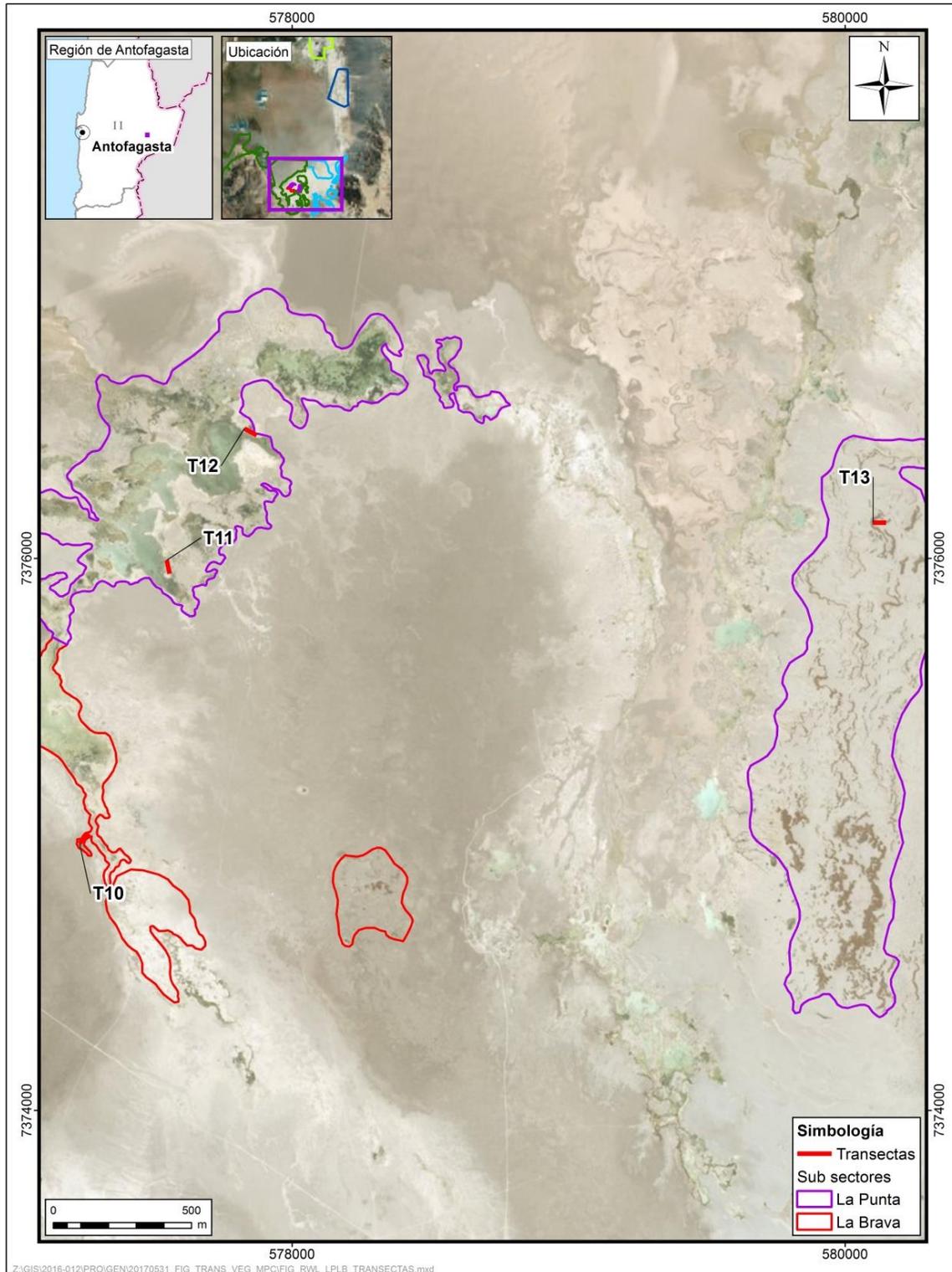
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-2. Localización general de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el área de estudio, Salar de Atacama.



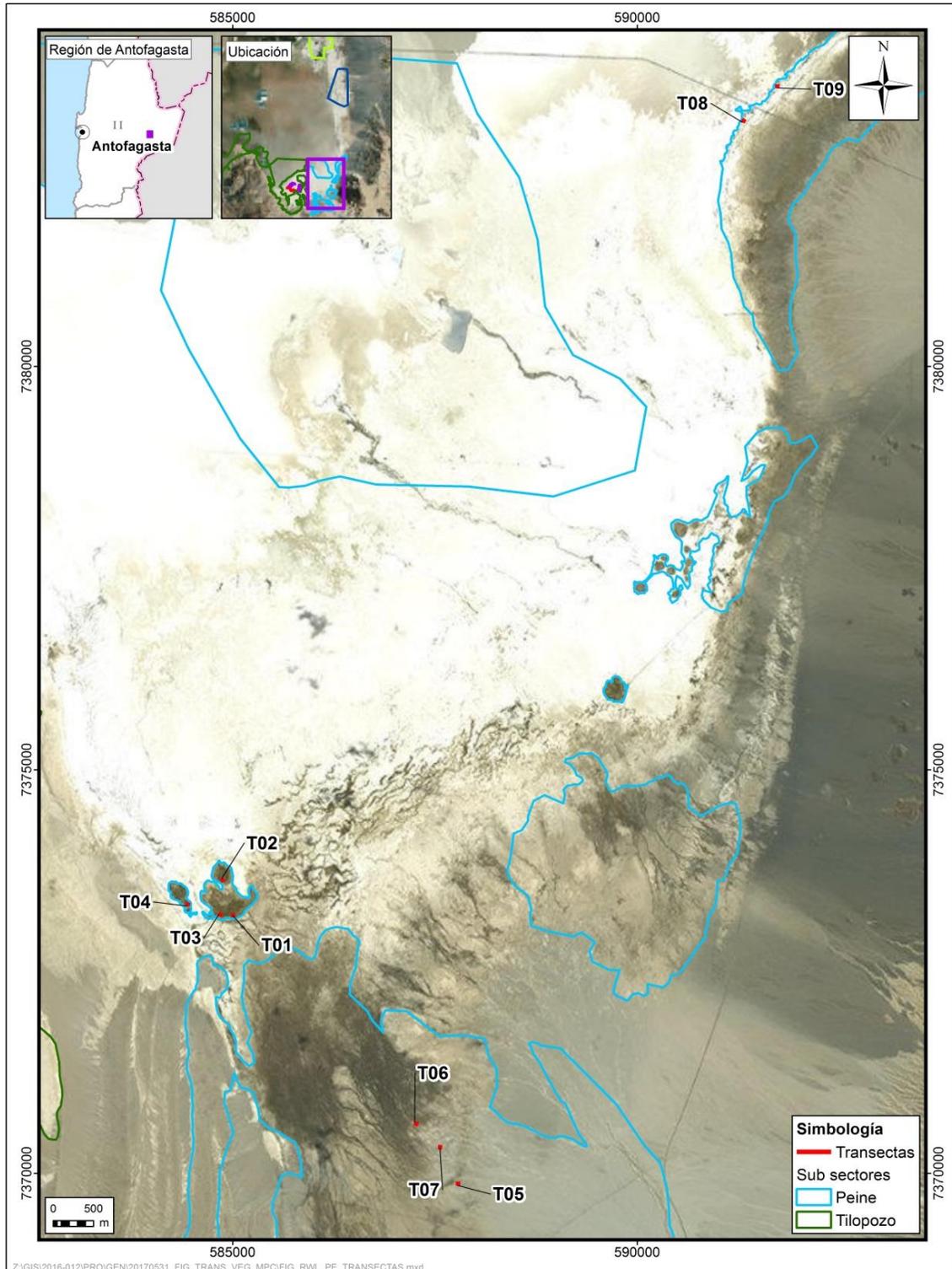
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-3. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en los subsectores La Punta y La Brava, Salar de Atacama.



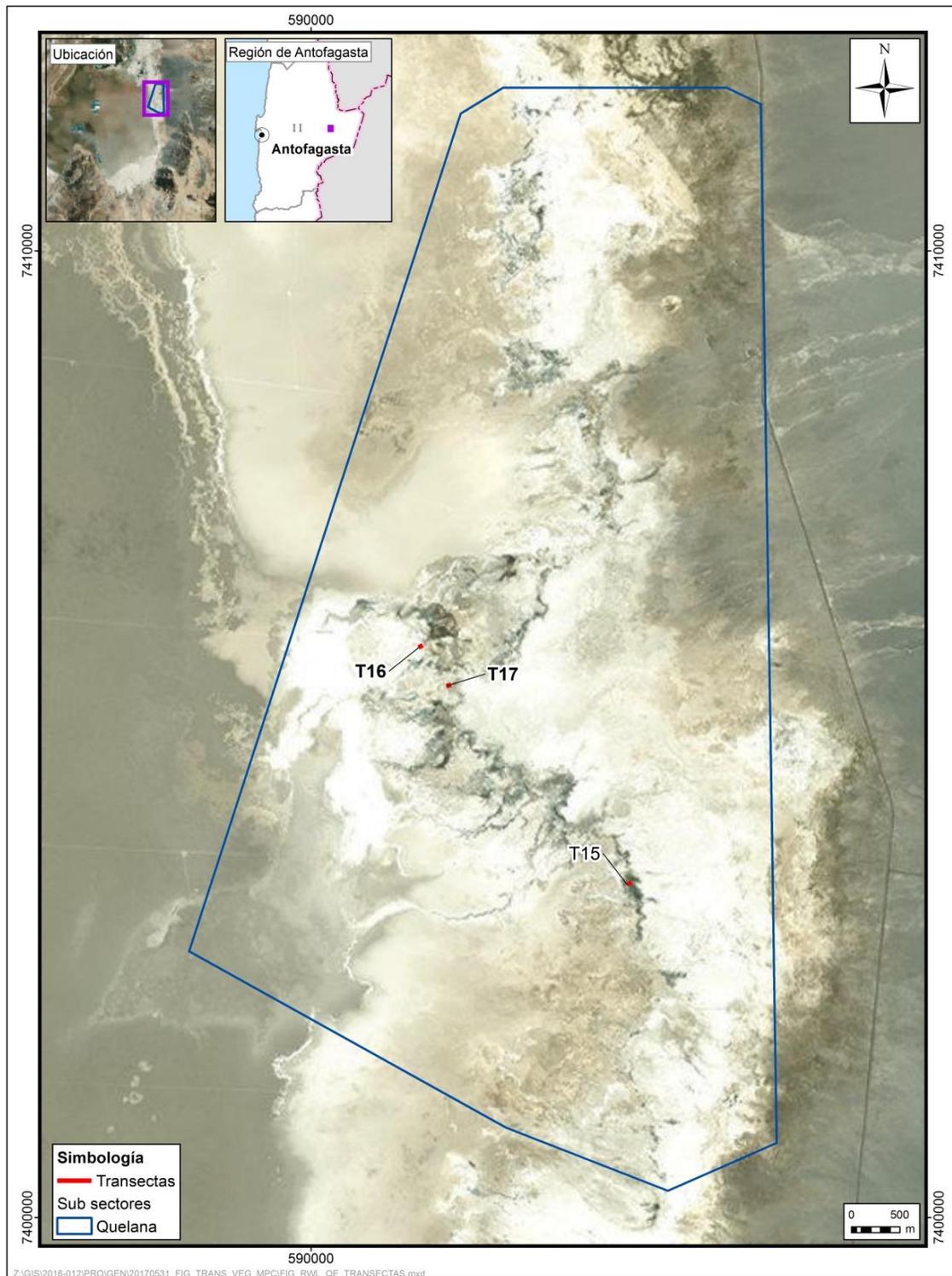
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-4. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Peine, Salar de Atacama.



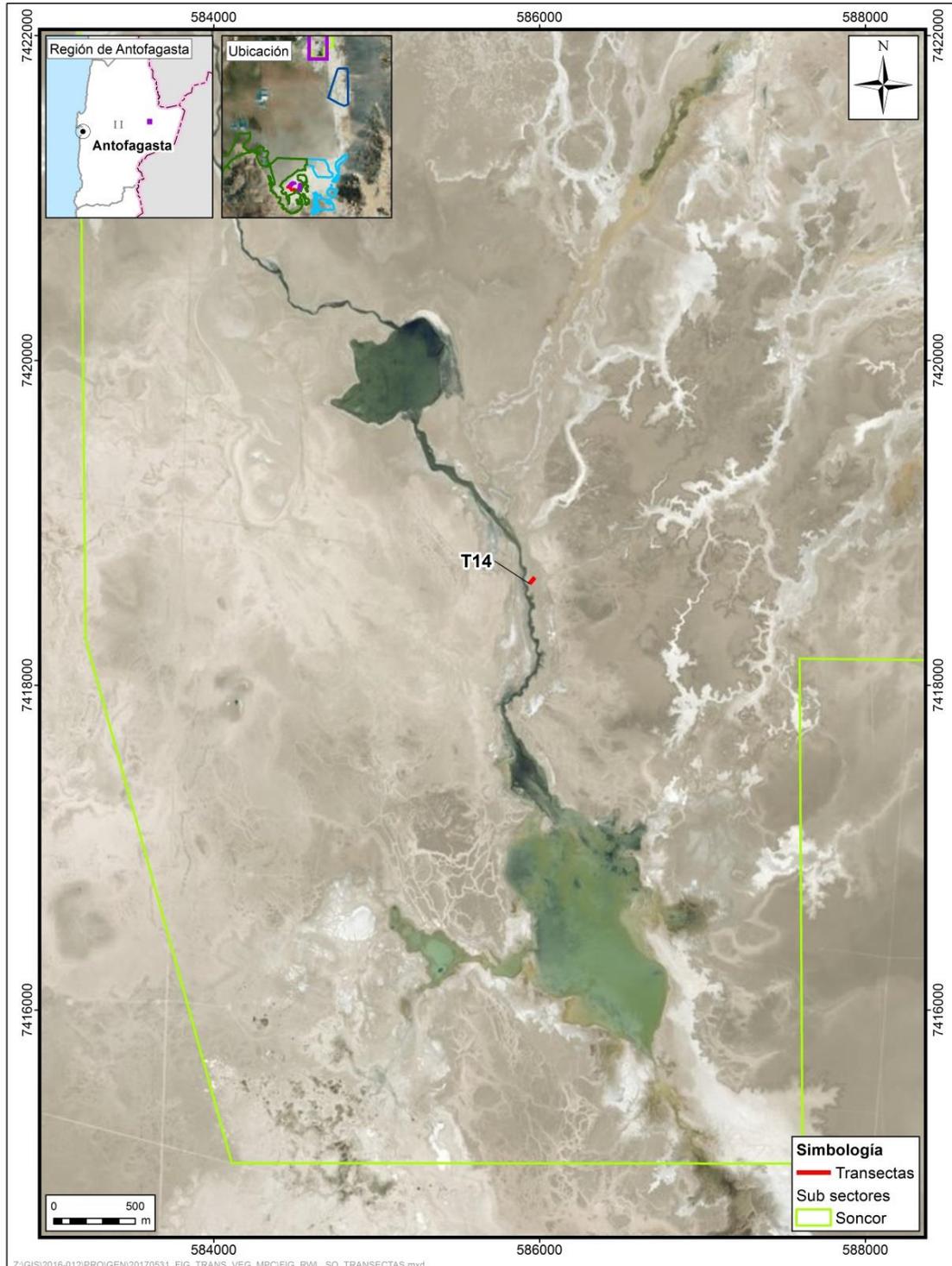
Fuente: Elaboración propia.

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



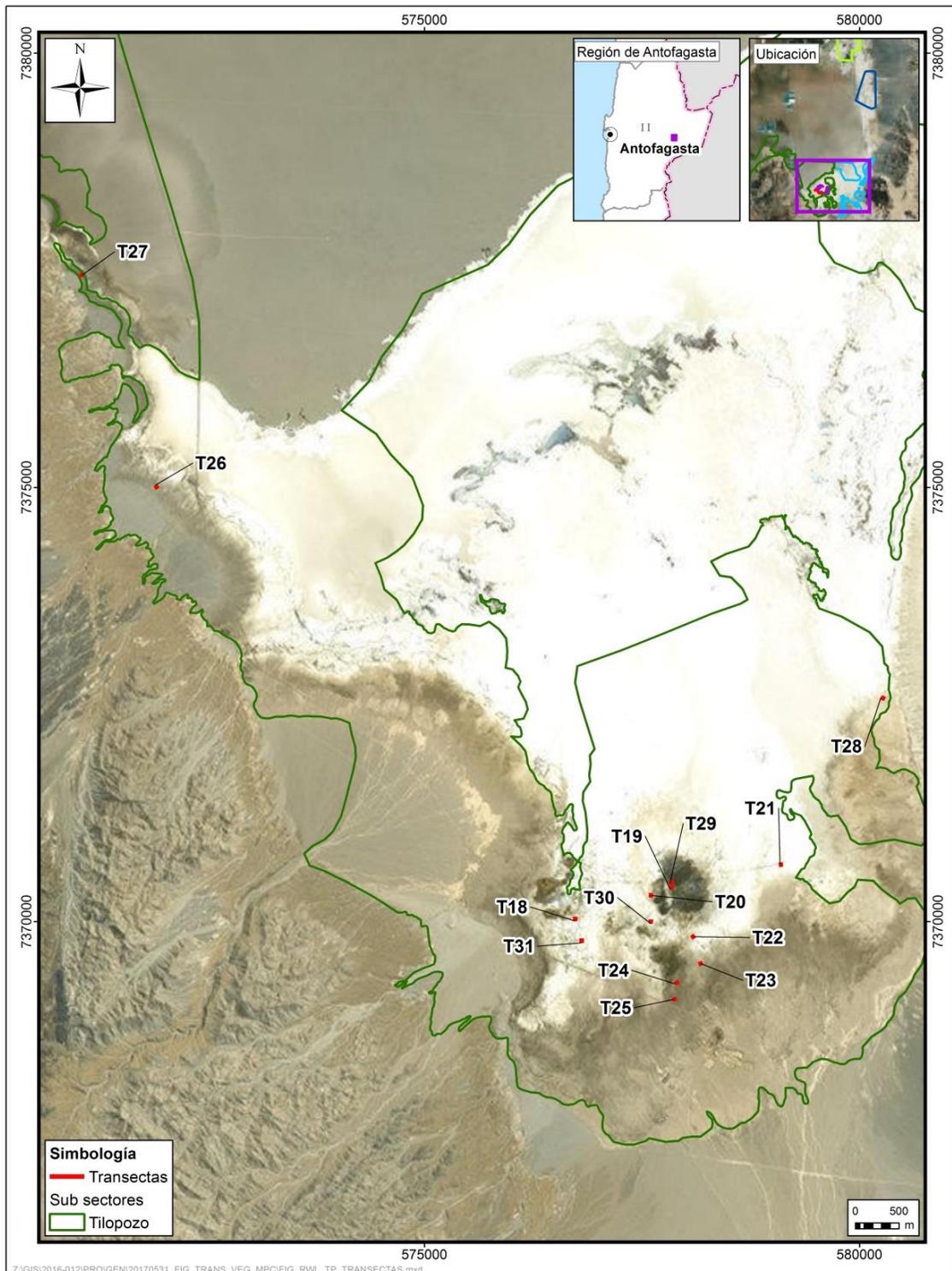
Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-7. Localización de transectas de monitoreo del subcomponente biótico Flora y Vegetación en el subsector Tilopozo, Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo establecido en el Monitoreo Base 0 (RWL-Cedrem agosto 2016), en el área de estudio existen tanto formaciones vegetales hidrófilas sensibles a la alteración del suministro hídrico (herbazales de *Schoenoplectus californicus* y de *Juncus balticus*), como grandes extensiones de formaciones de especies halófitas (herbazal de *Distichlis spicata* y de *Sarcocornia fruticosa*). En la **Tabla N° 5-15**, se detallan el número de transectas definidas por sector y tipo de formación vegetal.

Tabla N° 5-15. Formaciones vegetales y número de transectas por sector.

SECTOR	SUB SECTOR	FORMACIÓN VEGETAL	No DE TRANSECTAS	
La Punta-La Brava	Tilopozo	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	6	
		Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	3	
		Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	2	
		Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	3	
	Total en subsector Tilopozo			14
	La Brava	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	1	
	Total en subsector La Brava			1*
	La Punta		Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	1
			Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	1*
			Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	1*
Total en subsector La Punta			3	
Peine	Peine	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	2	
		Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	4	
		Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	3	
	Total en subsector Peine			9
Aguas de Quelana	Aguas de Quelana	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	3	
	Total en sector Aguas de Quelana			3*
Soncor	Soncor	Área desprovista de vegetación	1	
	Total en subsector Soncor			1*
Total			31	

* Transectas de control de la vegetación en sectores de lagunas, identificando su formación vegetal de acuerdo a validación de vegetación realizada en el monitoreo.

Fuente: Elaboración propia

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

En cumplimiento de lo dispuesto por la RCA que aprueba el proyecto, el análisis de datos del presente estudio estuvo orientado a la caracterización florística de cada una de las transectas y por sector, en cuanto a parámetros de: composición, riqueza y cobertura, respectivamente, para Invierno 2019.

Además de la caracterización florística en las transectas, se analizaron parámetros de seguimiento complementarios, los cuales corresponden a: i) la condición de sustrato salino y/o agua, ii) la vegetación muerta (rastrojo).

5.1.2.3 *Materiales y equipos utilizados*

Los implementos utilizados por los especialistas para el muestreo en cada transecta son:

- Un navegador Garmin 20X ETREX. Para localizar cada transecta en el área de estudio. Además, se georreferenció con este GPS las coordenadas de inicio y fin en UTM (Universal Transversal de Mercator), en Datum WGS 84 19S, con el fin de confirmar su ubicación.
- Huincha de medir de 50 metros de longitud. Para ubicar los puntos de intercepción a lo largo de la transecta, cada 0,1 m.
- Un formulario para el registro de los componentes de muestreo predichos.
- Cámara fotográfica. Se realizó un registro fotográfico de la formación vegetal, sistematizando la toma fotográfica con tres fotografías en las secciones inicial y final, y cuatro fotografías en la sección central, en cada transecta.

5.1.2.4 *Metodología de muestreo*

5.1.2.4.1 Aspectos generales

El método utilizado para el muestreo de la vegetación se basa en el **método de Carta de Ocupación de Tierras, en adelante COT**. Esta metodología se utiliza para validar la caracterización de la vegetación, estacionalmente, en los puntos de muestreo de las transectas, con respecto a la caracterización que se realiza a nivel general en el área de estudio con el muestreo de vegetación COT (ver en sección 5.1.1.5).

En cuanto a la caracterización de la flora, el **método utilizado fue el de “Intercepto de Puntos”** (ver ficha de terreno tipo en **Anexo I Vegetación y Flora**), según lo establecido por el informe de Monitoreo de Vegetación, Ubicación de Transectas (Informe Ejecutivo RWL/CEA mayo 2016), el cual fue aprobado a través de Ord. SAG N°315/2016. Validación SAG de transectos para monitoreo de Flora y Vegetación del Proyecto RWL; y el cual determina las transectas y su metodología para la evaluación pre operación y posterior seguimiento en las campañas semestrales, y el Plan de Manejo Biótico del Proyecto.

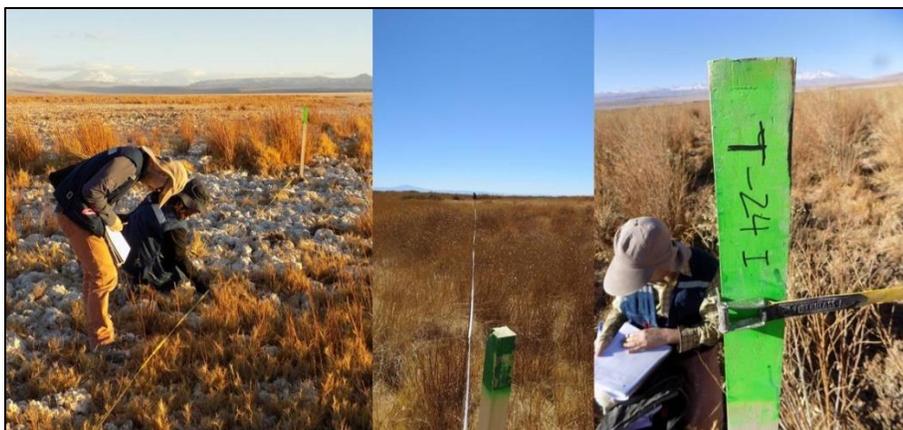
El método de intercepto de puntos en transectos, entrega una estimación de coberturas más precisas que el uso de grillas, para la misma cantidad de puntos muestreados (Blackman, 1935; Goodall, 1952; Greg- Smith, 1983). Por lo anterior, el método de intercepto de puntos, basado en el método “point quadrat”, en este caso corresponde al catastro florístico en puntos separados cada 0,1 metros, a través de transectas lineales de 50 metros de longitud, asumiendo que la probabilidad en que un taxa intercepte la huincha

es función de la cobertura (Mueller-Dumbois y ElleMBERG 1974). A partir de este método, se pueden calcular parámetros de riqueza y cobertura de especies en cada transecta.

5.1.2.4.2 Trabajo en terreno

El levantamiento de información se realizó en una campaña de terreno, donde se visitó y registró la información de las 31 transectas de monitoreo, de 50 metros de longitud, ubicadas y marcadas durante el Monitoreo Base 0 realizado en etapa de pre-operación del proyecto (RWL-Cedrem agosto 2016) **ver Fotografía N° 5-1.**

Fotografía N° 5-1. Ejemplo de estaca en el punto inicial de las transectas de monitoreo en el área del Salar.



Fuente: Elaboración propia

El relevamiento de información en las transectas se realiza en cada campaña estacional, y se divide en tres fases: i) validación de la formación vegetal, ii) registro de características físicas del terreno y iii) la caracterización de la flora.

En primer lugar, se verifica la formación vegetal de la transecta en base a la metodología de la Carta de Ocupación de Tierras (COT) modificada de Etienne & Prado (1982), en base a la caracterización de la vegetación realizada para toda el área de estudio según lo presentado en los resultados de vegetación (COT). En este proceso, se observaron y registraron los siguientes parámetros:

- El estrato biológico dominante (tipo de formación), permitiendo distinguir y clasificar los tipos biológicos presentes en la formación vegetal.
- Las especies dominantes, definidas como aquellas especies que presentan el mayor porcentaje de cobertura,
- La cobertura total de la transecta, que representa la proporción del terreno que es ocupada por la vegetación o por su proyección horizontal, y

- El grado de alteración de la vegetación, a través de un índice, en relación a su condición inicial o natural, y/o de su grado de intervención antrópica. Este grado se determinó visualmente en terreno de acuerdo a los criterios semi-cuantitativos señalados en la **Tabla N° 5-6**.

Paso seguido, se registran las siguientes características físicas del terreno correspondientes a:

- Altitud,
- Orientación de la transecta,
- Fisiografía correspondiente al tipo de sustrato y textura, tales como arcilla, arena, costra salina, terroso, entre otras,
- Contenido de humedad del suelo, según clasificación presentada en la Tabla N° 5-16, y
- Porcentaje de afloramiento salino.

Tabla N° 5-16. Contenido de humedad del suelo.

CONTENIDO HUMEDAD DEL SUELO	CARACTERÍSTICAS
No saturado	Cuando el suelo no se encuentra en su límite superior de almacenamiento de agua o en su capacidad de campo
Saturado	Cuando el suelo se encuentra en su límite superior de almacenamiento de agua o en su capacidad de campo
Sobresaturado	Cuando el suelo sobrepasa su límite superior de almacenamiento de agua o su capacidad de campo, por lo tanto, se observa un suelo anegado

Fuente: Elaboración propia

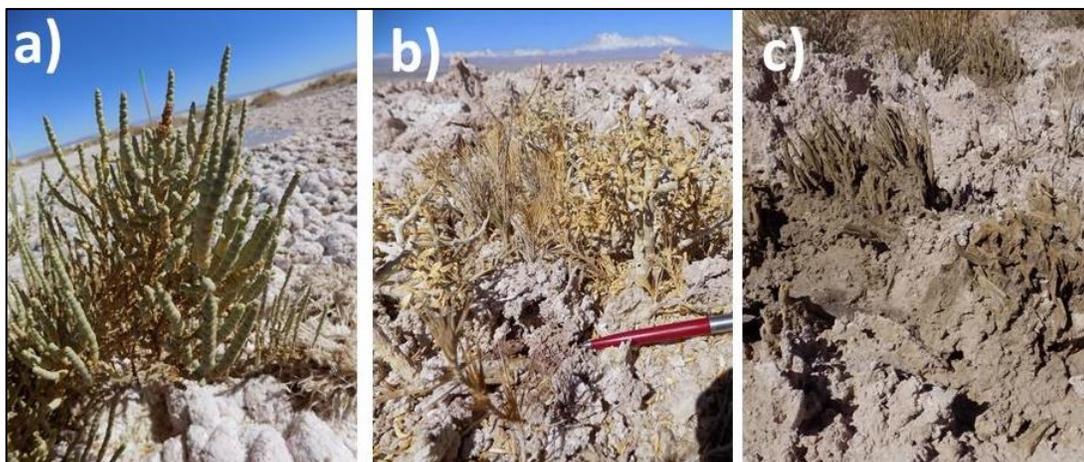
Para el levantamiento de la información, las transectas se marcan utilizando una huincha métrica (**Fotografía N° 5-1**). Seguidamente, se visita cada punto de muestreo y se proyecta una línea perpendicular al suelo, para registrar todos los taxa que se interceptan con esta vertical.

Durante el muestreo de los taxa en cada punto de muestreo, se considera una subdivisión de las especies de flora en relación a su estado fenológico y condición sanitaria, según las siguientes definiciones (**Fotografía N° 5-2**):

- **Vegetación viva:** corresponde a una planta vascular en buen estado, de forma tal que los atributos que la caracterizan como especie son fácilmente apreciables. Cabe señalar que se consideraron también como individuos vivos, a aquellos que se encontraron en estado fenológico latente, es decir secos y con signos que sugirieron la posibilidad de rebrote durante la siguiente estación húmeda.

- **Rastrojo:** restos de una planta vascular (que debido a sus características pueden permitir o no su identificación), que se encuentran secos o en malas condiciones sanitarias y que aparentemente corresponden a un individuo muerto o en descomposición (materia orgánica).

Fotografía N° 5-2. Ejemplos de especies en estado fenológico vigoroso versus especies en estado latente y rastrojos.



Dónde: a) Vegetación viva en buen estado; b) vegetación viva en estado latente; c) rastrojo.

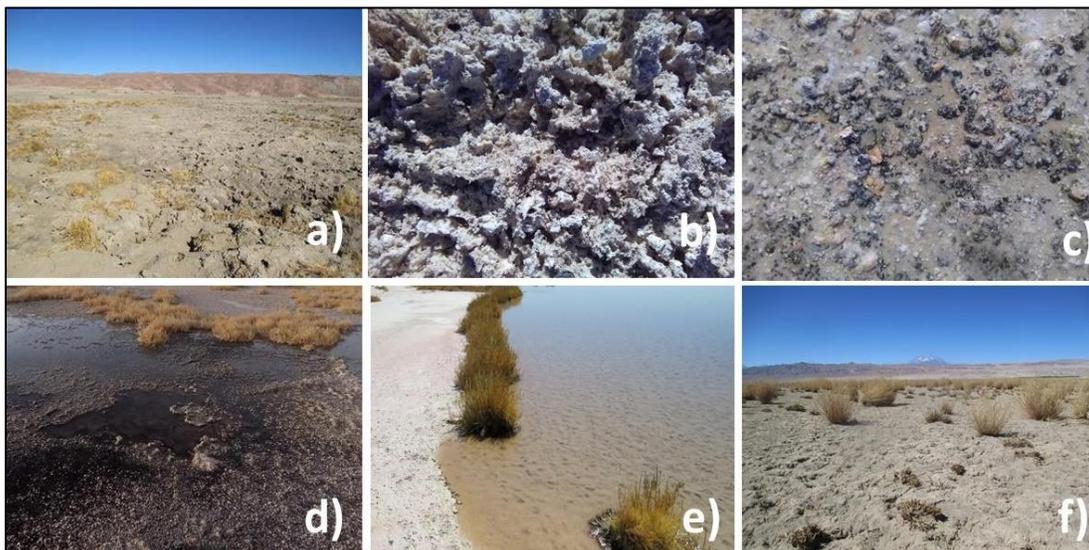
Fuente: Elaboración propia

Además, en caso de que un punto de muestreo presentase áreas desprovistas de vegetación, se procede a registrar aspectos relacionados con la condición de sustrato (**Fotografía N° 5-3**), como elemento clave para detectar posibles cambios futuros en la unidad vegetal. Se identifican como “otros recubrimientos” para el seguimiento de sus coberturas, correspondientes a las siguientes clases:

- **Costra salina:** corresponde al recubrimiento de suelo con alto contenido salino y que puede identificarse visualmente como afloramiento salino.
- **Costra salina terrosa:** costra salina y con presencia de recubrimiento de suelo el cual presenta textura terrosa.
- **Costra salina saturada:** costra salina con un contenido de humedad que se encuentra en el límite superior de almacenamiento de agua o en su capacidad de campo.
- **Costra salina sobresaturada:** costra salina con un contenido de humedad el cual sobrepasa su límite superior de almacenamiento de agua o su capacidad de campo, por lo tanto, se observa un suelo anegado.
- **Agua superficial:** corresponde al sustrato cuyo contenido de humedad supera su capacidad de almacenamiento, generándose una película de agua sobre la superficie del suelo. Dependiendo de la cantidad de agua, y de la morfología del terreno puede observarse como un cuerpo de agua.

- **Sustrato terroso:** corresponde a sustrato de suelo desnudo en cuya textura se observa un bajo contenido salino y predomina la apariencia de suelo de textura terrosa.

Fotografía N° 5-3. Ejemplos de condiciones de sustrato definidas para el muestreo en áreas desprovistas de vegetación.



Dónde: a) costra salina terrosa; b) costra salina; c) costra salina saturada; d) costra salina sobresaturada; e) agua superficial o cuerpo de agua; f) sustrato terroso.

Fuente: Elaboración propia.

En cada transecta se georreferencia con GPS sus coordenadas¹⁷ de inicio y fin en Datum WGS 84 Huso 19S y se mantiene un registro fotográfico de la formación vegetal.

5.1.2.5 Metodología de cálculo y análisis

Toda la información recogida en el muestreo, es ordenada y almacenada digitalmente en una base de datos de consulta. Dado que el análisis es dependiente de la identificación florística, se realiza una revisión de las muestras botánicas colectadas y de las especies registradas y fotografiadas, para asegurar su identificación taxonómica.

Posteriormente, se desarrolló un trabajo de revisión y sistematización de la información (**Anexo Vegetación y Flora**), comparando la información proveniente de los formularios, con los registros preexistentes de las formaciones vegetales y de la flora con nombres científicos verificados, y las fotografías de terreno. Esto, en conjunto con las observaciones provenientes de terreno, permite validar o reclasificar cuando fue necesario, las distintas formaciones vegetales y composición florística de cada transecta.

¹⁷ UTM (Universal Transversal de Mercator)

Para el análisis de coberturas de la vegetación y flora en su condición estacional, se realizan distintos cálculos para obtener la cobertura absoluta de las especies por transecta, el promedio de la cobertura absoluta en las transectas y el promedio de la cobertura absoluta en los sectores.

El cálculo del porcentaje de cobertura absoluta de las especies, se realiza asumiendo que la probabilidad que un taxa intercepte la recta proyectada en los puntos a lo largo de la transecta, es en función de su cobertura (Mueller-Dumbois y ElleMBERG 1974). En consideración de esto, se determinan los siguientes parámetros:

- **Porcentaje de cobertura absoluta de una especie de la transecta (Casp)**

$$Casp = \frac{n_{sp} \times 100}{N_{pi}} = \frac{n_{sp} \times 100}{500}$$

Donde:

n_{sp} = Representa el número total de veces que una misma especie intercepta la huincha en los puntos establecidos en una transecta.

N_{pi} = Representa el número de puntos de intercepción establecidos a lo largo de la transecta.

- **Porcentaje de cobertura absoluta de las especies de la transecta (Cat)**

$$Cat = \sum Casp$$

Es decir, corresponde a la suma de las coberturas absolutas de cada una de las especies presentes en una transecta.

- **Promedio de la cobertura absoluta de la transecta (\overline{Cat})**

$$\overline{Cat} = \frac{Cat}{S_T} = \frac{\sum Casp}{S_T}$$

Donde: S_T = Riqueza de especies de la transecta. Representa el número total de especies que interceptan la transecta en los puntos establecidos.

- **Promedio de la cobertura absoluta del subsector (CaSEC)**

$$CaSEC = \frac{\sum Cat}{NT}$$

Donde:

$\sum Cat$ = Representa la suma de los porcentajes de cobertura absoluta de todas las transectas de un subsector.

NT = Corresponde al número de transectas realizadas en el subsector.

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

El monitoreo 7 de invierno 2019 se llevó a cabo en una campaña de terreno ejecutada entre los días 27 de agosto y 02 de septiembre de 2019, para el levantamiento y validación de transectas de flora.

El monitoreo 8 de Verano Post-lluvias 2020, no pudo ser realizado para esta variable, ya que como ya fuera previamente indicado y fundamentadas en la Introducción de este Informe Anual N°4, debieron ser pospuestas en reiteradas ocasiones debido a las condiciones sanitarias excepcionales impuestas por la Pandemia Covid-19.

5.1.3 DISTRIBUCIÓN Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL – MÉTODO DE IMÁGENES SATELITALES - NDVI

Para el seguimiento de la distribución y cobertura de la vegetación azonal, se utilizan imágenes satelitales de alta resolución espacial, según lo establecido en la Adenda 5 RWL (2015), Apéndice B, para monitorear las coberturas vegetacionales, en base a la vegetación activa de cada formación determinada en la COT, y su grado de vigorosidad, durante la temporada de crecimiento de la vegetación, esto se refiere idealmente al periodo posterior a las precipitaciones estivales (marzo – abril).

La superficie de la cobertura vegetal activa, se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado** (NDVI por su sigla en inglés), siendo éste el establecido en el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, y siendo éste el índice más usado en los análisis de la vegetación mediante imágenes satelitales.

5.1.3.1 Descripción del área de estudio

Para el seguimiento de la “distribución y cobertura de la vegetación azonal – NDVI” se utilizan imágenes satelitales de alta resolución espacial, según lo establece el Anexo 2, Adenda 5 RWL (2015), para monitorear las coberturas vegetacionales en base a su vegetación activa y su grado de vigorosidad; esto se lleva a cabo durante la temporada de crecimiento de la vegetación, periodo posterior a las precipitaciones estivales. La distribución y superficie de las formaciones sujetas a seguimiento está determinada por la carta de ocupación de tierras (COT), en su última actualización disponible para el área. En este caso particular, se considera como marco para la determinación de la vegetación activa, la COT correspondiente a agosto 2019, siendo ésta la última versión más actualizada del mapeo de vegetación del área de estudio, en cuanto a distribución y superficie de las formaciones vegetales. Cabe señalar que el uso de la COT agosto 2019, se fundamenta, por un lado, en la ausencia de una COT verano 2020, que no se logró validar en terreno por razones de la Pandemia Covid-2019, como ya se explicó, y porque en último término la estacionalidad de la COT no es incidente en los resultados arrojados

en el análisis de cobertura de vegetación activa NDVI, siendo sí relevante trabajar con la información de área y distribución de formaciones vegetales más recientemente disponible.

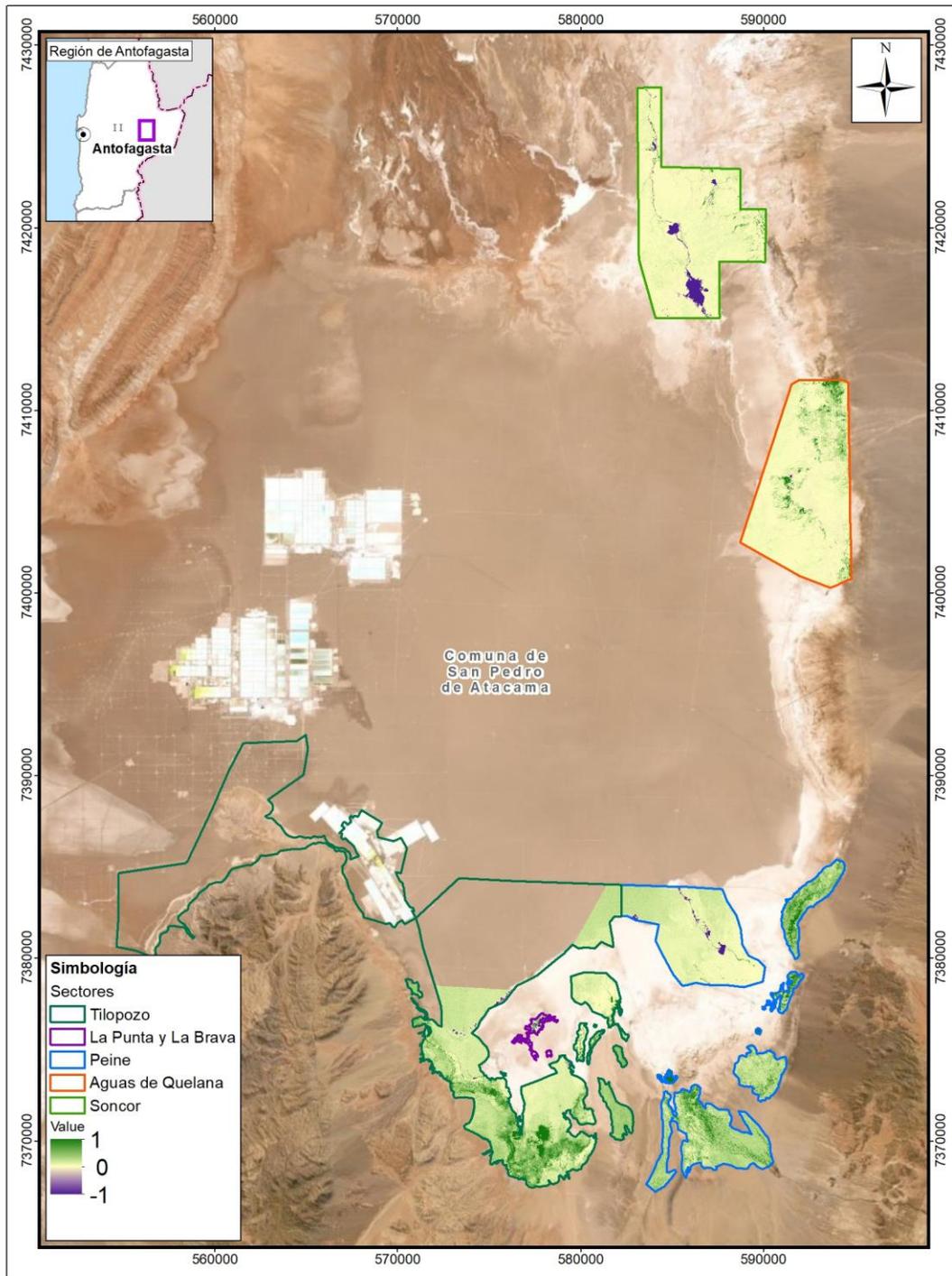
En la misma línea de lo anterior, se hace necesario agregar que la COT en términos generales se ha estabilizado campaña a campaña, respecto de cómo se posicionan espacialmente las superficies y distribución de las formaciones vegetales en seguimiento, y es este dato el que se usa. En este sentido, las coberturas y variaciones que se puedan dar por estacionalidad no determinan, el análisis NDVI, dado que para este efecto la COT usada solo nos señala ubicación y superficie de una determinada formación vegetal. Por ello, no es condición para este análisis NDVI, utilizar una COT estrictamente coincidente con las fechas de análisis.

La superficie de la cobertura vegetal activa, se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado** (NDVI por su sigla en inglés), siendo éste el establecido en el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del proyecto, y siendo éste el índice más usado en los análisis de la vegetación mediante imágenes satelitales.

5.1.3.2 Ubicación de sectores para la medición

La obtención de los valores de NDVI se realiza en un área congruente con la superficie de la Carta de Ocupación de Tierras (COT – Agosto 2019) del Proyecto, que representa la vegetación zonal y azonal en cinco sectores del Salar en la campaña de verano de 2020: (i) Tilopozo, (ii) La Punta y La Brava, (iii) Peine, (iv) Aguas de Quelana y (v) Soncor (**Figura N° 5-1**). Para fines de seguimiento en terreno y de comparación con la COT, el sector “Tilopozo” indicado en el Apéndice B (Adenda 5 RWL, 2015), se desagrupó en “Tilopozo – La Punta y La Brava”.

Figura N° 5-8. Localización de sectores donde se obtienen los valores de NDVI en el área de estudio, Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia.

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

El seguimiento utilizado en el presente análisis, corresponde a las **superficies de vegetación activa según el índice NDVI**, estimadas por sector a través de imágenes satelitales de alta resolución. Esto en cumplimiento a lo dispuesto en la Adenda 5 y la RCA que aprueba al proyecto.

En consideración de lo mencionado recientemente, el análisis comparativo se realiza con las *superficies de vegetación activa por sector de estudio* y tomando las variaciones en relación a los valores mínimos y máximos históricos de la línea de base, que para el componente corresponden al PMB (Tabla 5.3 del Apéndice B del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015).

La cobertura de vegetación activa, se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado (NDVI por su sigla en inglés)**, siendo éste el más usado en los análisis de la vegetación mediante imágenes satelitales.

El NDVI se calcula mediante la comparación de las bandas espectrales Roja (R) e Infrarrojo cercano (NIR) de las imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución, usando la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Donde:

NIR Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano (Banda 4), y

R Reflectancia en el rojo (Banda 3).

El NDVI entrega una estimación de la densidad y vigor de la vegetación verde a una resolución equivalente a la del pixel de la imagen que se esté utilizando. Los valores del índice varían en un rango de entre -1 y 1, detectando la cobertura vegetal en los valores positivos. Mayor NDVI estima proporcionalmente mayor fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por los tejidos verdes y/o mayor biomasa.

5.1.3.4 *Materiales y equipos utilizados*

Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio, provienen de los sensores Pleiades-1A (mosaico sector sur, correspondiente a sector Peine, La Punta-La Brava y Tilopozo) y WorldView-2 (mosaico sector norte, correspondiente a sector Soncor y Aguas de Quelana; y mosaico sur complementario). Debido a las condiciones sanitarias imperantes en la realización de este informe, y dado que no fue posible llevar a cabo la adquisición de imágenes satelitales en paralelo a actividades en terreno; se hizo uso de

imágenes de alta resolución de archivo con las características técnicas y que estuviesen disponibles en periodo de crecimiento de la vegetación, con posterioridad a la ocurrencia de un periodo de lluvias estivales indicadas por el PMB.

Cabe indicar que la campaña de monitoreo de post lluvias 2020, a realizar idealmente en marzo o abril 2020, se reprogramó en varias ocasiones, esperando la mejoría en las condiciones sanitarias impuestas por la Pandemia Covid-2019 (ej. reducción del peak de contagios en la región), y realizar la componente de vegetación de forma completa, y tal como se había venido haciendo en monitoreos anteriores. Sin embargo, cuando se definió finalmente que no sería factible realizar estas campañas de monitoreo en terreno, se buscó inmediatamente de forma proactiva imágenes de archivo de alta resolución que cubrieran el área de estudio, con capturas lo más cercanas posibles a las fechas requeridas, para por lo menos con ello llevar a cabo los análisis NDVI en gabinete, que entregaran información sobre la actividad de la vegetación en situación post lluvias estivales, y permitieran su comparación con los años anteriores y con los umbrales históricos para esta variable.

Cabe señalar que, para el aseguramiento de la calidad y representatividad de los datos NDVI, dado el uso combinado de imágenes satelitales AR provenientes de diferentes fuentes (Worldview-2 y Pleiades 1-A) y con desplazamiento de fechas (04 abril y 08 junio 2020, respectivamente), se analizó previamente las variaciones numéricas de las imágenes en bruto, corregidas y los insumos (índices espectrales) utilizados en este informe, tanto en separado como en mosaico y por sector. En ninguna de las pruebas se detecta variaciones significativas que puedan influir en los resultados de actividad vegetal, donde los valores de NDVI umbral corresponden a los esperados en las diferentes formaciones, según los resultados de los seguimientos consecutivos. En este sentido, realizar los análisis NDVI en abril o junio 2020, no presenta diferencias en cuanto a la respuesta de la actividad observada de la vegetación, porque ambas fuentes responden de modo similar para la variable monitoreada.

En su conjunto, las imágenes AR utilizadas conforman tres mosaicos, el primero (imágenes WorldView-2) para el sector norte comprenden los sistemas lagunares de Soncor y Aguas de Quelana, y los dos restantes (Pleiades 1-A y Worldview-2) para el sector sur que corresponde a los sistemas de Tilopozo, La Punta y La Brava, y Peine (**Figura N° 5-9**).

La selección de este tipo de imágenes se debe a que sus características permiten contar con la resolución espacial adecuada para la cartografía detallada, y de precisión (Pancromática, 50 cm; Multiespectral, 2 m Pleiades y 1,85 m WV2).

El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales con resolución de 2 m (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorrectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente. Las principales características del sensor se describen en la **Tabla N° 5-17** y en el **Anexo Vegetación y Flora** de las imágenes analizadas.

Por otra parte, el satélite WorldView está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales estándar con resolución de 1.85 m (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorrectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente. Las principales características del sensor se describen en la **Tabla N° 5-18** y en el **Anexo Vegetación y Flora** de las imágenes analizadas.

Tabla N° 5-17. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades - 1A.

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

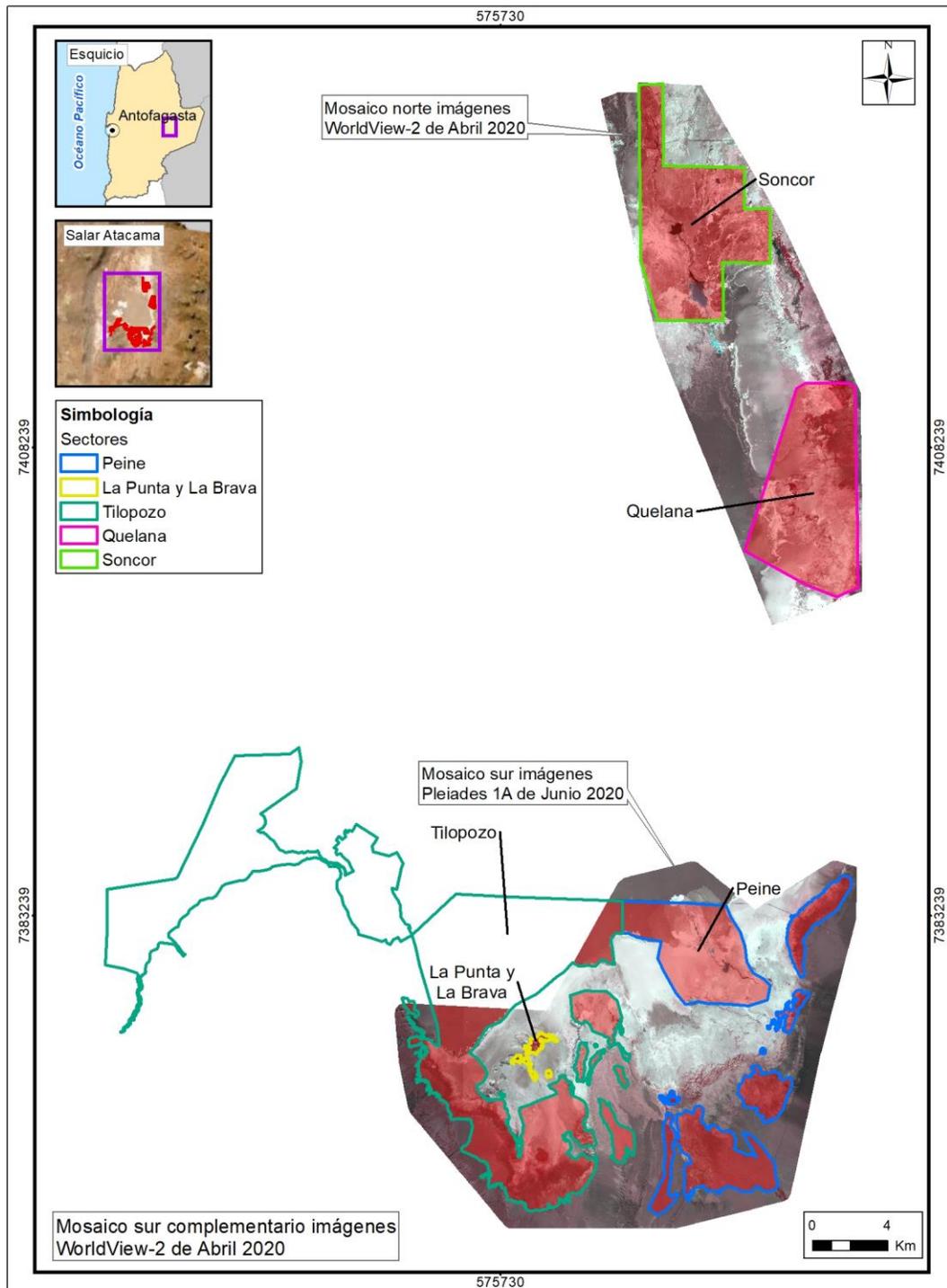
Fuente: <http://www.satimagingcorp.com>

Tabla N° 5-18. Características espaciales y espectrales del satélite WorldView-2.

CARACTERÍSTICAS	DETALLE	
Órbita	Altitud: 770 km	
	Tipo: Tipo sincrónica con el sol	
Bandas Sensor	Pancromáticas: 450 - 800 nm	
	Multiespectrales	
	Azul: 450 - 510 nm	Rojo: 630 - 690 nm
	Verde: 510 - 580 nm	Infrarrojo: 770 - 895 nm
Resolución del sensor	Pancromática: 50cm	
	Multiespectral: 1.85 m	

Fuente: https://www.infosat.com.ar/?page_id=91

Figura N° 5-9. Área de estudio para el monitoreo de la vegetación Verano 2020 en el Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.5 Metodología de cálculo y análisis

En una primera fase de este proceso, las imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y WorldView-2, fueron sometidas a procesamiento digital de correcciones radiométricas y atmosféricas, con el fin de reducir errores provenientes de interferencias, las cuales pueden ser producto del ángulo de captura y alteraciones en el movimiento del satélite, o bien el efecto de las partículas presentes en la atmósfera, entre otros.

Inicialmente, a cada imagen se le realizó una corrección radiométrica, la cual consiste en la conversión de los valores de píxeles desde números digitales (ND) a unidades de radiancia espectral absoluta ($W / (m^2 * sr * \mu m)$)¹⁸. Este proceso se utiliza como medio de calibración para disminuir la falta de uniformidad en los valores digitales debido a efectos producidos por errores sistemáticos en el sensor, tales como la contaminación de partículas en su plano focal, las que pueden manifestarse en forma de manchas y bandas en las imágenes. Esta conversión proporciona una base para la comparación de datos en una sola escena o entre imágenes adquiridas en fechas diferentes o por diferentes sensores (Chander *et al.*, 2009).

Posteriormente, se realizó la corrección atmosférica de cada imagen. Esta corrección busca reducir el efecto de la interacción de las moléculas y partículas de la atmósfera (vapor de agua, polvo en suspensión, entre otras) en la radiación electromagnética captada por los sensores de un satélite. La eliminación de los efectos atmosféricos y del terreno, recuperan los parámetros físicos de la superficie incluyendo la reflectancia, visibilidad del suelo y temperatura. Para este fin, se utilizó el módulo ATCOR (por su sigla en inglés, Atmospheric & Topographic Correction).

El módulo de corrección atmosférica ATCOR permite ejecutar correcciones de reflectancia provenientes de la parte alta de la atmósfera, la eliminación de neblina y el enmascaramiento de nubes, así como correcciones atmosféricas de la reflectancia del suelo y las correcciones atmosféricas de la temperatura superficial.

El algoritmo ATCOR trabaja con una base de datos de funciones de corrección atmosféricas almacenados en tablas de búsqueda, para diferentes perfiles de altitud de presión, la humedad, y el tipo de aerosol. El método calcula la reflectancia del suelo para cada píxel, en cada banda espectral; posteriormente se puede utilizar para análisis de índices espectrales o para comparar los valores de reflectancia entre imágenes satelitales.

A continuación, las imágenes son ortorrectificadas a modo de eliminar las distorsiones geométricas, producto de imperfecciones del sensor, la curvatura de la tierra y los efectos locales del relieve. Finalmente, las imágenes fueron unidas conformando tres mosaicos dentro del área de estudio (polígono norte y polígonos sur en **Figura N° 5-9**).

En la segunda fase, durante el post - procesamiento de las imágenes satelitales, se calcula el índice NDVI (ver detalles de éste índice espectral en la **sección 5.1.3.3** y luego se

¹⁸ Dónde: W: Watts; m²: metro cuadrado; sr: estereorradián; μm : micrómetro.

establecen los valores del umbral de NDVI a partir del cual se determina la vigorosidad de la vegetación al interior de cada formación vegetal, por lo que se considerará o no “activa”.

La definición de los umbrales del NDVI se realizó para cada una de las formaciones vegetales descritas por la COT y su cobertura vegetal, para lograr representar el patrón de distribución espacial de la vegetación activa.

Siguiendo dicho patrón de distribución, los umbrales se calculan en consideración del método de clasificación de datos “Quiebres naturales” o “*Natural breaks*”¹⁹, para cada formación vegetal (polígonos) definidas en la COT, considerando la cobertura de invierno de 2019²⁰. A excepción de las formaciones Matorral de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis* y Matorral hídrico de *Sarcocornia fruticosa*, cuyo índice respondió mejor al método de clasificación por “cuantiles”.

La selección del umbral dentro de los cuatro parámetros considerados por formación vegetal, se realizó revisando el mejor ajuste en relación a seguir el patrón de distribución espacial establecido por la COT, considerando la cobertura vegetal, lo que se compara con los valores históricos de línea de base, indicados por formación vegetal y por sector (**Tabla N° 5-19**).

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

La captura de imágenes de alta resolución WorldView-2 se realizó con fecha 4 de abril 2020 y Pleiades 1A con fecha 8 de junio 2020 (en detalle **metadata imágenes satelitales en Anexo Vegetación y Flora**). Tal como se señaló anteriormente, para el aseguramiento de la calidad y representatividad de los datos NDVI, dado el uso combinado de imágenes satelitales AR provenientes de diferentes fuentes (Worldview-2 y Pleiades 1-A) y con desplazamiento de fechas (04 abril y 08 junio 2020, respectivamente), se analizó previamente las variaciones numéricas de las imágenes en bruto, corregidas y los insumos (índices espectrales) utilizados en este informe, tanto en separado como en mosaico y por sector. En ninguna de las pruebas se detecta variaciones significativas que puedan influir en los resultados de actividad vegetal, donde los valores de NDVI umbral corresponden a los esperados en las diferentes formaciones, según los resultados de los seguimientos consecutivos. En este sentido, realizar los análisis NDVI en abril o junio 2020, no presenta diferencias en cuanto a la respuesta de la actividad observada de la vegetación, porque ambas fuentes responden de modo similar para la variable monitoreada.

¹⁹ Método basado en la naturaleza de los datos, donde los límites entre clases quedan establecidos por diferencias considerables entre los valores éstos (Smith, Goodchild & Longley, 2015).

²⁰ Se considera la COT invierno 2019 como la última información validada para el área de estudio, considerando que las formaciones se mantienen estables y no hay modificaciones en la distribución de ellas.

Tabla N° 5-19. Umbrales de NDVI por formación vegetal y sector de monitoreo.

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA	
				NDVI	PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN
Tilopozo - La Punta y La Brava	No aplica	Áreas desprovistas de vegetación	- (*H1)	>0,125	Quiebres naturales
			- (*LB1)	>0,140	Quiebres naturales
	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Ephedra breana</i>	>0,135	Quiebres naturales
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	>0,192	Quiebres naturales
	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,128	Quiebres naturales (LPLB)
			Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,141	Quiebres naturales (TI)
			Vega de <i>Juncus balticus</i>	>0,161	Quiebres naturales
			Vega de <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,132	Quiebres naturales
			Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Triglochin concinna</i>	>0,105	Quiebres naturales
			Vega de <i>Phragmites australis</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	>0,133	Quiebres naturales
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	>0,190	Quiebres naturales
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> (*H5)	>0,166	Quiebres naturales
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	>0,333	Quiebres naturales
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis</i>	>0,294	Quiebres naturales

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA	
				NDVI	PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN
			<i>juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>		
			Vega de <i>Triglochin concinna</i>	>0,150	Quiebres naturales (TI)
			Vega de <i>Triglochin concinna</i>	>0,142	Quiebres naturales (LPLB)
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,182	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,151	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	>0,162	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>	>0,177	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,178	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	>0,171	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> ,	>0,158	Quiebres naturales

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA	
				NDVI	PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN
			<i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>		
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Puccinellia frigida</i>	>0,140	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Triglochin concinna</i> y <i>Nitrophila atacamensis</i>	>0,113	Quiebres naturales
			Matorral hídrico de <i>Lycium humile</i> (+)	>0,109	Quiebres naturales
			Matorral hídrico de <i>Lycium humile</i>	>0,165	Quiebres naturales
Peine	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,140	Quiebres naturales
			Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,146	Quiebres naturales
			Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Adesmia imbricata</i>	>0,153	Quiebres naturales
			Matorral de <i>Adesmia imbricata</i>	>0,138	Quiebres naturales
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	>0,163	Quiebres naturales
			Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	>0,158	Quantiles (P80)
	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i> (*H4)	>0,137	Quiebres naturales

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA			
				NDVI	PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN		
			Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,232	Quiebres naturales		
			Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	>0,150	Quiebres naturales		
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	>0,358	Quiebres naturales		
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,245	Quiebres naturales		
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,174	Quiebres naturales		
			Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	>0,153	Quiebres naturales		
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Distichlis spicata</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	>0,136	Quiebres naturales		
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>1,262	Quiebres naturales		
		Aguas de Quelana	Zonal	Matorrales	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	>0,081	Quiebres naturales

SECTOR DE MONITOREO NDVI	TIPO DE VEGETACIÓN	RECUBRIMIENTO DE SUELO	FORMACIÓN VEGETAL	UMBRAL DE VEGETACIÓN ACTIVA	
				NDVI	PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN
	Azonal		Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Lycium humile</i>	>0,083	Quiebres naturales
		Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,110	Quiebres naturales
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,107	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Nitrophila atacamensis</i>	>0,100	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Puccinellia frigida</i>	>0,112	Quiebres naturales
			Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,095	Quiebres naturales
			Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	>0,108	Quantiles (P70)
Soncor	Azonal	Humedales	Vega de <i>Distichlis spicata</i>	>0,166	Quiebres naturales
		Matorral - Humedal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	>0,179	Quiebres naturales

*Recubrimiento Áreas Desprovistas de Vegetación (ADV), con cobertura vegetal que no constituye formación vegetal por criterio COT; H1: Vega muy escasa (cobertura menor 5%), LB1: Matorral leñoso bajo (cobertura menor 5%).

Fuente: Elaboración propia.

5.2 RESULTADOS

5.2.1 RESULTADOS COBERTURA Y VEGETACION (COT)

5.2.1.1 Resultados del muestreo campaña de invierno de 2019

5.2.1.1.1 Caracterización de la vegetación en el área de estudio

De acuerdo a lo observado en invierno 2019, no se han presentado mayores modificaciones en la descripción y delimitación de la COT, en relación al monitoreo de verano de 2017 en adelante (post ajuste metodológico), dando como resultado superficies similares en los distintos tipos de recubrimiento, con una estabilidad principalmente en las formaciones vegetales. Lo anterior, se traduce en una validación de la COT.

En el monitoreo de invierno 2019 (**Tabla N° 5-20**), se identificaron los tres tipos de recubrimiento de suelo en la COT, los mismos identificados en campañas anteriores, entre los cuales destaca la superficie sin vegetación (otros recubrimientos) equivalente a un 78,1% de la superficie del área de estudio. La cobertura vegetal con una superficie de 7.238,9 hectáreas, equivalentes a 21,9% del área de estudio, estando representada en un 8,7% por vegetación zonal y en un 13,2% por vegetación azonal. Dentro de los tipos de formaciones, se identificaron cinco formaciones de matorrales zonales, clasificadas según dominancia; seis formaciones vegetales azonales de humedal, clasificadas de acuerdo a la dominancia de sus especies; y tres tipos formaciones azonales mixtas, con dos formaciones de matorral hídrico, una de matorral - vega, y tres de matorral hídrico - vega, agrupadas según la dominancia de sus especies.

Entre las formaciones más representativas de la vegetación zonal, destacan los matorrales zonales de *Tessaria absinthioides* con una superficie de 1.626,8 hectáreas (4,9% del área de estudio) y los de *Atriplex atacamensis* con 542,8 hectáreas (1,6%), ambos concentrados principalmente en el sector de Peine (**Figura N° 5-12**). Por otra parte, en la vegetación azonal de humedales, son más representativas las formaciones de vega de *Distichlis spicata* con 970,3 hectáreas (2,9%) y las vegas de *Juncus balticus* con 241,6 hectáreas (0,7%), ambas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo (**Figura N° 5-11**). En el caso de la vegetación azonal mixta, las formaciones más representativas corresponden al matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, con una superficie de 2.139,3 (6,5%), distribuida de manera más homogénea entre los sectores Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana; y el matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa*, con una superficie de 403,4 ha (1,2%), distribuida principalmente en el sector Aguas de Quelana (**Figura N° 5-10**). En la **Tabla N° 5-20** se presentan los distintos recubrimientos de suelo y formaciones vegetales presentes en el área de estudio, su representatividad en función de las unidades cartográficas (UC-polígonos) y la superficie ocupada por cada uno, junto con su representatividad.

De acuerdo al proceso de mejoramiento de la COT para la descripción de la vegetación, en la **Tabla N° 5-21**, se presenta un resumen de las coberturas y especies dominantes por formación vegetal.

Como se observa en la **Tabla N° 5-20**, la formación que presenta mayor cantidad de unidades cartográficas corresponde a la vega con dominancia de *Distichlis spicata* (42 unidades), las cuales presentan en general una cobertura escasa en su estrato arbustivo, y una variación de cobertura vegetal de escasa a densa (5% a 90%) en su estrato herbáceo (**Tabla N° 5-21**). Los resultados en detalle se pueden revisar en los anexos cartográficos de invierno 2019, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Invierno 2019)**.

Tabla N° 5-20. Representatividad de los recubrimientos de suelo en los sectores del área de estudio del proyecto, invierno de 2019.

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i> Tipo de formación o recubrimiento <i>Formación vegetal</i>	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
OTROS RECUBRIMIENTOS	14.408,0	58,2	2.936,0	3.435,4	4.993,5	91	25.831,1	78,1
ÁREAS DESPROVISTAS DE VEGETACIÓN	13.088,6	18,4	2.815,0	3.410,1	4.749,3	50	24.081,4	72,8
Salares	12.474,0	18,4	2.658,0	3.410,1	4.749,3	33	23.309,8	70,5
Áreas denudadas	614,5		157,0			17	771,5	2,3
AREAS INDUSTRIALES	1.245,2					4	1.245,2	3,8
Centros industriales	1.198,1					1	1.198,1	3,6
Suelos removidos	47,1					3	47,1	0,1
CUERPOS DE AGUA	74,2	39,8	121,0	25,4	244,2	37	504,6	1,5
Lagunas	74,2	39,8	121,0	25,4	244,2	37	504,6	1,5
VEGETACIÓN ZONAL	583,0		2.181,0	114,8		28	2.878,7	8,7
MATORRALES	583,0		2.181,0	114,8		28	2.878,7	8,7
<i>Matorral con dominancia de Aa</i>			542,8			2	542,8	1,6
<i>Matorral con dominancia de Ad</i>			69,5			2	69,5	0,2
<i>Matorral con dominancia de Eb</i>	491,1					9	491,1	1,5
<i>Matorral con dominancia de Tb</i>	91,8		1.420,2	114,8		14	1.626,8	4,9
<i>Matorral de Ai</i>			148,5			1	148,5	0,4
VEGETACIÓN AZONAL	1.998,6	124,9	808,0	1.404,0	24,8	102	4.360,4	13,2
HUMEDALES	1.043,2	19,1	108,3	203,9	16,9	68	1.391,5	4,2
<i>Vega con dominancia de dp</i>	661,8	2,3	85,3	203,9	16,9	42	970,3	2,9
<i>Vega con dominancia de jb</i>	241,6					7	241,6	0,7
<i>Vega con dominancia de sca</i>	72,7		23,0			15	95,7	0,3

TIPO DE RECUBRIMIENTO <i>RECUBRIMIENTO DE SUELO</i> Tipo de formación o recubrimiento	SECTOR ÁREA DE ESTUDIO (ha)					TOTAL		
	Tilopozo	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor	UC	ha	%
<i>Formación vegetal</i>								
<i>Vega con dominancia de tr</i>	24,5	13,6				2	38,1	0,1
<i>Vega de nia tr</i>		3,3				1	3,3	0,01
<i>Vega de ph dp sca</i>	42,5					1	42,5	0,1
MATORRAL - HUMEDAL	955,3	105,8	699,7	1.200,1	7,8	34	2.968,7	9,0
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh*</i>	80,7	64,6	3,4			8	148,7	0,4
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf</i>	18,2	41,1	8,9	335,2		7	403,4	1,2
<i>Matorral hídrico con dominancia de Lh</i>	49,6					3	49,6	0,2
<i>Matorral hídrico con dominancia de Sf</i>				209,1		6	209,1	0,6
<i>Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp</i>				18,6		1	18,6	0,1
<i>Matorral - Vega de Tb dp</i>	806,8		687,4	637,3	7,8	9	2.139,3	6,5
Total general (ha)	16.989,5	183,1	5.925,0	4.954,2	5.018,2	221	33.070,1	100
Total general (%)	51,4	0,6	17,9	15,0	15,2	100		

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

*La superficie del *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh*, se subdividió en esta campaña invierno 2019 entre los sectores de Tilopozo y La Punta-La Brava, para que corresponda con la localización asignada a las transectas y a los límites asignados a cada sector en el área de estudio. .

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5-21. Descripción de las formaciones vegetales en el área de estudio del proyecto. Invierno 2019.

RECUBRIMIENTO DE SUELO		Especies dominantes	Cobertura vegetal	
Formación vegetal			LB	H
VEGETACIÓN ZONAL				
MATORRALES				
<i>Matorral con dominancia de Aa</i>		Aa cid Tt	4(3-4)	4
<i>Matorral con dominancia de Ad</i>		Ad Aa Ai cis cid	3	4
<i>Matorral de Ai</i>		Ai cid	3	2
<i>Matorral con dominancia de Eb</i>		Eb dp	2(2-3)	2
<i>Matorral con dominancia de Tb</i>		Tb Aa Lh	3(2-5)	1
VEGETACIÓN AZONAL				
HUMEDALES				
<i>Vega de ph dp sca</i>		ph dp sca		5
<i>Vega con dominancia de dp</i>		dp Lh bj	2	4(2-6)
<i>Vega con dominancia de jb</i>		jb Lh dp	1	4(3-4)
<i>Vega con dominancia de sca</i>		sca bj dp		6(2-7)
<i>Vega con dominancia de tc</i>		tc	1	4(3-4)
<i>Vega de nia tc</i>		nia tc		2
MATORRAL - HUMEDAL				
<i>Matorral - Vega de Tb dp</i>		Tb dp	3(3-4)	3(2-5)
<i>Matorral hídrico con dominancia de Lh</i>		Lh	3(2-3)	
<i>Matorral hídrico con dominancia de Sf</i>		Sf	3(2-3)	
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lh</i>		Lh dp sca jb bj	3(2-4)	4(3-4)
<i>Matorral hídrico - Vega con dominancia de Sf</i>		Sf dp bj sca nia pu tc	3(2-5)	3(2-5)
<i>Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp</i>		Tb Lh dp	3	2
Total Unidades cartográficas con cobertura vegetal				

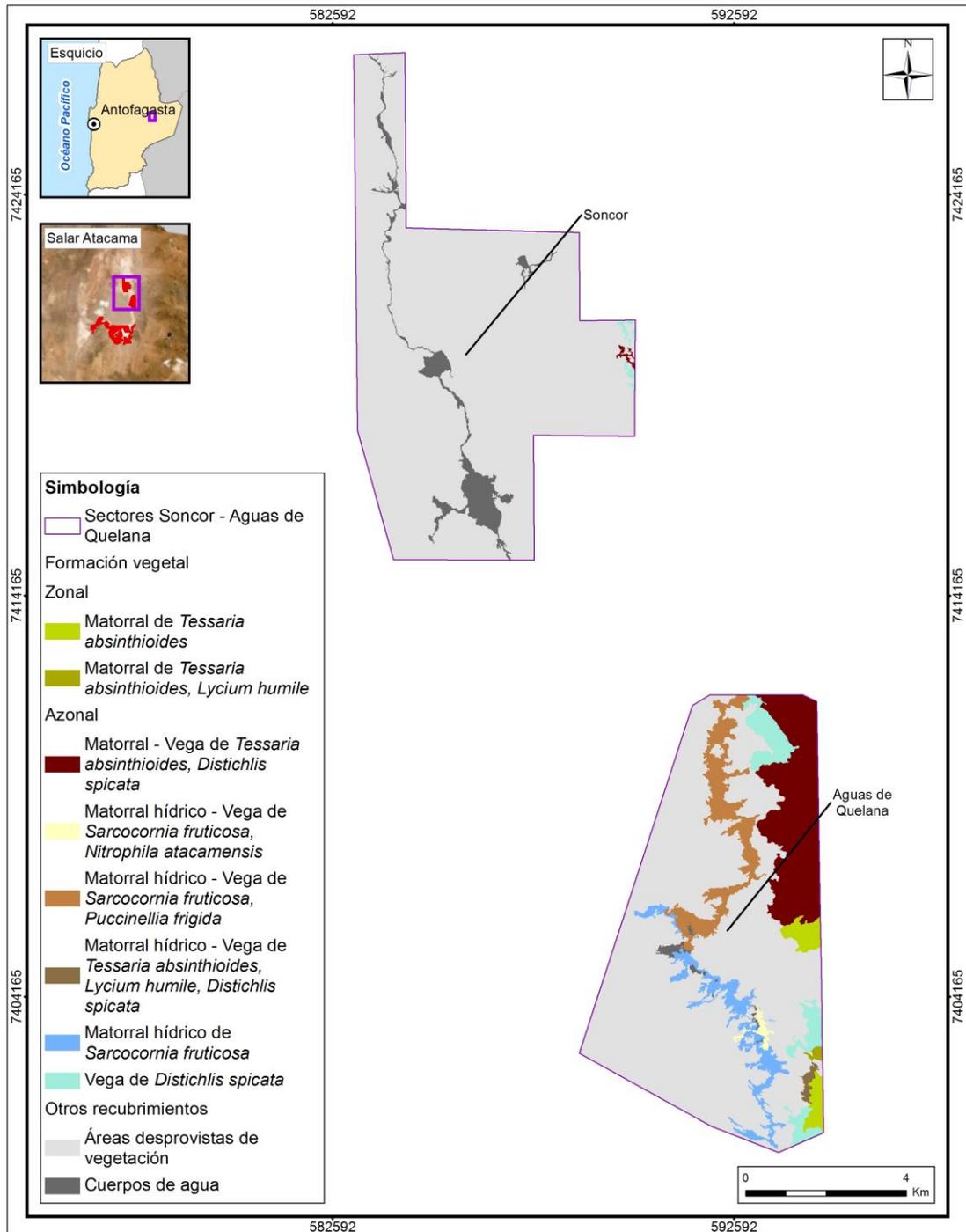
*: El rango no se indica para aquellos casos de valor único registrado.

Dónde:

COT: Carta Ocupación de Tierras			
Cobertura vegetal (%)		Códigos de especies	Herbáceas (H):
1	muy escasa (1-5)	Arbustivas (Leñoso Bajo) (LB):	bj <i>Baccharis juncea</i>
2	escasa (5-10)	Aa <i>Atriplex atacamensis</i>	cid <i>Cistanthe densiflora</i>
3	muy clara (10-25)	Ad <i>Aloysia deserticola</i>	cis <i>Cistanthe salsoloides</i>
4	clara (25-50)	Ai <i>Atriplex imbricata</i>	dp <i>Distichlis spicata</i>
5	poco densa (50-75)	Eb <i>Ephedra breana</i>	jb <i>Juncus balticus</i>
6	densa (75-90)	Lh <i>Lycium humile</i>	nia <i>Nitrophila atacamensis</i>
7	muy densa (>90)	Sf <i>Sarcocornia fruticosa</i>	ph <i>Phragmites australis</i>
		Tb <i>Tessaria absinthioides</i>	pu <i>Puccinellia frigida</i>
		Tt <i>Tiquilia atacamensis</i>	sca <i>Schoenoplectus californicus</i>
			tc <i>Triglochin concinna</i>

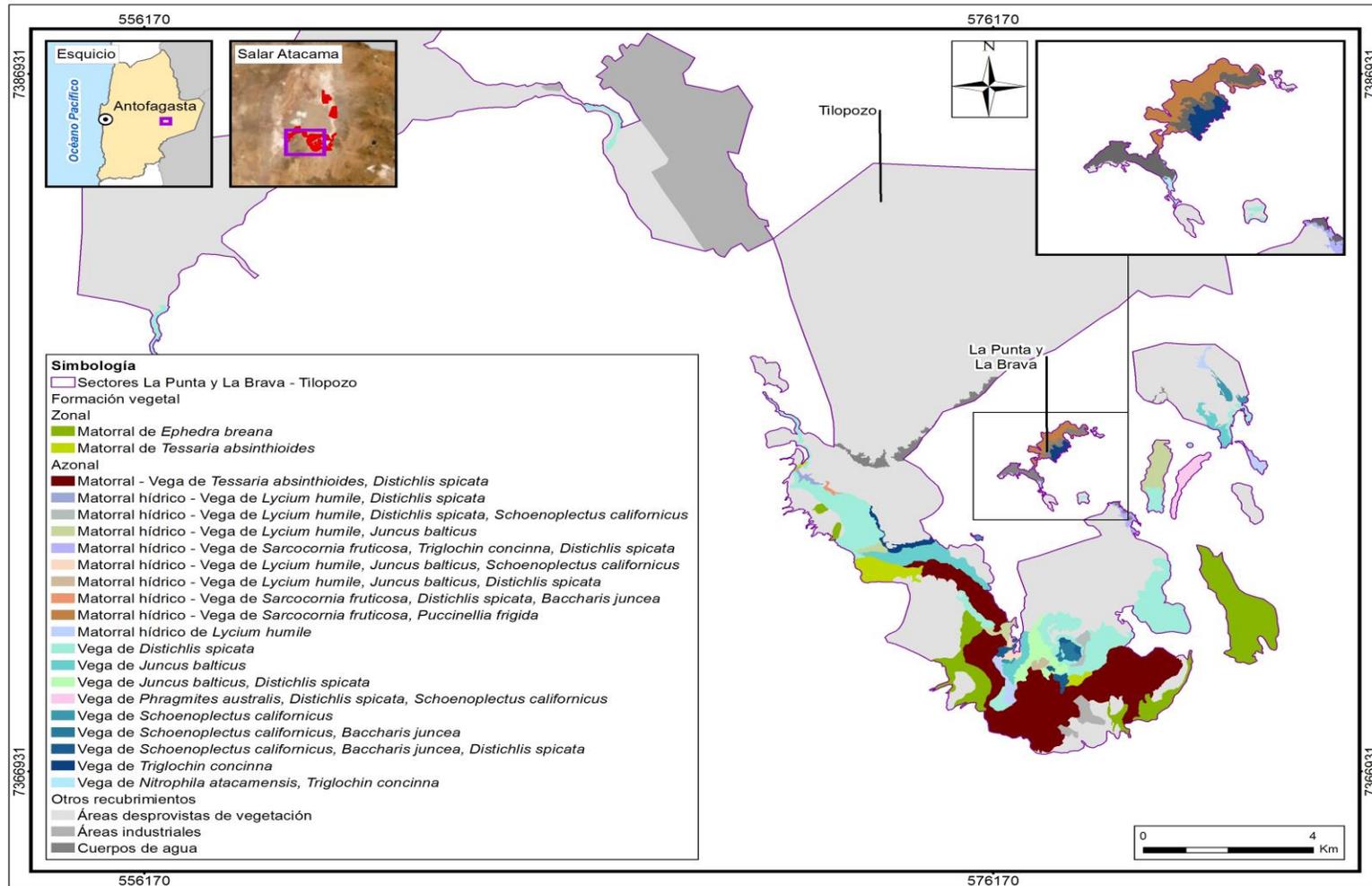
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-10. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona norte del área de estudio. Invierno de 2019.



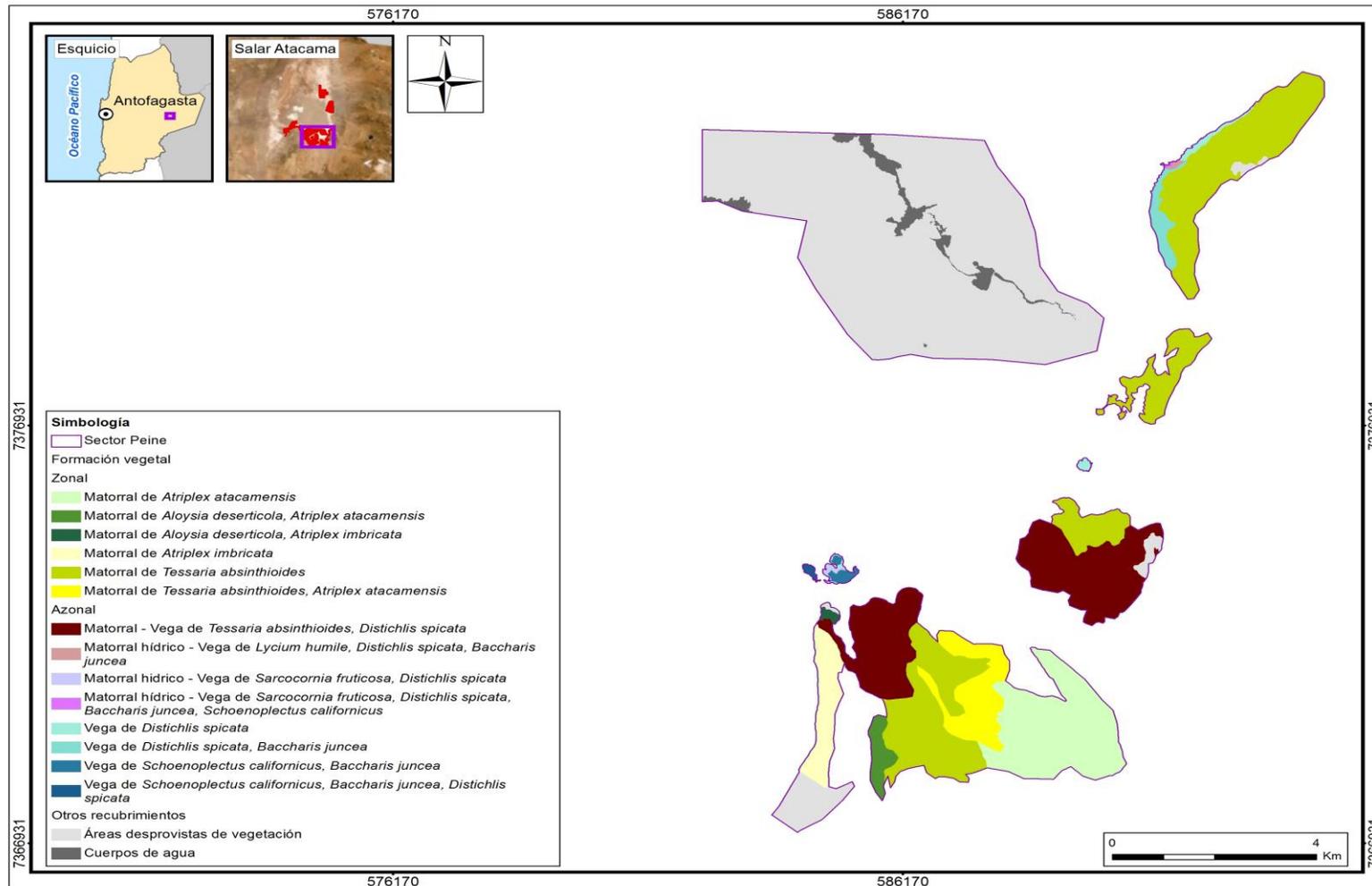
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-11. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en los sectores Tilopozo, La Punta y La Brava. Invierno de 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-12. Distribución de formaciones vegetales y otros recubrimientos según Carta de Ocupación de Tierras (COT), en la zona sur del área de estudio en el sector Peine. Invierno de 2019.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1.2 Formaciones vegetales - invierno 2019

Como resultado de la campaña de invierno 2019, a continuación se describe la vegetación de acuerdo a sus patrones de distribución zonal y azonal, junto con una descripción general para las unidades correspondientes a otros recubrimientos dentro del área de estudio. En las figuras previas presentadas, **Figura N° 5-10**, **Figura N° 5-11** y **Figura N° 5-12**, se muestra la distribución de las formaciones vegetales según la COT, en la zona norte (Soncor y Quelana) y sur (Tilopozo, La Punta y La Brava y Peine) del área de estudio. Los resultados de la cartografía para el monitoreo de invierno de 2019 se pueden revisar en detalle en los anexos cartográficos de invierno 2019, en **Anexo Vegetación y flora: Cartografía COT (Invierno 2019)**.

a) Vegetación Zonal

- *Matorral con dominancia de Atriplex atacamensis*

Esta formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por el arbusto *Atriplex atacamensis*, “cachiyuyo”, donde destacan otras especies acompañantes como *Tiquilia atacamensis* y la herbácea *Cistanthe densiflora*. La cobertura vegetal arbustiva varía entre muy clara y clara (10 a 50%), y clara (25-50%) para el estrato herbáceo (**Tabla N° 5-21**).

Esta formación se observa en dos unidades cartográficas ubicadas en el sector de Peine, abarcando una superficie de 542,8 hectáreas, que representa un 1,6% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Matorral con dominancia de Aloysia deserticola*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie *Aloysia deserticola* “rica-rica”, donde destacan otras especies acompañantes como *Atriplex atacamensis*, *Atriplex imbricata* y las herbáceas *Cistanthe densiflora* y *Cistanthe salsoloides*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo se observa como muy clara (10 a 25%), mientras que para el estrato herbáceo se observa como clara (25-50%) (**Tabla N° 5-21**).

Esta formación está presente en dos unidades cartográficas ubicadas en el sector de Peine, abarcando una superficie de 69,5 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Matorral de Atriplex imbricata*

Esta formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie arbustiva *Atriplex imbricata* “ojalar”, donde destaca como especie

acompañante la herbácea *Cistanthe densiflora*. La cobertura vegetal es muy clara (10 a 25%) para el estrato arbustivo y escasa (5-10%) para el herbáceo (**Tabla N° 5-21**).

Esta formación está representada por una unidad cartográfica ubicada en el sector de Peine, abarcando una superficie de 148,5 hectáreas, que representa un 0,4% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Matorral con dominancia de Ephedra breana*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por el arbusto *Ephedra breana* “pingo-pingo”, acompañada de la herbácea *Distichlis spicata*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo varía entre escasa y muy clara (5 a 25%), y una cobertura herbácea escasa (5-10%), ver **Tabla N° 5-21**.

Esta formación está presente en nueve unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 491,1 hectáreas, que representa un 1,5% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Matorral con dominancia de Tessaria absinthioides*

La formación presenta una fisonomía de matorral, con un estrato leñoso bajo dominado por la especie arbustiva *Tessaria absinthioides* “brea”, donde destacan los arbustos *Atriplex atacamensis* y *Lycium humile* como especies acompañantes en la formación. La cobertura vegetal está representada por un estrato arbustivo que varía de escaso a poco denso (5 a 75%), y un estrato herbáceo presente muy escaso (1-5%), ver **Tabla N° 5-21**.

Esta formación está representada en 14 unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, Peine y Aguas de Quelana. Es la formación zonal más representativa, abarcando una superficie de 1.626,8 hectáreas, que representa un 4,9% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

Fotografía N° 5-4. Fisonomía de formaciones vegetales de tipo zonal. Invierno 2019.



Donde a: *Matorral de Tessaria absinthioides* en Peine y b: *Matorral de Tessaria absinthioides* en Tilopozo. Fuente: Elaboración propia.

b) Vegetación Azonal

- *Vega de Phragmites australis, Distichlis spicata y Schoenoplectus californicus*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por las especies *Phragmites australis* “carrizo”, *Distichlis spicata* “grama salada” y *Schoenoplectus californicus* “junco”. La cobertura vegetal observada es poco densa (50 a 75%), ver **Tabla N° 5-21**.

Esta formación está representada por una unidad cartográfica en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 42,5 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Vega con dominancia de Distichlis spicata*

Esta formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”, siendo acompañada en una unidad cartográfica por la herbácea *Baccharis juncea*, y en otra unidad por el arbusto *Lycium humile*. La cobertura vegetal del estrato arbustivo se observa escasa (5-10%), mientras que el estrato herbáceo varía de escaso a denso (5 a 90%) entre sus unidades (**Tabla N° 5-21**).

Esta formación se observa en 42 unidades cartográficas ubicadas en todos los sectores del área de estudio. Es la formación azonal más representativa, abarcando una superficie de 970,3 hectáreas, que representa un 2,9% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Vega con dominancia de Juncus balticus*

La formación presenta una fisonomía de herbazal, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Juncus balticus* “junquillo”, siendo acompañado en dos unidades por la especie *Distichlis spicata* y en una unidad por la especie *Lycium humile*. La cobertura vegetal varía de muy clara a clara (10 a 50%), pudiendo existir un estrato arbustivo de cobertura muy escasa en algunas unidades (**Tabla N° 5-21**).

Esta formación se presenta en siete unidades cartográficas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 241,6 hectáreas, que representa un 0,7% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Vega con dominancia de Schoenoplectus californicus*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Schoenoplectus californicus* “junco”, y como especies acompañantes *Baccharis juncea* y *Distichlis spicata*. La cobertura vegetal varía de escasa a muy densa (5 a 100%) entre sus unidades, ver **Tabla N° 5-21**.

Esta formación está representada en 15 unidades cartográficas en el sector de Tilopozo y Peine, abarcando una superficie de 95,7 hectáreas, que representa un 0,3% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Vega con dominancia de Triglochin concinna*

Esta formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por la especie *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal herbácea varía de muy clara a clara (10 a 50%) entre sus unidades, pudiendo existir un estrato arbustivo de cobertura muy escasa (1-5%) (**Tabla N° 5-21**).

Esta formación se observa en dos unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava, abarcando una superficie de 38,1 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Vega de Nitrophila atacamensis y Triglochin concinna*

La formación presenta una fisonomía de vega, con un estrato herbáceo dominado por las especies *Nitrophila atacamensis* y *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal del estrato herbáceo es escasa (5 a 10%), ver **Tabla N° 5-21**.

Esta formación está representada por una unidad cartográfica en el sector de La Punta y La Brava, abarcando una superficie de 3,3 hectáreas, que representa un 0,01% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Matorral - Vega de Tessaria absinthioides y Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega, en la cual domina el arbusto *Tessaria absinthioides* “brea” en el estrato arbustivo, junto con la especie *Distichlis spicata* “grama salada” dominando en el estrato herbáceo. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo varía entre muy clara y clara (10 a 50%), y la del estrato herbáceo varía entre escasa y poco densa (5 a 75%), ver **Tabla N° 5-21**.

Esta formación se observó en nueve unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, Peine, Aguas de Quelana y Soncor, abarcando una superficie de 2.139,3 hectáreas, que representa un 6,5% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Matorral hídrico con dominancia de Lycium humile*

La formación presenta una fisonomía de matorral dominado por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume”, lo que le da la caracterización de matorral hídrico. La cobertura vegetal varía de escasa a muy clara, entre 5 y 25% (**Tabla N° 5-21**).

Esta formación se observó en tres unidades cartográficas ubicadas en el sector de Tilopozo, abarcando una superficie de 49,6 hectáreas, que representa un 0,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Matorral hídrico con dominancia de Sarcocornia fruticosa*

La formación presenta una fisonomía de matorral distribuida en bordes de lagunas, lo cual le da la caracterización de formación azonal hídrica. Está dominada por la especie arbustiva *Sarcocornia fruticosa* “sosa”, especie halófito que se desarrolla especialmente sobre costras salinas, alcanzando una cobertura vegetal entre escasa y muy clara (5 a 25%), ver **Tabla N° 5-21**.

Esta formación se presenta en seis unidades cartográficas ubicadas en el sector Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 209,1 hectáreas, que representa un 0,6% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Matorral hídrico - Vega con dominancia de Lycium humile*

Esta formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominada por la especie arbustiva *Lycium humile* “jume” y un estrato herbáceo representado por las especies *Distichlis spicata* “grama salada”, *Schoenoplectus californicus* “junco”, *Juncus balticus* “junquillo” y *Baccharis juncea*. La cobertura del estrato leñoso bajo varía de escasa a clara (5 y 50%) y la del estrato herbáceo entre muy clara y clara (10 a 50%), ver **Tabla N° 5-21**.

Esta formación está representada por ocho unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, La Punta y La Brava y Peine, abarcando una superficie de 148,7 hectáreas, que representa un 0,4% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

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

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral – vega dominado por el arbusto *Sarcocornia fruticosa* “sosa” y un estrato herbáceo dominado por las especies *Distichlis spicata* “grama salada”, *Baccharis juncea* “suncho”, *Schoenoplectus californicus* “junco”, *Nitrophila atacamensis*, *Puccinellia frigida* y *Triglochin concinna*. La cobertura vegetal observada tanto para el estrato leñoso bajo, como para el estrato herbáceo varía de escasa a poco densa (5 a 75%), ver **Tabla N° 5-21**.

Esta formación se presenta en siete unidades cartográficas ubicadas en los sectores de Tilopozo, La Punta y La Brava, Peine y Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 403,4 hectáreas, que representa un 1,2% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

- *Matorral hídrico - Vega de Tessaria absinthioides, Lycium humile y Distichlis spicata*

La formación presenta una fisonomía mixta de matorral y herbazal representado por los arbustos *Tessaria absinthioides* “brea” y *Lycium humile* “jume”, junto a un estrato herbáceo dominado por la especie *Distichlis spicata* “grama salada”. La cobertura vegetal del estrato leñoso bajo corresponde a muy clara (10 y 25%) y la del estrato herbáceo alcanza una cobertura vegetal escasa (5 a 10%) (**Tabla N° 5-21**).

Esta formación está representada por una unidad cartográfica ubicada al sureste del sector de Aguas de Quelana, abarcando una superficie de 18,6 hectáreas, que representa un 0,1% de la superficie del área de estudio (**Tabla N° 5-20**).

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



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

Fuente: Elaboración propia.

c) Otros recubrimientos

- Áreas desprovistas de vegetación

En el área de estudio, se identificaron dos tipos de recubrimientos relacionados a áreas naturales (no intervenidas) sin vegetación, correspondientes a las superficies cubiertas de sal, el salar propiamente tal y áreas denudadas que corresponderían a formaciones sin desarrollo de suelo ni vegetación, por efectos de erosión natural localizadas en los bordes del salar.

Este recubrimiento presenta una superficie de 24.081,4 hectáreas, lo que representa la mayor superficie del área de estudio con un 72,8%, distribuido en todos los sectores en 50 unidades cartográficas (**Tabla N° 5-20**).

- Áreas industriales

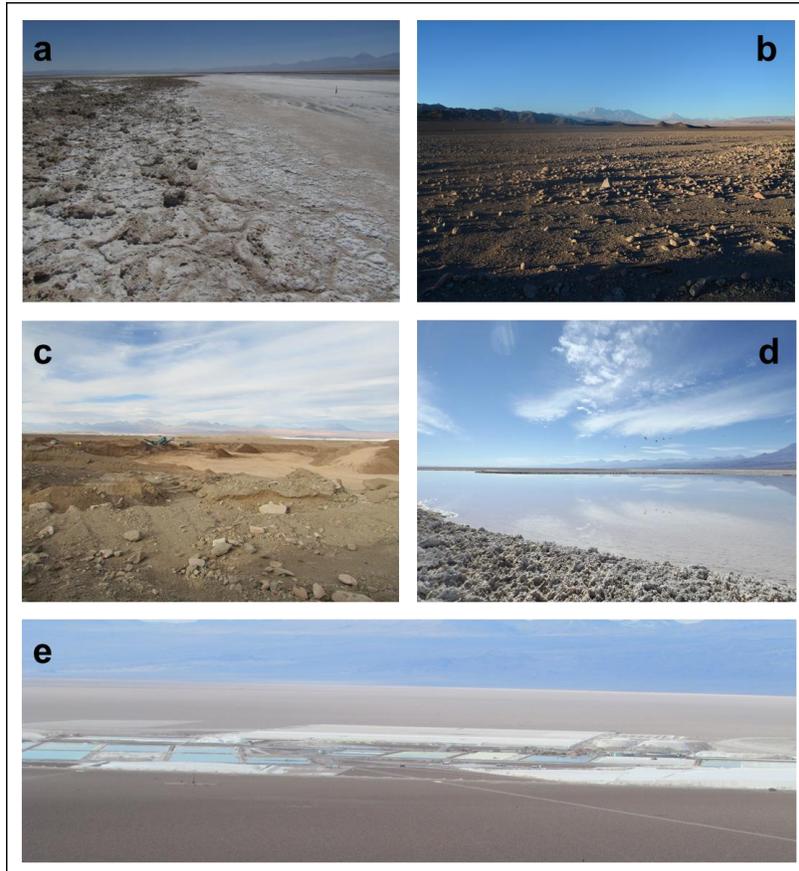
Las áreas industriales están representadas por dos tipos de recubrimiento, donde una unidad está caracterizada como centro industrial, la cual correspondería a las instalaciones de Albemarle, y por otro lado, tres unidades se encuentran identificadas como suelos removidos, que son zonas claramente intervenidas identificadas dentro del área de estudio. Este recubrimiento abarca una superficie de 1.245,2 hectáreas, lo que representa un 3,8% del área de estudio, con las cuatro unidades localizadas en el sector Tilopozo (**Tabla N° 5-20**).

- Cuerpos de agua

Los cuerpos de agua corresponden a lagunas de distintas superficies distribuidas en todos los sectores del área de estudio. Abarcan una superficie de 504,6 hectáreas, lo que representa un 1,5% del área de estudio. Particularmente en el sector Soncor, destaca la mayor concentración de la superficie de lagunas con 244,2 hectáreas²¹ (48,4% del total; **Tabla N° 5-20**) y en la parte norte, la presencia notable de vegetación acuática al interior de éstas (**Fotografía N° 5-7**).

²¹ Superficie que proviene de fotointerpretación COT, por lo que no es comparable con el valor proveniente del modelo calculado para el monitoreo de áreas lagunares (NDWI).

Fotografía N° 5-6. Fisonomía de otros recubrimientos (sin vegetación) en el área de estudio.



Donde: a) Salares, b) Áreas denudadas, c) Suelos removidos, d) Lagunas, e) Centros industriales

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-7. Vegetación en lagunas al norte del sector Soncor.



Fuente: Descarga desde Google Earth en coordenada: E: 584470 y N: 7424369, de fecha 15 de marzo de 2011, propiedad de Barbosa ©.

5.2.2 RESULTADOS FLORA Y VEGETACIÓN (TRANSECTAS)

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

5.2.2.1.1 Formaciones vegetales

En la **Tabla N° 5-22**, se presentan los tipos de vegetación identificados en cada una de las transectas durante la campaña de invierno 2019.

Cabe destacar que, por mala accesibilidad de caminos, no fue posible registrar la transecta T14 que se localiza en un área desprovista de vegetación (costra salina) en el sector de Soncor (Laguna Barros Negros), aunque fue validada a distancia mediante un punto COT. Es importante recordar que a esta zona se ingresa con apoyo del guardaparque de CONAF de la Reserva Nacional Los Flamencos.

Tabla N° 5-22. Tipo de vegetación en las transectas de monitoreo.

TIPO DE FORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL	ESPECIE(S) ACOMPAÑANTE(S)	TRANSECTAS
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	<i>Baccharis juncea</i> , <i>Lycium humile</i>	T08; T09; T20; T21; T22; T26; T27; T28
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	<i>Distichlis spicata</i> , <i>Lycium humile</i>	T13; T18; T30; T31
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	<i>Baccharis juncea</i> , <i>Distichlis spicata</i> , <i>Sarcocornia fruticosa</i>	T01; T02; T03; T04; T19; T29
Herbazal	Azonal	Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	<i>Nitrophila atacamensis</i>	T10*; T11*
Matorral	Azonal	Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	<i>Nitrophila atacamensis</i> , <i>Puccinellia frigida</i>	T12*; T15*; T16*; T17*
Matorral	Zonal	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	<i>Atriplex atacamensis</i> , <i>Distichlis spicata</i>	T05; T06; T07; T23; T24; T25
Sin vegetación/Salar		Área desprovista de vegetación	-	T14*

Dónde: *: Transectas control vegetación.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la descripción de las formaciones vegetales, en la **Tabla N° 5-23**, se presentan las principales características de las transectas para el monitoreo de invierno 2019, tanto de vegetación (riqueza, formación COT asociada, especies dominantes y grado de alteración) como de las condiciones físicas del terreno (humedad del suelo y salinidad). La fisonomía de las formaciones vegetales y del área desprovista de vegetación en Soncor se pueden observar en las siguientes fotografías **Fotografía N° 5-8**, **Fotografía N° 5-9**, **Fotografía N° 5-10**, **Fotografía N° 5-11**, **Fotografía N° 5-12** y **Fotografía N° 5-13**.

Tabla N° 5-23. Resumen de la verificación COT y características físicas en las transectas de Monitoreo 7 (invierno 2019), en cada subsector.

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración	Riqueza
Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	Peine	T08	H3	dp bj	Saturado	30-50%	1	2
		T09	H4	dp	Saturado	30-50%	1	1
	Tilopozo	T20	H5	dp	Saturado	<10%	1	1
		T21	H2	dp	No saturado	>80%	1	2
		T22	LB2 H3	dp Lh	No saturado	>80%	1	3
		T26	H3	dp	No saturado	10-30%	1	1
		T27	H3	dp	No saturado	<10%	1	1
		T28	H4	dp	No saturado	>80%	1	1
Riqueza total en formación vegetal								4
Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	La Punta	T13	LB2 H4	jb Lh	No saturado	50-80%	1	2
	Tilopozo	T18	LB1 H4	jb	No saturado	50-80%	1	2
		T30	H4	jb dp	No saturado	>80%	1	3
		T31	LB1 H3	jb dp	No saturado	>80%	1	3
Riqueza total en formación vegetal								3
Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	Peine	T01	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2*	3
		T02	H7	sca bj	Saturado	<10%	1	4
		T03	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2*	3
		T04	H7	sca bj dp	Saturado	<10%	1	4
	Tilopozo	T19	H7	sca bj	Saturado	<10%	2*	3
		T29	H7	sca bj	Sobresaturado	<10%	2*	3
Riqueza total en formación vegetal								5
Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	H2	nia tc	No saturado	>80%	1	3
	La Punta	T11	LB1 H4	tc	Sobresaturado	50-80%	1	2
	Riqueza total en formación vegetal							
	La Punta	T12	LB3 H2	Sf pu	Saturado	>80%	1	1

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Formación COT	Especie(s) dominante(s)	Contenido Humedad	Afloramiento salino	Grado Alteración	Riqueza
Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	Aguas de Quelana*	T15	LB3 H2	Sf nia	Sobresaturado	>80%	1	4
		T16	LB3	Sf	Saturado	>80%	1	1
		T17	LB4 H2	Sf pu	Sobresaturado	>80%	1	1
	Riqueza total en formación vegetal							
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	Peine	T05	LB4	Tb Aa	No saturado	<10%	1	1
		T06	LB4	Tb Aa	No saturado	<10%	1	2
		T07	LB4	Tb Aa	No saturado	<10%	1	2
	Tilopozo	T23	LB4	Tb	No saturado	>80%	1	1
		T24	LB4 H3	Tb dp	No saturado	>80%	1	2
		T25	LB4 H3	Tb dp	No saturado	>80%	1	2
Riqueza total en formación vegetal								3
Área desprovista de vegetación	Soncor**	T14	ADV	-	-	-	-	-

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

** Subsector Soncor sin muestreo en Monitoreo 7 debido a malas condiciones de caminos, del que se conoce no registra cobertura vegetal.

Donde:

COT: Carta Ocupación de Tierras			
Coberturas (%):	Tipo Biológico:	Especies:	
1 muy escasa (<5)	LB: Leñoso Bajo (arbustivo)	Aa: <i>Atriplex atacamensis</i>	tc: <i>Triglochin concinna</i>
2 escasa (5-10)	H: Herbáceo	bj: <i>Baccharis juncea</i>	pu: <i>Puccinellia frigida</i>
3 muy clara (10-25)	Otras coberturas COT:	dp: <i>Distichlis spicata</i>	Sf: <i>Sarcocornia fruticosa</i>
4 clara (25-50)	ADV: Áreas desprovistas de vegetación	jb: <i>Juncus balticus</i>	Tb: <i>Tessaria absinthioides</i>
5 poco densa (50-75)	Grado de Alteración:	Lh: <i>Lycium humile</i>	
6 densa (75-90)	1 Vegetación en estado natural	nia: <i>Nitrophila atacamensis</i>	
7 muy densa (>90)	2 Vegetación alterada	sca: <i>Schoenoplectus americanus</i>	

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-8. Fisonomía de herbazal de *Distichlis spicata* en invierno 2019, en distintas transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-9. Fisonomía de herbazal de *Schoenoplectus californicus* en invierno 2019, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-10. Fisonomía de herbazal de *Juncus balticus* en invierno 2019, en transectas de estudio.



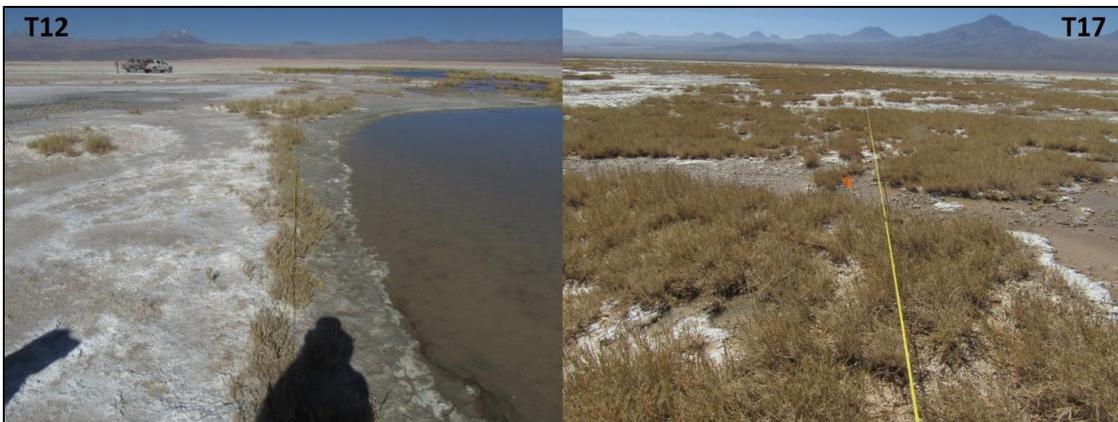
Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-11. Fisonomía de herbazal de *Triglochin concinna* en invierno 2019, en transectas de estudio.

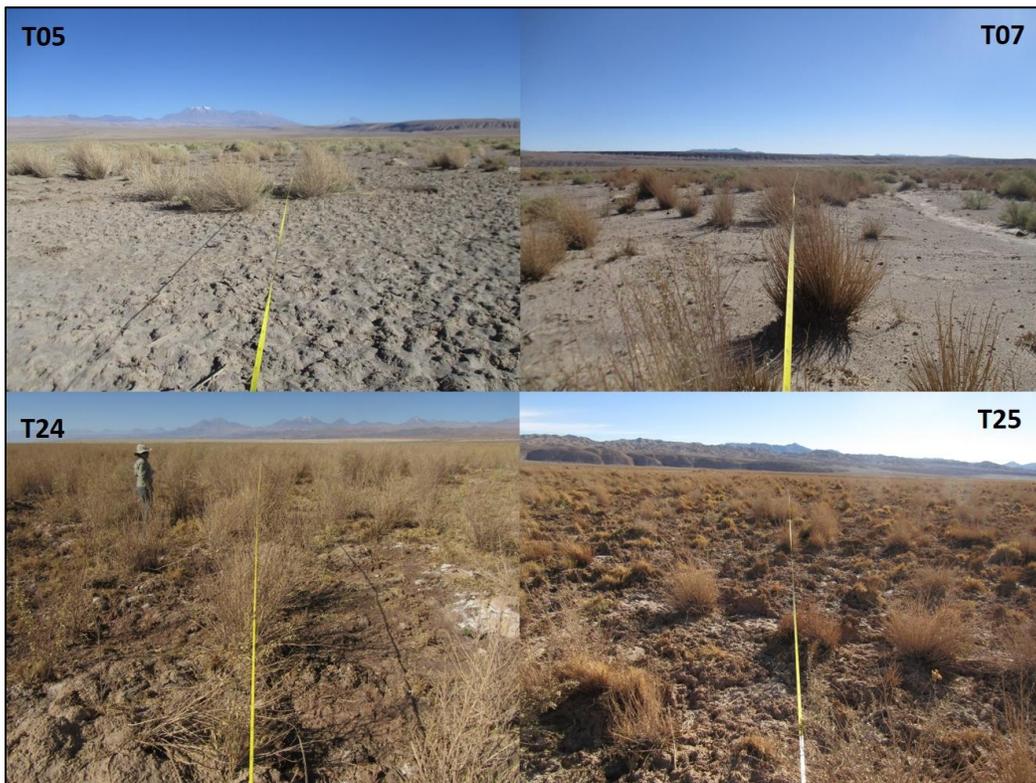


Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-12. Fisonomía de matorral de *Sarcocornia fruticosa* en invierno 2019, en transectas de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía N° 5-13. Fisonomía de matorral de *Tessaria absinthioides* en invierno 2019, en transectas de estudio.

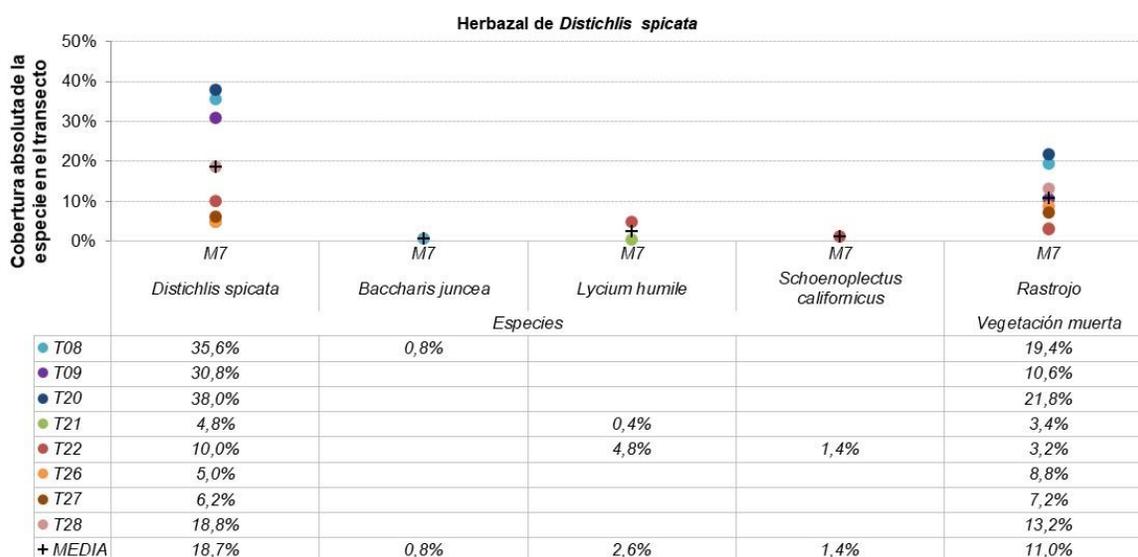
Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2 Composición y cobertura

5.2.2.1.2.1 Cobertura absoluta de especies

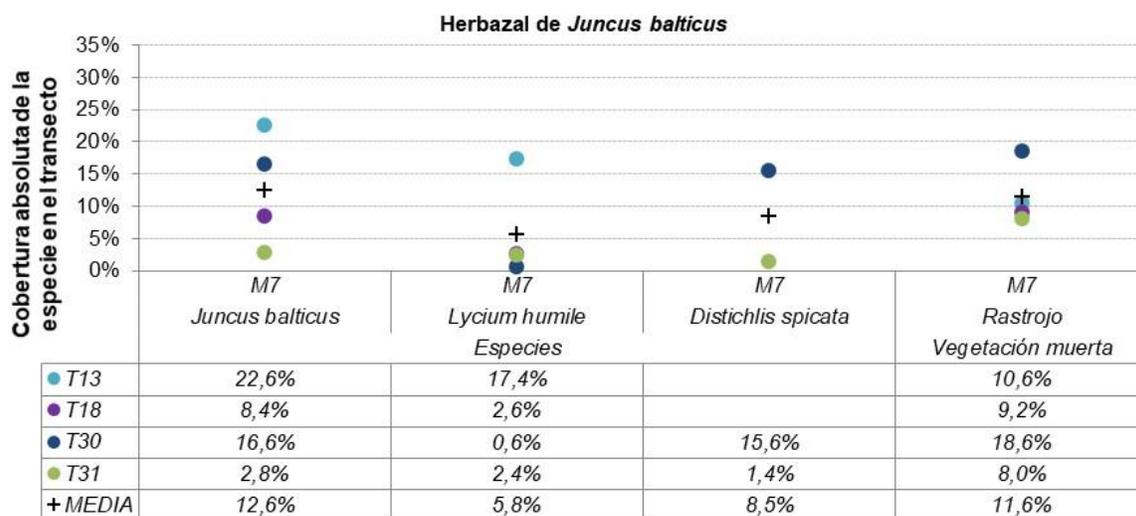
La cobertura absoluta de las especies, calculada para el Monitoreo 7 (invierno 2019), se presenta por transecta en los siguientes seis gráficos, ordenados según las seis formaciones vegetales. En cuanto a las coberturas de los otros recubrimientos por transecta y por formación vegetal, se detallan en la **Tabla N°1-2 del Anexo Vegetación y Flora**, y el detalle del tipo de recubrimiento por transecta se observa en la **Tabla N°1-3 del Anexo Vegetación y Flora**.

Figura N° 5-13. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de *Distichlis spicata*.



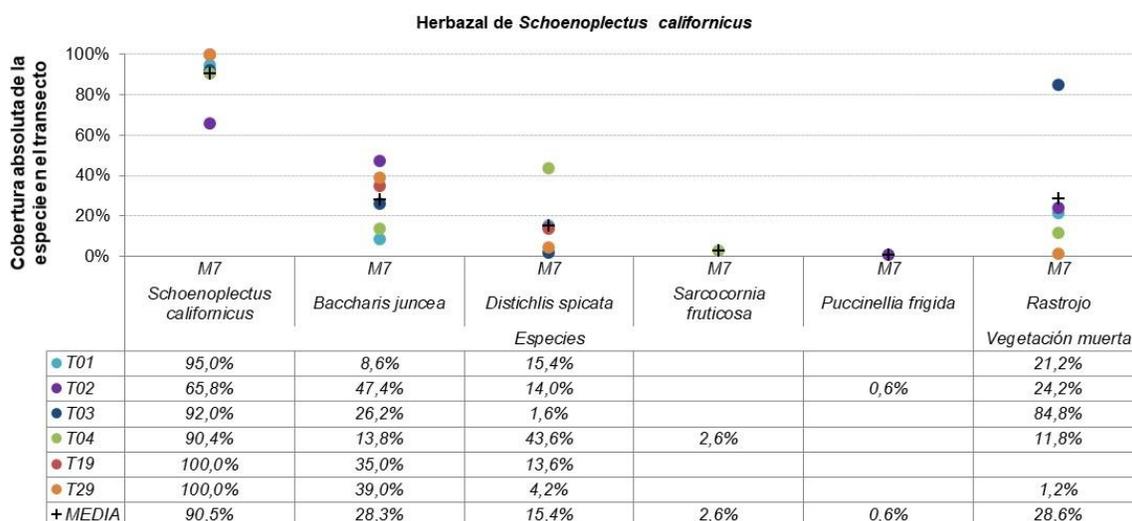
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-14. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de *Juncus balticus*.



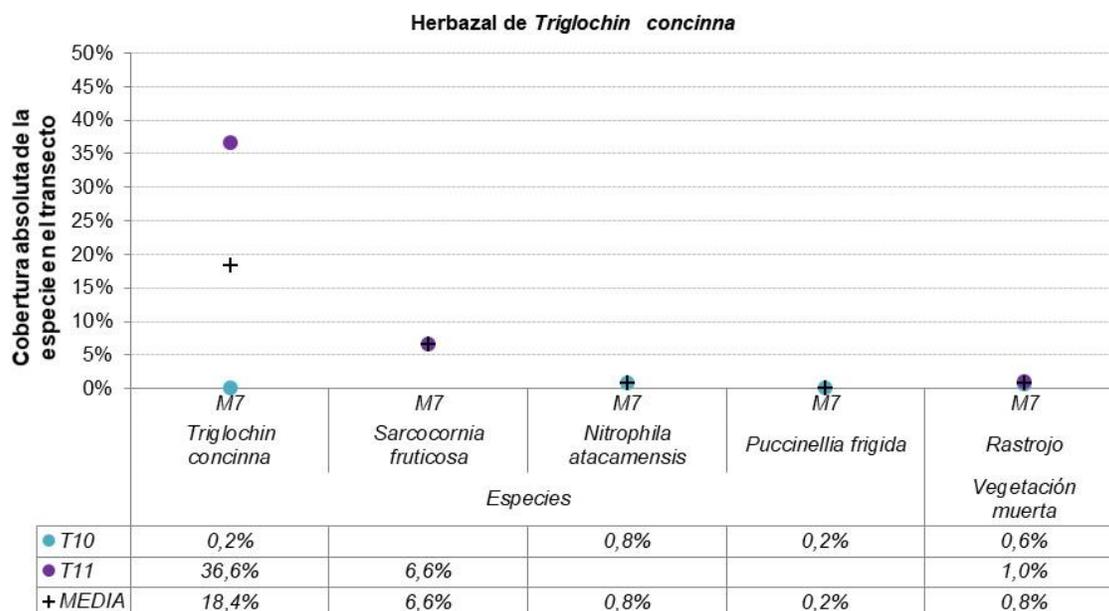
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-15. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus*.



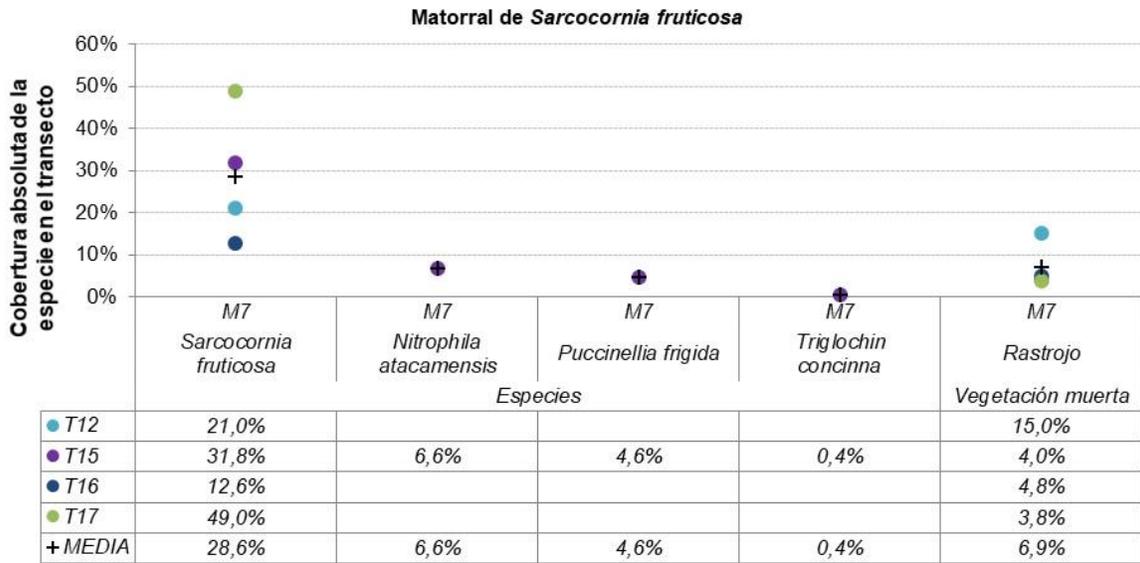
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-16. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de herbazal de *Triglochin concinna*.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-17. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de matorral de *Sarcocornia fruticosa*.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5-18. Cobertura absoluta de las especies registradas en las transectas de monitoreo 7, en la formación de matorral de *Tessaria absinthioides*.



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los resultados presentados, destaca la especie *Schoenoplectus californicus* como aquella especie dominante de mayor cobertura absoluta en sus transectas, con una cobertura sobre un 90% en cinco de las seis transectas (T01, T03, T04, T19 y T29), donde

las transectas T19 y T29 localizadas en Tilopozo alcanzan el 100%, ver **Figura N° 5-15**. Además, esta especie conserva la mayor cobertura promedio de todas las especies registradas, con una media de 90,5% observado en la formación dominada por esta especie. Esta especie se registra también en la transecta T22, en una formación de *Distichlis spicata*, aunque con una cobertura (absoluta) mínima de 1,4% (**Figura N° 5-13**).

Entre las especies dominantes de formaciones vegetales que presentan los valores de cobertura más baja, destacan las especies *Juncus balticus* y *Tessaria absinthioides*. La especie *J. balticus* alcanza un máximo de 22,6% en la transecta T13 y una cobertura (absoluta) mínima de 2,8% en la transecta T31, registrando una cobertura promedio de 12,6% en la formación que domina. Esta especie no se registra en otras transectas de otras formaciones, ver **Figura N° 5-14**.

La arbustiva *T. absinthioides* registra en la transecta T05 la cobertura mínima de 6,4% y en T23 y T25 de 9,0%, y en la transecta T24 un máximo de cobertura absoluta de 26,2%, presentando una cobertura media de 13,8% en la formación de matorral en que domina (**Figura N° 5-18**). Esta especie no se registra en transectas de otras formaciones.

Entre las especies acompañantes, destacan por una menor representatividad dentro de las formaciones las especies *Nitrophila atacamensis*, *Puccinellia frigida* y *Atriplex atacamensis*, con una cobertura absoluta menor al 10%, destacando la menor presencia de *A. atacamensis* con un 0,2% de cobertura absoluta (ver **Figura N° 5-15** a **Figura N° 5-18**).

Por su parte, la especie acompañante *Baccharis juncea* destaca al alcanzar una cobertura media de 28,3% y con una máxima cobertura absoluta de 47,4% en la transecta T02, en el herbazal de *S. californicus* (**Figura N° 5-15**).

5.2.2.1.2.2 Cobertura y riqueza de transectas

En la **Tabla N° 5-24**, se presentan las coberturas absolutas y promedio, además de la riqueza, para cada una de las transectas monitoreadas en la campaña de invierno 2019 (Monitoreo 7).

En el Monitoreo 7, se observa que todas las transectas correspondientes a la formación dominada por *Schoenoplectus californicus* presentan coberturas absolutas superiores al 100%, destacando la transecta T04 que alcanza la mayor cobertura absoluta para la formación con un 150,4%. Estos valores se explican por la presencia de más de una especie acompañante con coberturas altas en las transectas de la formación (**Tabla N° 5-24**, **Figura N° 5-15**). En consecuencia, para esta formación los valores de cobertura promedio por transecta se observan altos con respecto a las otras formaciones vegetales, variando entre un 32,0 y 49,5%.

Por su parte, el herbazal de *Distichlis spicata* presenta algunos de los valores más bajos de cobertura absoluta por transecta. El valor mínimo se presenta en la transecta T26, con un 5,0% de cobertura absoluta. Las transectas T21 y T27 de esta formación presentan

coberturas entre un 5,2 y 6,2%, mientras que la mayor cobertura absoluta se registró en la transecta T20 con un 38,0%. En cuanto al herbazal de *Triglochin concinna*, si bien la formación registra una cobertura mayor al 40% en el subsector La Punta (43,2% en T11), registra en el subsector La Brava la menor cobertura absoluta por transecta de la campaña (1,2% en T10), ver **Tabla N° 5-24**.

La vegetación del área no se destaca por presentar una alta riqueza de especies vasculares, variando la riqueza por transecta entre una y cuatro especies. Las transectas que registran una riqueza de cuatro especies corresponden a T02, T04 y T15, las dos primeras localizadas en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* de Peine y la última en el herbazal de *Triglochin concinna* en Aguas de Quelana.

Por otra parte, la misma **Tabla N° 5-24** presentan las coberturas muertas detectadas por transecta. Al respecto, la transecta T19 en un herbazal de *Schoenoplectus californicus* en Tilopozo, es la única donde no se observó cobertura muerta en la formación. No obstante, en la transecta T03 en Peine de esta formación es donde se registra una de las mayores coberturas de rastrojos con un 84,8%, asociado principalmente a rastrojos de la quema ocurrida el año anterior en el área.

En cuanto al resto de las formaciones vegetales, en todas las transectas se detectó algún porcentaje de cobertura muerta, variando desde un mínimo de 0,6% y 1,0% en las dos transectas del herbazal de *Triglochin concinna* (T10 y T11), hasta el máximo de 84,8% en el herbazal de *Schoenoplectus californicus* de Peine (T03). En resumen, se observa que la cobertura de rastrojos por transecta es menor a un 10% de cubrimiento en 14 transectas; en 11 transectas se observa una cobertura entre 10 y 20%; tres transectas que registran coberturas de rastrojos entre 20% y 25% (T01, T02 y T20); y la transecta T03 que registra una cobertura absoluta mayor a un 80% de rastrojos producto de las quemaduras ocurridas en el área, ver **Tabla N° 5-24**.

Por último, en la **Tabla N° 5-24** también se observa la cobertura de los otros tipos de recubrimientos que se registran en las transectas, la que se registra en todas las formaciones vegetales, exceptuando al herbazal de *Schoenoplectus californicus*, que registra únicamente un 0,2% de agua superficial en una de las seis transectas (T01). El detalle de las coberturas de los otros recubrimientos por transecta se presenta a continuación.

Tabla N° 5-24. Riqueza y cobertura absoluta y promedio de las transectas en Monitoreo 7 (invierno 2019).

Formación vegetal	Subsector	Transecta	Cobertura vegetación (%)		Cobertura absoluta (%)		Riqueza (No. de especies)
			Absoluta	Promedio	Rastrojos/ muerta	Otros recubrimientos	
<i>Herbazal de Schoenoplectus californicus</i>	Peine	T01	119,0%	39,7%	21,2%	0,2%	3
		T02	127,8%	32,0%	24,2%	-	4
		T03	119,8%	39,9%	84,8%	-	3
		T04	150,4%	37,6%	11,8%	-	4
	Tilopozo	T19	148,6%	49,5%	-	-	3
		T29	143,2%	47,7%	1,2%	-	3
<i>Herbazal de Juncus balticus</i>	La Punta	T13	40,0%	20,0%	10,6%	60,8%	2
	Tilopozo	T18	11,0%	5,5%	9,2%	80,6%	2
		T30	32,8%	10,9%	18,6%	53,8%	3
		T31	6,6%	2,2%	8,0%	85,4%	3
<i>Herbazal de Distichlis spicata</i>	Peine	T08	36,4%	18,2%	19,4%	44,4%	2
		T09	30,8%	30,8%	10,6%	58,6%	1
	Tilopozo	T20	38,0%	38,0%	21,8%	40,2%	1
		T21	5,2%	2,6%	3,4%	91,4%	2
		T22	16,2%	5,4%	3,2%	83,2%	3
		T26	5,0%	5,0%	8,8%	86,2%	1
		T27	6,2%	6,2%	7,2%	86,6%	1
		T28	18,8%	18,8%	13,2%	68,0%	1
<i>Herbazal de Triglochin concinna</i>	La Brava	T10	1,2%	0,4%	0,6%	98,4%	3
	La Punta	T11	43,2%	21,6%	1,0%	59,4%	2
<i>Matorral de Sarcocornia fruticosa</i>		T12	21,0%	21,0%	15,0%	64,2%	1
	Aguas de Quelana	T15	43,4%	10,9%	4,0%	55,6%	4
		T16	12,6%	12,6%	4,8%	82,6%	1

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

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2.3 Cobertura de otros recubrimientos en transectas

En la **Tabla N° 5-25** se puede observar en detalle las coberturas absolutas de los otros recubrimientos por transecta, los cuales están asociados a las características del sustrato donde se desarrolla la vegetación, tales como costra salina, agua superficial, suelo terroso entre otros.

Como se había mencionado anteriormente, destaca que para casi todas las formaciones vegetales el porcentaje de cobertura de otros recubrimientos registrado por transecta es alto (>40%), en comparación al recubrimiento vegetal, excluyendo todas las transectas de la formación dominada por *Schoenoplectus californicus*. El sustrato principal registrado en otros recubrimientos es la costra salina, incluida la costra salina saturada o sobresaturada, presente en 15 transectas con valores entre 2,0% a 91,4% de costra salina, entre 0,2% y 28,2% de costra salina saturada y entre 1,2% y 77,4% de costra salina sobresaturada, siendo una cobertura especialmente alta en las transectas de la formación de herbazal de *Juncus balticus* (entre 53% y 85%); y también destaca la alta cobertura de costra salina terrosa en algunas transectas, especialmente en el matorral de *T. absinthioides* y en dos transectas de herbazal de *D. spicata* (entre 47% y 86%). Las formaciones vegetales que registran transectas con cobertura de costra salina terrosa, registran también una cobertura de suelo terroso en tres transectas, sobre un 70% en T27, T05 y T07 (**Tabla N° 5-25**).

Cabe señalar que las transectas que presentaron agua en superficie corresponden a las dos transectas del herbazal de *Triglochin concinna* (T10 y T11) y en las tres transectas de matorral de *S. fruticosa* en Aguas de Quelana (T15, T16 y T17), todas localizadas en bordes o cercanas a sistemas lagunares. Adicionalmente, se registró una mínima cobertura de agua superficial en la transecta T01 en un herbazal de *S. californicus* de Peine (**Tabla N° 5-25**).

Tabla N° 5-25. Cobertura absoluta de Otros recubrimientos en las transectas de Monitoreo 7 (invierno 2019).

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

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

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2.4 Cobertura promedio y composición del sector

En la **Tabla N° 5-26** se observan los valores promedios de cobertura por subsector, donde destaca el subsector de Peine con la mayor cobertura de vegetación (69,5%).

El sector de Soncor no presenta cobertura vegetal, ya que se encuentra sobre una costra salina y corresponde a un área desprovista de vegetación. Por otra parte, el sector La Punta y La Brava tiene, entre los sectores con vegetación, el menor valor de cobertura absoluta, con un 26,4%, representando formaciones con vegetación parchosa correspondientes a herbazales de *Triglochin concinna* y matorrales de *Sarcocornia fruticosa*, que se desarrollan en bordes de lagunas (**Tabla N° 5-26**).

Los subsectores Aguas de Quelana y Tilopozo presentan valores similares entre ellos, con coberturas promedio entre 35,0% y 35,7% (**Tabla N° 5-26**).

Por otro lado, la cobertura promedio de la vegetación muerta registra un valor máximo de 22,6% en el subsector Peine, mientras que los otros subsectores registran valores de 10% o menos de cobertura promedio de rastrojos (**Tabla N° 5-26**).

Finalmente, la riqueza de especies por subsector se observa entre cuatro y siete especies de flora vascular, exceptuando a sector Soncor que no registra vegetación o individuos de flora (**Tabla N° 5-26**). La **Tabla N° 5-27**, muestra la riqueza y la composición de las especies presentes por subsector.

Tabla N° 5-26. Cobertura promedio y riqueza por Subsectores, en Monitoreo 7 (invierno 2019).

Subsector	Transectos en el sector	Promedio de la cobertura absoluta por subsector		Riqueza (No. De especies)
		Vegetación (%)	Vegetación muerta - Rastrojo (%)	
La Punta y La Brava	4	26,4%	6,8%	6
Peine	9	69,5%	22,6%	7
Aguas de Quelana	3	35,0%	4,2%	4
Soncor	1	-	-	-
Tilopozo	14	35,7%	10,0%	6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 5-27. Composición de especies vasculares por subsectores, en el Monitoreo 7 (invierno 2019).

Especie	Subsector Área de estudio			
	La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Tilopozo
<i>Baccharis juncea</i> (Cass.) Desf.		x		x
<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene		x		x
<i>Lycium humile</i> Phil.	x			x
<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják		x		x
<i>Tessaria absinthioides</i> (Hook. & Arn.) DC.		x		x
<i>Juncus balticus</i> Willd.	x			x
<i>Sarcocornia fruticosa</i> (L.) A.J. Scott	x	x	x	
<i>Triglochin concinna</i> Burt Davy	x		x	
<i>Nitrophila atacamensis</i> (Phil.) Hieron. ex Ulbr.	x		x	
<i>Puccinellia frigida</i> (Phil.) I.M. Johnst.	x	x	x	
<i>Atriplex atacamensis</i> Phil.		x		
Riqueza total por subsector	6	7	4	6

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 RESULTADOS DE DISTRIBUCION Y COBERTURA DE LA VEGETACIÓN AZONAL - MÉTODO NDVI

De acuerdo con el Anexo N°2, Adenda 5 RWL (2015), en este acápite se presentan los resultados obtenidos a partir del método NVDI - imágenes satelitales, que representan la cobertura vegetal y su grado de vigorosidad, es decir, vegetación activa para verano post lluvias 2020, dada la frecuencia anual de medición a través de este método.

Es importante recordar que, la extracción de los valores de NDVI se realiza en el área correspondiente a la superficie de la Carta de Ocupación de Tierras (COT – Agosto 2019; que como se mencionó anteriormente no influye en la estacionalidad), que representa la vegetación zonal, azonal y otros recubrimientos en cuatro sectores del Salar en la campaña de verano de 2019: (i) Tilopozo, (ii) La Punta y La Brava, (iii) Peine, (iv) Soncor y (v) Quelana.

Según los valores obtenidos en base a la metodología descrita en la **sección 5.1.3**, los resultados de la superficie de vegetación activa por formación vegetal correspondiente a cada sector, se detallan en la **Tabla N° 5-28** y se grafican en los archivos cartográficos presentados en el **Anexo de Vegetación y Flora** de este Informe Anual.

Tabla N° 5-28. Superficie de vegetación activa (NDVI) post – lluvias 2020 en base a la COT Invierno 2019, por sector.

SECTOR <i>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</i> Formación vegetal	SUPERFICIES (ha)	
	Vegetación activa NDVI	Polígonos con vegetación COT
Peine	506,6	2.989,0
<i>Zonal</i>	395,1	2.181,0
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i>	88,0	542,8
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	5,2	60,1
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> y <i>Adesmia imbricata</i>	1,5	9,3
Matorral de <i>Adesmia imbricata</i>	15,5	148,5
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	263,0	1.193,7
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Atriplex atacamensis</i>	22,0	226,5
<i>Azonal</i>	111,5	808,0
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	16,6	28,1
Vega de <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	17,8	57,2
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	3,1	16,8
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	4,8	6,1
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	64,5	687,4
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	0,8	3,4
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Distichlis spicata</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	0,9	1,9
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,0	6,9
La Punta y La Brava	16,7	124,9
<i>Azonal</i>	16,7	124,9
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Puccinellia frigida</i>	9,6	41,1
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>	3,4	64,6
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	0,3	2,3
Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Triglochin concinna</i>	1,1	3,3
Vega de <i>Triglochin concinna</i>	2,3	13,6
Aguas de Quelana	274,3	1.518,8
<i>Zonal</i>	32,3	114,8
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	29,2	104,9
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Lycium humile</i>	3,1	9,8
<i>Azonal</i>	242,0	1.404,0
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	28,1	203,9
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	139,7	637,3
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Nitrophila atacamensis</i>	2,0	21,6
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Puccinellia frigida</i>	46,3	313,6
Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	2,9	18,6
Matorral hídrico de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	23,0	209,1
Soncor	5,8	24,8
<i>Azonal</i>	5,8	24,8
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	3,1	16,9
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	2,7	7,8

SECTOR <i>Recubrimiento de suelo / Tipo de vegetación</i> Formación vegetal	SUPERFICIES (ha)	
	Vegetación activa NDVI	Polígonos con vegetación COT
Tilopozo	516,7	2.603,0
Área desprovista de vegetación	1,4	21,5
Áreas desnudas (H1 - LB1)	1,4	21,5
<i>Zonal</i>	119,6	583,0
Matorral de <i>Ephedra breana</i>	111,7	491,1
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	7,9	91,8
<i>Azonal</i>	395,6	1.998,6
Vega de <i>Distichlis spicata</i>	136,3	661,8
Vega de <i>Juncus balticus</i>	21,3	166,8
Vega de <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	16,4	74,8
Vega de <i>Phragmites australis</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	14,2	42,5
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	9,1	22,5
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	12,3	20,2
Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	9,6	30,1
Vega de <i>Triglochin concinna</i>	2,3	24,5
Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	134,3	806,8
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,1	8,6
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	7,2	16,5
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> y <i>Juncus balticus</i>	7,5	31,3
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Distichlis spicata</i>	2,9	10,1
Matorral hídrico - Vega de <i>Lycium humile</i> , <i>Juncus balticus</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	6,4	14,3
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Distichlis spicata</i> y <i>Baccharis juncea</i>	1,5	4,4
Matorral hídrico - Vega de <i>Sarcocornia fruticosa</i> , <i>Triglochin concinna</i> y <i>Nitrophila atacamensis</i>	3,4	13,8
Matorral hídrico de <i>Lycium humile</i>	7,7	49,6
Total con áreas con vegetación	1.320,2	7.260,4

Fuente: Elaboración propia.

La vegetación activa calculada a partir del NDVI, corresponde a 1.320,2 ha, superficie que representa un 4,0% de la superficie total de la COT (agosto 2019) (33.070,1 ha), incluyendo áreas desprovistas de vegetación. En tanto, la superficie con vegetación de la COT es de 7.260,4 ha, tal como se indica en la tabla anterior, donde la vegetación activa para el período post lluvias estivales 2020 representa un 18,2% (1.320,2 ha). Esta diferencia de superficie se debe a que el índice NDVI responde a múltiples factores, donde su principal aporte es generar una idea del estado general de la vegetación, principalmente de la vigorosidad o actividad de la vegetación que ocupa un área.

Entre las variables que se relacionan con el NDVI, se pueden describir: índice de área foliar, contenido de agua en la hoja, flujo neto de CO₂, radiación fotosintética activa absorbida por la planta, productividad neta de la vegetación, cantidad de lluvia recibida por la vegetación,

dinámica fenológica, evapotranspiración potencial (Gonzaga, 2014); todo lo anterior se suma a la discriminación de los datos en base a los umbrales determinados y la cobertura de cada formación determinada por la COT.

5.2.4 Límites considerados en la evaluación de la flora y vegetación

De acuerdo con lo señalado en el Anexo 2, Adenda 5 RWL (2015), la evaluación del subcomponente flora y vegetación se realizará durante las temporadas de crecimiento de la vegetación, idealmente después de las precipitaciones estivales (marzo o abril).

Según lo dispuesto en la Adenda 5 y la RCA que aprueba al proyecto, donde se explica que *“se entenderá un cambio de tendencia si después de 3 años consecutivos, se observa una disminución sostenida de la cobertura, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector”* (PMB, Capítulo 4. Monitoreo Estado Ecológico; Adenda 5 RWL, 2015 - Apéndice B). En este contexto, los resultados del presente informe que presenta hasta el cuarto año de seguimiento, se incluye un análisis de tendencias de los cuatro años de monitoreo en contraste con los valores históricos, expuesto en la discusión y análisis integral del **Capítulo 0 del Estado Ecológico del Sistema**.

En concordancia con lo establecido por el PMB, donde se señala que *“... se establece que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan dentro de los valores registrados históricamente por sector”*, los resultados generados en el presente informe se presentan de la manera requerida, es decir, por sector, los que se comparan con los valores históricos de cada metodología de medición de parámetros de composición y cobertura de especies y distribución y cobertura de la vegetación azonal.

6 FAUNA VERTEBRADOS TERRESTRES

La campaña de monitoreo de verano 2020 para la variable Fauna de Vertebrados Terrestres, no pudo ser llevada a cabo debido a las condiciones sanitarias excepcionales impuestas por la Pandemia Covid-19, fundamentadas previamente en la Introducción de este Informe Anual N°4. Por esta razón, para este componente se incorpora la información de la campaña de invierno 2019 y anteriores, la que es presentada en el **Anexo Informe Semestral Invierno 2019**, para dar cuenta del monitoreo y análisis de todas las variables asociadas al Plan de Manejo Biótico con compromiso semestral, y para no caer en redundancias en cuanto a la presentación de resultados y su posterior análisis, ya que éstos fueron entregados en el Informe Semestral 2019.

7 TAPETES MICROBIANOS

La campaña de monitoreo de verano 2020 para la variable Tapetes Microbianos, no pudo ser llevada a cabo debido a las condiciones sanitarias excepcionales impuestas por la Pandemia Covid-19, fundamentadas previamente en la Introducción de este Informe Anual N°4. Por esta razón, para este componente se incorpora la información de la campaña de invierno 2019, junto con las anteriores, la que es presentada en el **Anexo Informe Semestral Invierno 2019**, para dar cuenta del monitoreo y análisis de todas las variables asociadas al Plan de Manejo Biótico con compromiso semestral, y para no caer en redundancias en cuanto a la presentación de resultados y su posterior análisis, ya que estos fueron entregados en el Informe Semestral 2019.

8 SUELO O SUSTRATO

La campaña de monitoreo de verano 2020 para la variable Suelo o Sustrato, no pudo ser llevada a cabo debido a las condiciones sanitarias excepcionales impuestas por la Pandemia Covid-19, fundamentadas previamente en la Introducción de este Informe Anual N°4. Por esta razón, para este componente se incorpora la información de la campaña de invierno 2019, y anteriores, la que es presentada en el **Anexo Informe Semestral Invierno 2019**, para dar cuenta del monitoreo y análisis de todas las variables asociadas al Plan de Manejo Biótico con compromiso semestral, y para no caer en redundancias en cuanto a la presentación de resultados y su posterior análisis, ya que estos fueron entregados en el Informe Semestral 2019.

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

La campaña de monitoreo de verano 2020 para la variable Limnología (Biota Acuática, Calidad de Aguas y Sedimentos), no pudo ser llevada a cabo debido a las condiciones sanitarias excepcionales impuestas por la Pandemia Covid-19, fundamentadas previamente en la Introducción de este Informe Anual N°4. Por esta razón, para este componente se incorpora la información de la campaña de invierno 2019, la que es presentada en el **Anexo Informe Semestral Invierno 2019**, junto con las anteriores, para dar cuenta del monitoreo y análisis de todas las variables asociadas al Plan de Manejo Biótico con compromiso semestral, y para no caer en redundancias en cuanto a la presentación de resultados y su posterior análisis, ya que estos fueron entregados en el Informe Semestral 2019.

Para la subcomponente Calidad de Agua, este informe entrega como Anexo, adicional a los Anexos que se entregan, los resultados de calidad de agua superficial correspondientes a la campaña de monitoreo PMB semestral de Invierno 2019, en la planilla Excel correspondiente, según los formatos establecidos en la Resolución Exenta SMA 894 del 24.06.19 que Dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Agua.

10 AREA DE LAGUNAS

El Salar de Atacama, se encuentra ubicado en una cuenca endorreica tectónica, delimitada por la Cordillera de Los Andes (6.000 m.s.n.m) al Este, y por la Cordillera de Domeyko (3.000 m.s.n.m) al Oeste (Ortiz, C. *et al*, 2014). Además, presenta la característica que la dinámica natural de humedales está controlada fundamentalmente por el aporte de agua subterránea y condiciones climáticas regionales, esto los hace particularmente frágiles. Una disminución en el nivel del acuífero y/o aporte hídrico, originaría la compresión de los cuerpos de agua, así como la reducción de la cobertura de vegetación azonal (MMA, 2011).

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

El propósito es realizar el seguimiento para determinar la cobertura de los cuerpos de agua, a través de imágenes satelitales, en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama que conforman el área de estudio: (1) La Punta y La Brava, (2) Peine. Para tal fin, se utilizan imágenes satelitales multiespectrales con un píxel máximo de 4 metros, es decir de alta resolución, utilizando el sensor Pleiades 1A (2 m) y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8 (30 m), obtenidas en **agosto y diciembre de 2019**.

En este contexto, este informe presenta el monitoreo y seguimiento ambiental de las “Superficies cubierta por lagunas”, mediciones de invierno y verano de 2019, durante la Fase de Operación del Proyecto. Este Monitoreo queda establecido, en el numeral 4.2.5 Frecuencia de Medición, Tabla 4.2.6 del Anexo 2 Plan de Manejo Biótico de la Adenda 5 del proyecto RWL.

El parámetro ambiental asociado a este monitoreo, corresponde a la superficie cubierta por lagunas, en metros cuadrados (m²), proveniente de la medición de las áreas de los cuerpos de aguas de los sistemas lagunares mencionados, realizado a través del análisis de imágenes satelitales de alta resolución, según metodología “Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI)²²”, especificado en el Anexo 2, Adenda 5 EIA, *Apéndice B. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua*; RWL, 2015 (en adelante, Adenda 5 RWL, 2015). En la **Tabla N°10-1** se presenta un resumen del

²² El índice modificado MNDWI es más adecuado para realzar el agua en contraste con terrenos construidos y puede revelar mayores detalles en aguas abiertas (Xu, 2006). En este contexto, el NDWI es más eficiente en contraste con suelos desnudos con costra salina y aguas más someras.

componente y la variable ambiental objeto de monitoreo, asociada al análisis de imágenes satelitales.

Tabla N°10-1. Resumen de Componentes y Variables

Componente Ambiental	Monitoreo	Variable o Parámetro	Metodología
Agua	Lagunas o Cuerpos de Agua	Superficie o Área (m ²)	Análisis de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales con un píxel máx. de 4 metros, que incluirán los dos sistemas lagunares. Metodología Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI), Adenda 5 RWL, (2015).

Cabe señalar que las superficies cubiertas por lagunas, se asocian también con los niveles freáticos medidos en las mismas²³ y Vegetación Azonal, y en suma componen las 3 variables de estado indicativas, establecidas para el seguimiento y análisis del estado ecológico del Sistema (Ref. Cap-4.2.7 Criterios para detección de cambio de estado ecológico - Adenda 5 RWL, 2015).

Para el logro del objetivo propuesto inicialmente se realizó el muestreo para la validación estacional, correspondientes a réplicas de puntos de campañas anteriores, que fueron establecidas al inicio de la etapa de monitoreo. Posteriormente, en gabinete, se desarrolló el procesamiento de las imágenes satelitales y los datos de terreno, seguido por la implementación del modelo de clasificación supervisada de los cuerpos agua, en base a la metodología de “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por sus siglas en inglés). Los responsables de las actividades de muestreo y medición en terreno, así como los análisis en gabinete se identifican en la **Tabla N°10-2**.

Tabla N°10-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.

Empresa / Equipo de Trabajo	Actividades realizadas	Encargado
Cedrem Consultores	<u>Medición:</u> Validación estacional de puntos en terreno y levantamiento de puntos de posicionamiento en tiempo real de alta precisión.	<u>Especialistas en terreno:</u> Tomás Lizama Álvaro Ly David Avaca
	<u>Trabajo en gabinete:</u> Aplicación del modelo de clasificación supervisada y análisis de resultados.	<u>Jefe de Proyecto:</u> Jorge Ramos <u>Especialistas en gabinete:</u> Tomás Lizama Jessica Labarca

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

Empresa / Equipo de Trabajo	Actividades realizadas	Encargado
Apogeos	Trabajo en gabinete: Correcciones y adquisición de imágenes satelitales.	Lorena Bustamante (Especialista)

Fuente: Elaboración Propia

En síntesis, se describen los alcances metodológicos, los resultados y discusión del seguimiento señalado, comenzando con el procesamiento de datos a partir de imágenes de alta, Pleiades-1A, y media resolución, Landsat 8, y de datos obtenidos en las campañas de terreno de agosto y diciembre de 2019. Posteriormente, se detallan los resultados de la cobertura determinada para los cuerpos de agua por sistema lagunar, desde imágenes de alta resolución, comparándolos con los registros históricos de línea de base, con resultados de campañas anteriores y con la superficie determinada a partir de Landsat 8, con el fin de realizar un análisis comparativo entre los monitoreos de invierno 2019 y verano 2019, y con los resultados obtenidos desde el primer año de monitoreo (2016).

El objetivo general es monitorear la cobertura o superficie de las lagunas o de los cuerpos de agua, con el fin de lograr detectar cambios en el tamaño de éstas, lo cual determina modificaciones en su capacidad de carga, calidad de agua y también cambios estructurales y funcionales de los ecosistemas acuáticos (Ref. 4.2.7 Criterios para detección de cambio de estado ecológico; Adenda 5 RWL, 2015).

Como ya se ha mencionado, la medición se realiza a través de imágenes satelitales de alta y media resolución y el seguimiento se realiza en contraste con los registros de línea de base, en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama, La Punta y a Brava y Peine, considerando como base los alcances y procedimientos comprometidos en el PMB.

En función de esto, para el cuarto informe consolidado anual se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- Presentar las coberturas de cuerpos de agua calculadas en agosto y diciembre de 2019 a partir de la aplicación de un modelo de clasificación supervisada sobre imágenes satelitales de alta y media resolución (Pleiades 1A y Landsat 8), en base a datos de validación de terreno y a la metodología “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por su sigla en inglés), en dos sistemas lagunares del Salar de Atacama, La Punta y La Brava y Peine.
- Comparar las coberturas de los sistemas lagunares calculadas desde imágenes de alta resolución con los registros históricos determinados en la línea de base del componente y establecidos en el PMB (Adenda 5 RWL, 2015).
- Contrastar las coberturas de los sistemas lagunares definidas para la fase de construcción con las coberturas de los sistemas lagunares definidas para la fase de operación, obtenidas desde imágenes satelitales de alta y media resolución.

10.1 MATERIALES Y MÉTODOS

10.1.1 Descripción del área de estudio

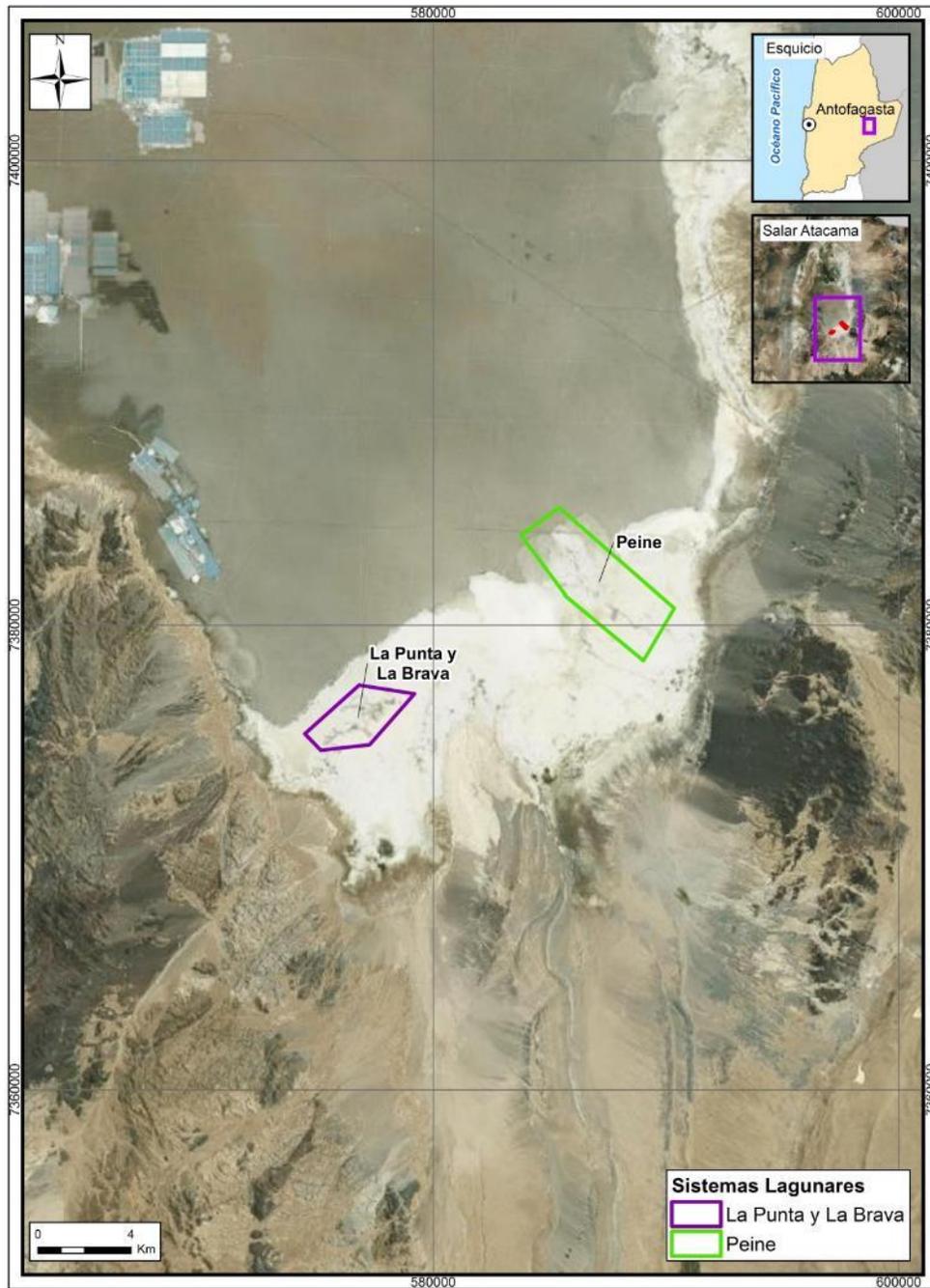
El área de estudio se sitúa en el Salar de Atacama, en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa, extremo oriente de la II Región de Antofagasta y se encuentra a una altura geográfica aproximada de 2.300 m.s.n.m

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

- i) *La Punta y La Brava*; se ubica en el sector sur del salar y abarca una superficie de 726,0 ha (29,1%).
- ii) *Lagunas de Peine*, ubicado al sur del salar, comprende las lagunas Salada, Interna y Saladita. Este sistema cubre un total 1.769,1 ha (70,9%).

Los dos sistemas lagunares se ubican específicamente en la interfase salina al sur de la cuenca endorreica del Salar de Atacama. Esta zona, supone una separación hidráulica subterránea, de tal manera que el flujo procedente de los acuíferos y, por tanto, desde las subcuencas aportantes, se ve forzado a ascender, alcanzando la superficie donde se forman estos sistemas lagunares permanentes. Una vez en superficie, las aguas que alimentan estos sistemas lagunares, comienzan a sufrir procesos de evaporación, presentando la máxima tasa de evaporación en la franja que rodea al núcleo salino por los márgenes N y E, coincidiendo con la presencia de una cuña salina (Cornellà, O. et al, 2009). A medida que estas aguas avanzan sub-superficialmente hacia el núcleo del Salar, se enriquecen progresivamente en sales disueltas. En el resto de la zona marginal, en torno al núcleo del salar, las aguas del acuífero se sitúan muy próximas a la superficie del terreno, sin llegar a aflorar, y sufren una evaporación muy intensa, con una oscilación estacional, la cual provoca que los niveles asciendan en los meses de invierno, y desciendan en verano, cuando se favorecen flujos de evaporación mayores (Adenda 5 RWL, 2015).

Figura N°10-1. Ubicación sistemas lagunares que conforman el área de estudio para monitoreo y seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua por parte del Proyecto en el Salar de Atacama (PMB).



Fuente: Elaboración Propia en base al Plan de Manejo Biótico (RWL, 2015); y el estudio Determinación Espacio Temporal de la Vegetación Azonal y Cuerpos de Agua (Adenda 5 RWL, 2015).

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

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

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

Esta etapa del estudio conllevó el trabajo en terreno, el cual se realizó con la finalidad de coleccionar los datos que validan el modelo de clasificación supervisada usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.

El muestreo ejecutado, consistió en la validación del tipo de recubrimiento de suelo existente, como “*cuerpo de agua*” u “*otro recubrimiento*”, para cada punto de monitoreo y por sistema lagunar en estudio.

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

La colección de datos para este año se realizó en dos campañas, las que se llevaron a cabo entre el **28 y el 31 de agosto de 2019** (invierno de 2019), y entre el **18 y el 20 de diciembre de 2019** (verano de 2019). En forma paralela a cada campaña, se realizó la captura de las imágenes satelitales tanto de alta resolución (Pleiades-1A), como de Landsat 8. La metadata de las imágenes se presenta en el **Anexo Área de Lagunas**. Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron DJI modelo Mavic Pro con cámara de 12 mega pixeles en los sectores de La Punta y La Brava y Peine.

El diseño de muestreo implementado corresponde al tipo *aleatorio –estratificado y estratificado- dirigido* mediante transectos, en los dos sistemas lagunares, criterio que se aplica en base a las condiciones de seguridad por el limitado acceso y al conocimiento adquirido en campañas anteriores sobre estos sistemas.

El tamaño de la muestra se calculó a partir de la superficie mínima de cuerpos de agua registrada en la línea de base del Proyecto para el componente (Adenda 5 RWL, 2015) y los valores del índice NDWI de imágenes satelitales de alta resolución disponibles.

La **Tabla N°10-3** y **Tabla N°10-4** presenta el detalle del muestreo aplicado en cada sistema lagunar en estudio. Las diferencias en la ubicación y el número de puntos considerados para validación entre imágenes Pleiades-1A y Landsat 8, se debe a las diferencias de

resolución espacial entre ellas (2 m y 30 m, respectivamente), lo que se grafica en el **Anexo Área de Lagunas**.

Tabla N°10-3. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2019, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.

SISTEMA LAGUNAR	CLASIFICACIÓN POR RECUBRIMIENTO DE SUELO	PUNTOS DE VALIDACIÓN TERRENO	
		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	167	45
	Cuerpos de agua	138	52
	Total sistema lagunar	305	97
Peine	Otros recubrimientos	55	55
	Cuerpos de agua	136	127
	Total sistema lagunar	191	182
TOTAL GENERAL		496	279

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°10-4. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2019, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.

SISTEMA LAGUNAR	CLASIFICACIÓN POR RECUBRIMIENTO DE SUELO	PUNTOS DE VALIDACIÓN TERRENO	
		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	199	76
	Cuerpos de agua	106	21
	Total sistema lagunar	305	97
Peine	Otros recubrimientos	53	55
	Cuerpos de agua	138	127
	Total sistema lagunar	191	182
TOTAL GENERAL		496	279

Fuente: Elaboración Propia.

10.1.4 Materiales y equipos utilizados

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

Además, se utilizó en ambas campañas un dron DJI modelo Mavic Pro con cámara de 12 mega pixeles, con vuelo programado a 300 metros de altura en los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine.

10.1.5 Metodología de muestreo y/o medición

El muestreo en terreno se llevó a cabo mediante el **levantamiento de puntos de monitoreo con receptores Full GNSS/GPS**, que consistió en el marcaje del tipo de recubrimiento de suelo mediante tecnología Geo-Estacionaria de posicionamiento en tiempo real al decímetro (10 cm) con señal de corrección *Starfire*, que implica el marcaje del tipo de recubrimiento de suelo directamente en terreno para cada punto de medición, en coordenadas UTM 19S WGS84.

En las campañas de invierno y verano 2019, este muestreo se implementó en los puntos de réplicas estacionales de las campañas de invierno y verano de 2016, 2017 y 2018, en zonas representativas de lagunas permanentes y donde se determinaron las principales diferencias entre la medición de terreno y el modelo de clasificación supervisada, en períodos intra e interanuales, resguardando las condiciones de accesibilidad, seguridad y permisos respectivos en zonas de acceso restringido (**Anexo Área de Lagunas**).

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

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

10.1.6.1 Imágenes de alta resolución – Pleiades-1A

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

30 de agosto de 2019 y de verano es 20 de diciembre de 2019. La selección de este tipo de imágenes se debe a que sus características permiten contar con la resolución espacial adecuada para la cartografía detallada y de precisión (Pancromática, 50 cm; Multiespectral, 2 m), y permite mayor flexibilidad en cuanto a la periodicidad de captura, ya que su intervalo de revisita es de 24 h.

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

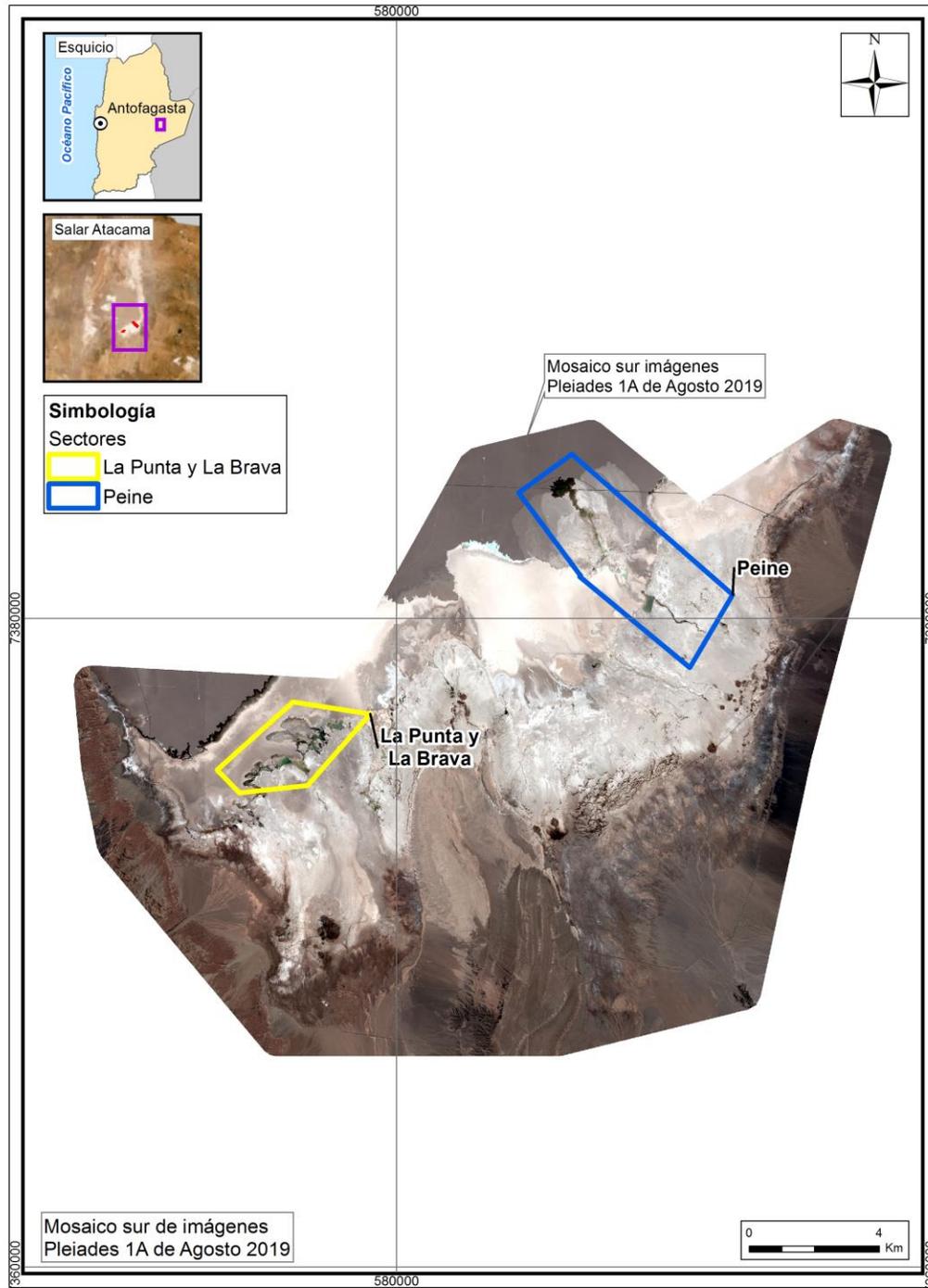
Tabla N°10-5. Características técnicas del sensor Pleiades-1A.

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

Fuente: Airbus Defense and Space.

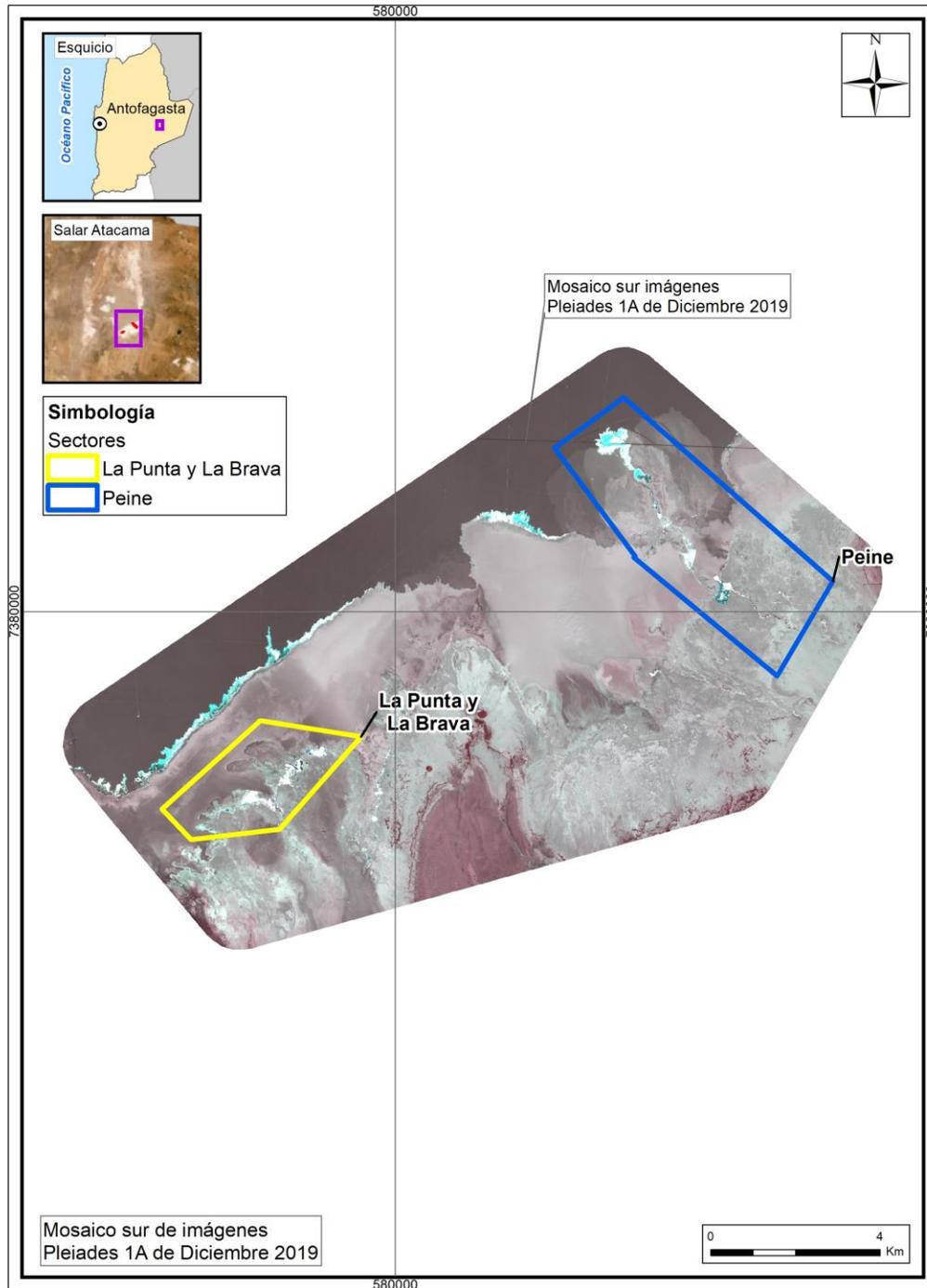
<http://www.cscrs.itu.edu.tr/assets/downloads/PleiadesUserGuide.pdf>. Visitada en agosto y diciembre 2019.

Figura N°10-2. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, invierno 2019.



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

Figura N°10-3. Mosaico de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano 2019.

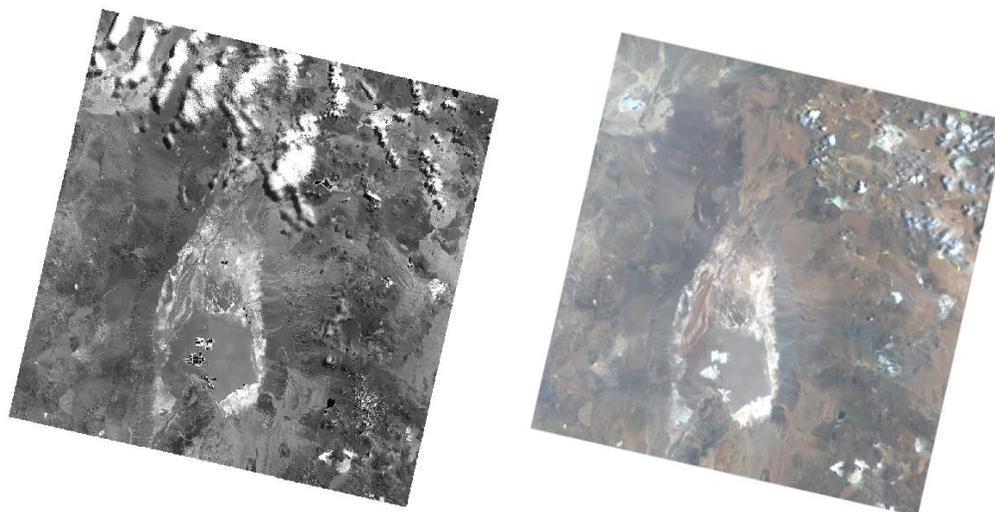


Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes alta resolución Pleiades-1A (verano 2019).

10.1.6.2 Imagen de resolución media – LANDSAT 8

Las imágenes usadas cubren por completo el área de estudio y las fechas de captura corresponden al 04 de septiembre y 25 de diciembre de 2019. La descarga se realiza en forma gratuita desde <http://earthexplorer.usgs.gov/>, sitio web de *United States Geological Survey* (USGS; **Figura N°10-4**). El sensor Landsat 8 dispone de 11 bandas espectrales, con una resolución (tamaño del pixel) de 30 x 30 m. De éstas, se utilizaron cinco bandas en el proceso de delimitación de los cuerpos de agua del área de estudio. Las características de las bandas espectrales del sensor LANDSAT 8 se describen en **Tabla N°10-6** y el **Anexo Área de Lagunas** presenta la *metadata* de la imagen descargada.

Figura N°10-4. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2019 (izquierda – banda 5) y verano 2019 (derecha - RGB).



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

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

Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
Band 1 Coastal	0,43 – 0,45	30
Band 2 Azul	0,45 – 0,51	30
Band 3 Verde	0,53 – 0,59	30
Band 4 Rojo	0,64 – 0,67	30
Band 5 NIR	0,85 – 0,88	30
Band 6 SWIR1	1,57 – 1,65	30
Band 7 SWIR2	2,11 – 2,29	30
Band 8 Pancromática	0,50 – 0,68	15
Band 9 Cirrus	1,36 – 1,38	30

Banda	Ancho (μm)	Resolución (m)
Band 10 TIRS1	10,6 – 11,19	100
Band 11 TIRS2	11,5 – 12,51	100

Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en agosto y diciembre 2019.

10.1.6.3 Procesamiento de las imágenes satelitales

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

Inicialmente, a cada imagen se le realizó una corrección radiométrica, la cual consiste en la conversión de los valores de pixeles desde números digitales (ND) a unidades de radiancia espectral absoluta ($W / (m^2 * sr * \mu\text{m})$)²⁴. Este proceso se utiliza como medio de calibración para disminuir la falta de uniformidad en los valores digitales debido a efectos producidos por errores sistemáticos en el sensor, tales como la contaminación de partículas en el plano focal de éste, las que pueden manifestarse en forma de manchas y bandas en las imágenes. Esta conversión proporciona una base para la comparación de datos en una sola escena o entre imágenes adquiridas en fechas diferentes o por diferentes sensores (Chander *et al.*, 2009).

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

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

²⁴ Dónde: W: Watts; m²: metro cuadrado; sr: estereorradián; μm : micrómetro.

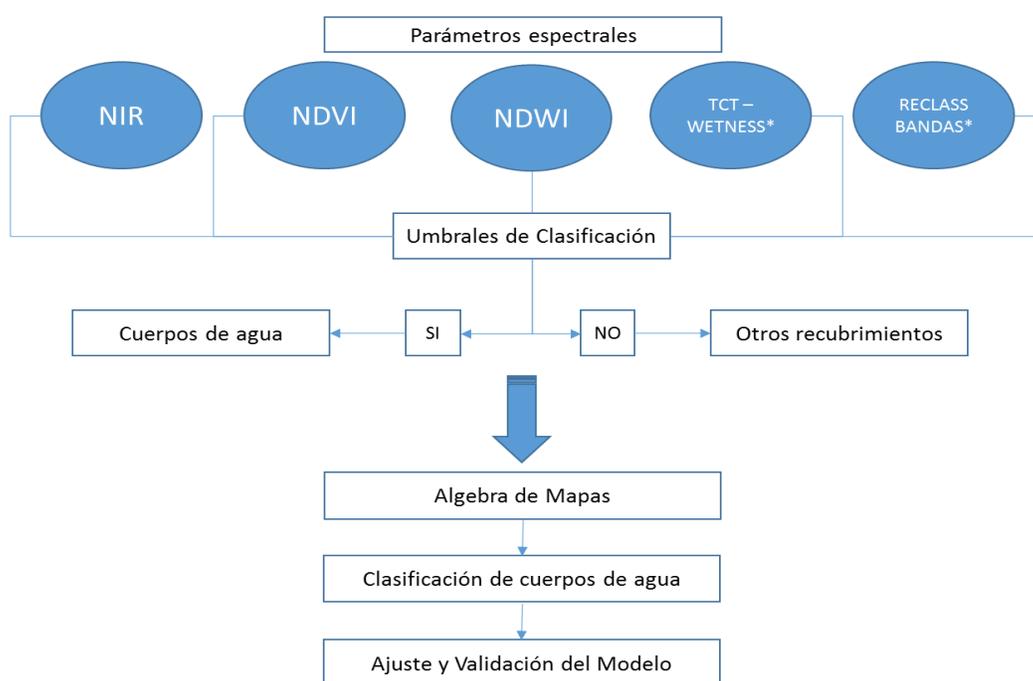
en el proceso de remoción del error atmosférico proporcionado por el modelo de *Airbus* (Chuvienco, 2006). Esta diferencia metodológica, puede variar la respuesta espectral de los parámetros espectrales utilizados (*i.e.* NDVI, NDWI; Lamolda, 2008), conduciendo a la mejor detección de cuerpos de agua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

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

10.1.6.4 Descripción del Modelo de Clasificación Supervisada de cuerpos de agua

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

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



* La transformación “Tasseled Cap” Wetness se pudo utilizar sólo en el caso de Landsat 8, dado el mayor número de bandas que ofrece este sensor. En su reemplazo, para las imágenes de alta resolución Pleiades 1A se utilizó la Reclasificación de bandas (RECLASS BANDAS).

Fuente: Elaboración Propia en base a metodología “Modificada del Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (MNDWI) en Adenda 5 RWL (2015).

La clasificación supervisada de imágenes satelitales se empleó para la identificación y delimitación de los cuerpos de agua. El método se inicia con el establecimiento, mediante criterio de experto, de los umbrales de clasificación para cada uno de los parámetros espectrales de evaluación que tienen una respuesta determinada ante la presencia de un cuerpo de agua. Posteriormente, en un modelo de árbol de decisiones, se estiman los cuerpos de agua, utilizando la combinación de los criterios definidos en el paso anterior y se evalúa el ajuste y la precisión del modelo mediante la comparación con los datos validados en terreno (**Figura N°10-5**).

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

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

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

10.1.6.5 Parámetros espectrales del modelo de clasificación

a. Índice de Diferencia Normalizada de Agua - NDWI

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

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

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

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

b. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación - NDVI

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

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

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

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

c. NIR - Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano

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

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

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

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

e. Transformación “Tasseled Cap”

La transformación “*Tasseled Cap*” (**TCT**) fue desarrollada para optimizar la visualización de la vegetación en imágenes multiespectrales (Hernández, 2005). Esta transformación

produce tres nuevas bandas a partir de las originales de la imagen: Brillo (Brightness), Verdor (Greenness) y Humedad (Wetness).

El índice de humedad es un contraste entre la reflectancia en el infrarrojo de onda corta (SWIR) y el visible/infrarrojo cercano (VNIR), proporcionando una medida del contenido de humedad del suelo. En estas bandas, el agua absorbe la radiación (con coeficientes de ponderación negativos) respecto al resto de las bandas menos afectadas por la humedad (coeficiente bajo y positivo) (Crist & Cicone, 1984; Crist, *et al.*, 1986).

Este parámetro se utilizó sólo en el caso de Landsat 8 y para su cálculo se utilizaron coeficientes que derivan estadísticamente a partir de estas imágenes y de observaciones empíricas que son específicos para cada sensor (Crist, *et al.* 1986).

10.1.6.6 Umbrales y validación del modelo de clasificación

Durante el proceso de clasificación supervisada, se establecieron umbrales de clasificación de cada parámetro del modelo, los cuales representaron el valor límite de clasificación como cuerpo de agua u otro recubrimiento. Estos umbrales fueron definidos para cada sector, según el parámetro, y para cada tipo de imagen satelital.

La definición de cada umbral se realizó mediante inspección visual, controlada por el conocimiento de las características de los objetos a catalogar, su respuesta espectral y los umbrales determinados en campañas anteriores. Complementariamente, el proceso estuvo guiado por los datos de validación obtenidos en terreno en las campañas de agosto y diciembre de 2019. Los umbrales obtenidos se presentan en la **Tabla N°10-7**. Cabe destacar que las variaciones de estos valores respecto a la línea de base son atribuibles al cambio del tipo de imágenes satelitales usadas, a las variaciones atmosféricas, las diferencias en el procesamiento de estas y a cambios en los valores del conjunto de datos de cada imagen, correspondientes a los ajustes metodológicos detallados en el **Anexo Área de Lagunas**.

Tabla N°10-7. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades 1A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2019.

TIPO DE IMAGEN	ÍNDICE	SISTEMA LAGUNAR	
		LA PUNTA - LA BRAVA	PEINE
Agosto 2019			
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	R10/32 >= -0,047038	NB8/20 >= -0,038516
	NDVI	R20/32 <= 0,071457	P5 <= 0,11745
	NIR - B4	P5 <= 0,18256	P5 <= 0,342589
	(B1<B2) Y (B3> B4)	NO	NO
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	P90 >= -0,163807	R2/20 >= -0,168484
	NDVI	P5 <= -0,087276	P10 <= 0,046528
	NIR - B5	R7/15 <= 0,269457	P15 <= 0,359173
	WETNESS	R8/15 >= 0,007811	R9/20 >= -0,000286
Diciembre 2019			
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	NB 7/15 >= -0,053766	P80 >= -0,077765
	NDVI	NB 8/15 <= 0,014522	P10 <= 0,026083
	NIR - B4	NB 12/15 <= 0,604406	NB 3/9 <= 0,3439
	(B1<B2) Y (B3> B4)	NO	NO
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	R 6/32 >= -0,127797	R 5/20 >= -0,112074
	NDVI	P5 <= 0,030845	P5 <= 0,067208
	NIR - B5	R 9/15 <= 0,383458	P25 <= 0,45598
	WETNESS	NO	R 11/20 >= 0,230106

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

Debido a la complejidad de las áreas de estudio, fue preciso considerar diferentes intervalos en las distribuciones de las variables. Para ello, se utilizaron los métodos de clasificación de datos por percentiles, intervalos equivalentes y quiebres naturales; esto con el objeto de encontrar el mejor ajuste en el modelo de clasificación. Este proceso se realizó en el software ArcGIS 10.0.

Una vez fijado cada umbral de clasificación, se extrajo el conjunto de píxeles espectralmente similares que formaron grupos o clases, a las que luego se les asignó el tipo de recubrimiento de suelo que representaban (cuerpos de agua u otros recubrimientos).

El cálculo final del modelo por sector se realizó mediante la unión de los parámetros reclasificados según el umbral definido y se determinó la cobertura de agua cuando al menos tres de los cuatro parámetros coincidían en clasificar el píxel como “cuerpo de agua”, de lo contrario quedó asignado como “otro recubrimiento”; esto para ambos tipos de imágenes. El criterio de decisión en la cantidad de parámetros usados para asignar la categoría se relaciona con la complejidad del patrón espacial de cada sistema lagunar y de su variabilidad estacional (Ortiz, C. *et al*, 2014; DGA, 2014; Cornellà, O. *et al*, 2009).

Seguidamente, se procede con la validación del modelo de clasificación la cual se realizó a través de una matriz de confusión, que permite evaluar la exactitud del modelo. Fundamentalmente consiste en estimar el número de puntos correctamente cartografiados dentro de un conjunto de datos. En este caso, la matriz se construyó con la información del tipo de recubrimiento establecido en los puntos de validación de terreno y fueron comparados con los resultados del modelo. En esta matriz, la diagonal principal indica que las muestras fueron coincidentes o correctamente interpretadas (ITC, 1999 en Flores, 2002).

El interés del uso de esta tabla de confusión proviene de su capacidad para plasmar conflictos entre categorías. De esta forma no solo se conoce la fiabilidad global de la clasificación, sino también la exactitud conseguida para cada una de las clases, así como los principales conflictos entre ellas (Chuvieco, 2006).

A partir de la matriz de confusión se realiza el cálculo del índice *Kappa*, el cual es una medida ajuste en términos de la exactitud del modelo de clasificación. Este mide la diferencia entre los datos de validación en terreno y la clasificación según el modelo, e intenta delimitar el grado de ajuste de los datos, prescindiendo de los factores aleatorios (Congalton, 1991). El coeficiente *Kappa* fue calculado de la siguiente manera:

$$\kappa = \frac{[(\Sigma \text{ concordancias observadas}) - (\Sigma \text{ concordancias atribuibles al azar})]}{[(\text{total de observaciones}) - (\Sigma \text{ concordancias atribuibles al azar})]}$$

El índice *Kappa* tiene un rango entre 0 y 1 el cual representa proporcionalmente la exactitud en el ajuste del modelo. Valores de *K* cercanos a 1 revelan una muy buena concordancia entre la realidad observada y la cobertura obtenida. Contrariamente, valores próximos a 0 sugieren que la concordancia observada es sólo debido al azar. Según Landis y Koch (1977), valores $K > 0,4$ indican un modelo de clasificación aceptable en término de exactitud, mayores a 0,6 sugieren un modelo considerable y $K > 0,8$ casi perfecto en la clasificación del recubrimiento de suelo obtenida.

Con los datos tomados en terreno y la clasificación realizada por sistema lagunar, se procedió a evaluar su ajuste mediante la utilización de la Matriz de Confusión y el Índice de *Kappa*, con la finalidad de determinar el nivel de ajuste obtenido.

Complementario a lo anterior, a partir de la matriz de confusión también se obtuvo el índice de precisión global (*overall accuracy* u OA) que define la cantidad de puntos correctamente clasificados midiendo así la calidad de una clasificación expresada en porcentaje (0 a 100%), en que si todos los puntos de la imagen son clasificados al grupo que le corresponde según la información se terreno, vale decir, un 100% de coincidencias, se puede hablar de una clasificación perfecta (Li, Y., 2014).

10.1.6.7 Depuración cartográfica de cuerpos de agua

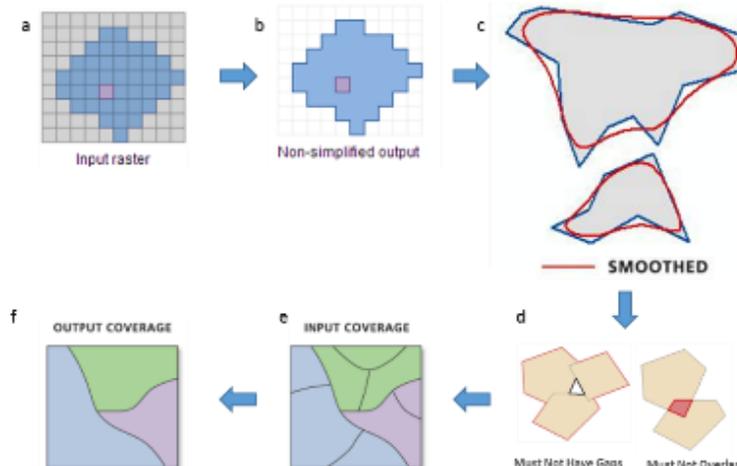
Posterior a obtener las coberturas de clasificación de los cuerpos de agua según el tipo de imagen satelital usada (Pleiades-1A y Landsat 8) y por sistema lagunar, se procedió con la depuración de las coberturas. Este proceso consistió primero en la transformación de los datos desde formato raster a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

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

- i) Remoción de polígonos clasificados como cuerpos de agua con tamaño inferior al equivalente de un pixel (0,0004 ha en Pleiades-1A y 0,09 ha en Landsat 8) y que estuvieran aislados a los cuerpos de agua de mayor tamaño dentro del sector de estudio y,
- ii) Revisión y ajuste de las coberturas mediante fotointerpretación en cuerpos de agua permanentes, siguiendo el patrón espacial de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015) y de los monitoreos de invierno y verano de 2019, sobre las imágenes de alta resolución y Landsat 8.

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

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



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

Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes ESRI.

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

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

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

- *Comparación con registros históricos de línea de base:* se realizó entre el resultado de las superficies de lagunas registradas en los monitoreos de agosto y diciembre 2019, y las variaciones en relación al mínimo histórico de la línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).
- *Comparación entre imágenes satelitales:* se realizó una comparación entre las superficies determinadas en el monitoreo 2019 desde las imágenes de alta resolución Pleiades-1A y Landsat 8.
- *Comparación entre monitoreos anuales:* se realizó una comparación entre los resultados de las superficies lagunares en el monitoreo 2019, con respecto a los resultados de los monitoreos 2016, 2017 y 2018.

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

10.1.8 Fechas de medición

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

Respecto a la campaña de verano, ésta se realizó entre el 18 y el 20 de diciembre de 2019, y las imágenes Pleiades 1A, se obtuvieron el 20 de diciembre de 2019 y las imágenes Landsat 8, fueron capturadas el 25 de diciembre de 2019. Las fechas y datos de las imágenes utilizadas en el análisis se presentan en el **Anexo Área de Lagunas**.

10.2 RESULTADOS

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

La clasificación supervisada de cuerpos de agua, basada en datos de terreno, se llevó a cabo para imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares Peine y La Punta y La Brava, para el periodo de agosto y diciembre de 2019.

La validación del ajuste de las coberturas determinadas, en relación a los datos de terreno recabados y fotointerpretados, se realizó mediante el índice *Kappa*. Este índice tuvo una variación entre 0,83 y 0,66 para imágenes de alta resolución Pleiades-1A y desde 0,79 y 0,54 para imágenes de resolución media Landsat 8 en agosto de 2019. En síntesis, estos valores dan cuenta de un ajuste aceptable a considerable para el sector de La Punta y La Brava, en alta y mediana resolución, respectivamente. Para el sector Peine los valores de *kappa* fluctúan entre considerable y casi perfecto, en resolución media y alta resolución, respectivamente (Tabla N°10-8, Tabla N°10-9, Tabla N°10-10 y Tabla N°10-11).

Tabla N°10-8. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Agosto, 2019.

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

Dónde: * número de puntos verificados en terreno en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud global del mapa: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; ***El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; ****El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°10-9. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice Kappa por sistema lagunar. Agosto, 2019.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	31	21	52	59,6	40,4	
	Otros Recubrimientos	2	43	45	95,6	4,4	
	Total	33	64	97	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	93,9	67,2	-	-	-	
	***Error omisión (%)	6,1	32,8	-	-	Índice Kappa:	0,54
						Precisión global (OA):	0,76
Peine	Cuerpos de agua	111	16	127	87,4	12,6	
	Otros Recubrimientos	1	54	55	98,2	1,8	
	Total	112	70	182	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	99,1	22,9	-	-	-	
	**Error omisión (%)	0,9	77,1	-	-	Índice Kappa:	0,79
						Precisión global (OA):	0,91

Dónde: * número de puntos verificados en terreno en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud global del mapa: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; ***El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; ****El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°10-10. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice Kappa por sistema lagunar. Diciembre, 2019.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	95*	11	106	89,6	10,4	
	Otros Recubrimientos	18	181*	199	91,0	9,0	
	Total	113	192	305	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	84,1	94,3	-	-	-	
	***Error omisión (%)	15,9	5,7	-	-	Índice Kappa:	0,79
						Precisión global (OA):	0,90
Peine	Cuerpos de agua	135*	3	138	97,8	2,2	
	Otros Recubrimientos	4	49*	53	92,5	7,5	
	Total	139	52	191	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	97,1	94,2	-	-	-	
	**Error omisión (%)	2,9	5,8	-	-	Índice Kappa:	0,91
						Precisión global (OA):	0,96

Dónde: * número de puntos verificados en terreno en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud global del mapa: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; ***El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; ****El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°10-11. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice Kappa por sistema lagunar. Diciembre, 2019.

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	Número de Puntos de validación de terreno			Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	15	6	21	71,4	28,6	
	Otros Recubrimientos	8	68	76	89,5	10,5	
	Total	23	74	97	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	65,2	91,9	-	-	-	
	***Error omisión (%)	34,8	8,1	-	-	Índice Kappa:	0,59
						Precisión global (OA):	0,86
Peine	Cuerpos de agua	116	11	127	91,3	8,7	
	Otros Recubrimientos	8	47	55	85,5	14,5	
	Total	124	58	182	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	93,5	19,0	-	-	-	
	***Error omisión (%)	6,5	81,0	-	-	Índice Kappa:	0,76
						Precisión global (OA):	0,90

Dónde: * número de puntos verificados en terreno en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud global del mapa: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; ***El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; ****El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Fuente: Elaboración Propia.

Las imágenes de resolución media (Landsat 8), para los meses de agosto y diciembre de 2019, presentan un nivel de kappa considerable ($k > 0,6$) en el sector de La Punta y La Brava, lo que establece un mejor ajuste por sobre las imágenes de alta resolución, para el mismo sector en igual periodo. Lo mismo se observa para el sector Peine, en que el ajuste en agosto y diciembre de 2019 en imágenes de mediana resolución muestra un ajuste casi perfecto ($k > 0,8$), sobre el ajuste de las imágenes de alta resolución con valores de kappa considerable ($k > 0,6$).

El mayor ajuste se produjo en diciembre 2019 en el sector Peine con 0,91, y el menor ajuste en el sector La Punta y la Brava en agosto 2019 con 0,54. No se verifica una relación directa entre la estacionalidad y la variación de los ajustes; pero si existe una relación entre la estacionalidad y la morfología de las lagunas, que converge en los ajustes propuestos; en aquellos casos en que los cuerpos de agua se encuentran más confinados o delimitados, el modelo logra áreas más precisas con lo observado en terreno, no así en el caso de cuerpos de aguas de márgenes móviles donde el modelo puede verse afectado por la variación estacional intranual (aguas someras o transitorias que modifican la reflectancia de zonas borde) que en ocasiones no se relaciona con lo observado en terreno, caso visible en el sector de La Punta y La Brava.

La precisión global más alta (96%) se produjo en el sector Peine, con imágenes de alta resolución en agosto de 2019; la precisión global más baja en el sector La Punta y La Brava (76%) con imágenes Landsat 8 en agosto 2019.

10.2.2 Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar

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

Tabla N° 10-12. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2019 (invierno y verano).

Sistema Lagunar	Superficies desde alta resolución (Pleiades 1A)			
	Invierno 2019		Verano 2019	
	ha	m ²	ha	m ²
La Punta y La Brava	52,8	528.462,2	62,7	627.220,4
Peine	86,7	866.637,3	101,7	1.016.803,5

Fuente: Elaboración Propia

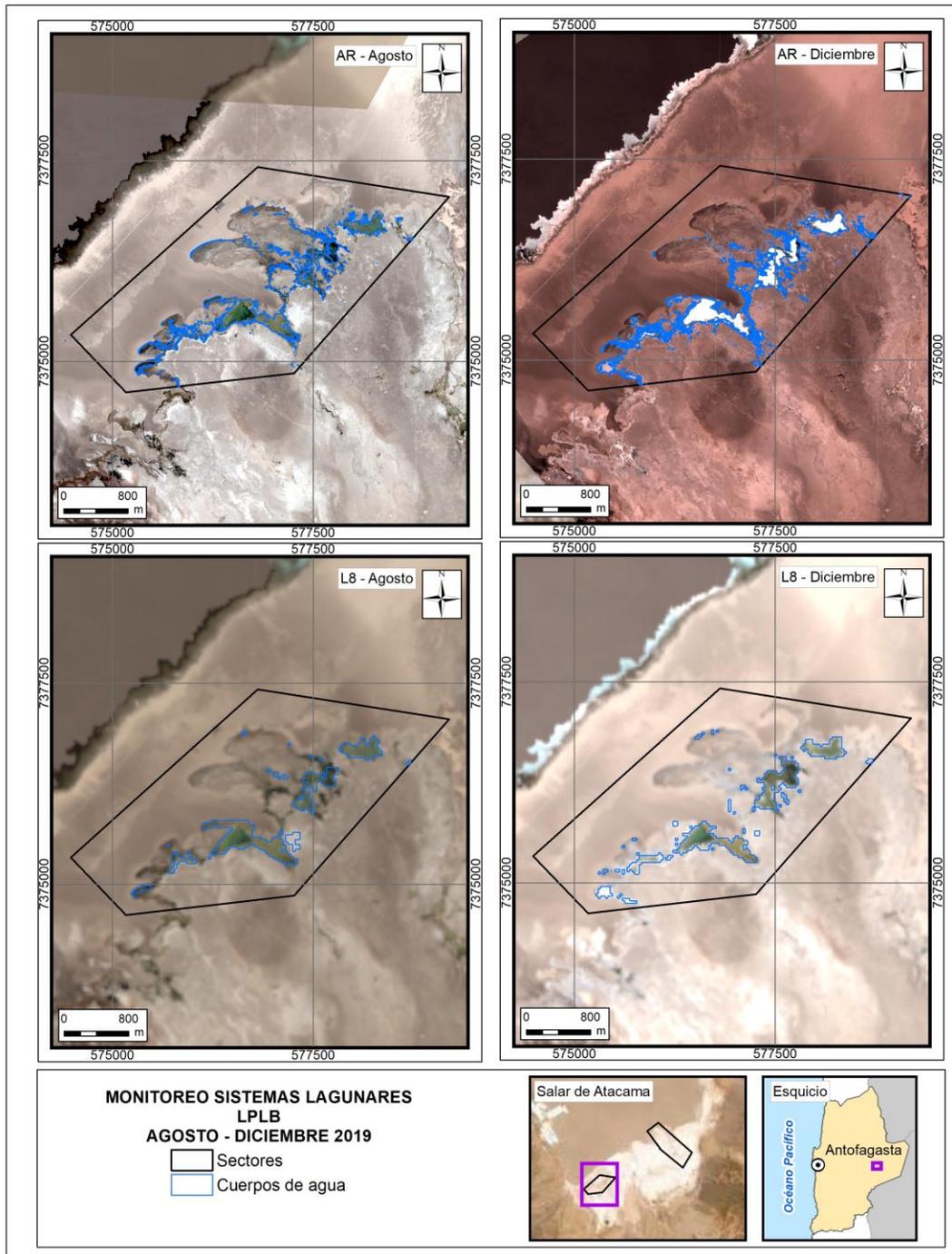
Tabla N° 10-13. Resultados de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2019 (invierno y verano).

Sistema Lagunar	Superficies desde media resolución (Landsat 8)			
	Invierno 2019		Verano 2019	
	ha	m ²	ha	m ²
La Punta y La Brava	53,8	537.733,1	57,7	576.515,4
Peine	85,1	851.020,7	107,8	1.078.117,4

Fuente: Elaboración Propia

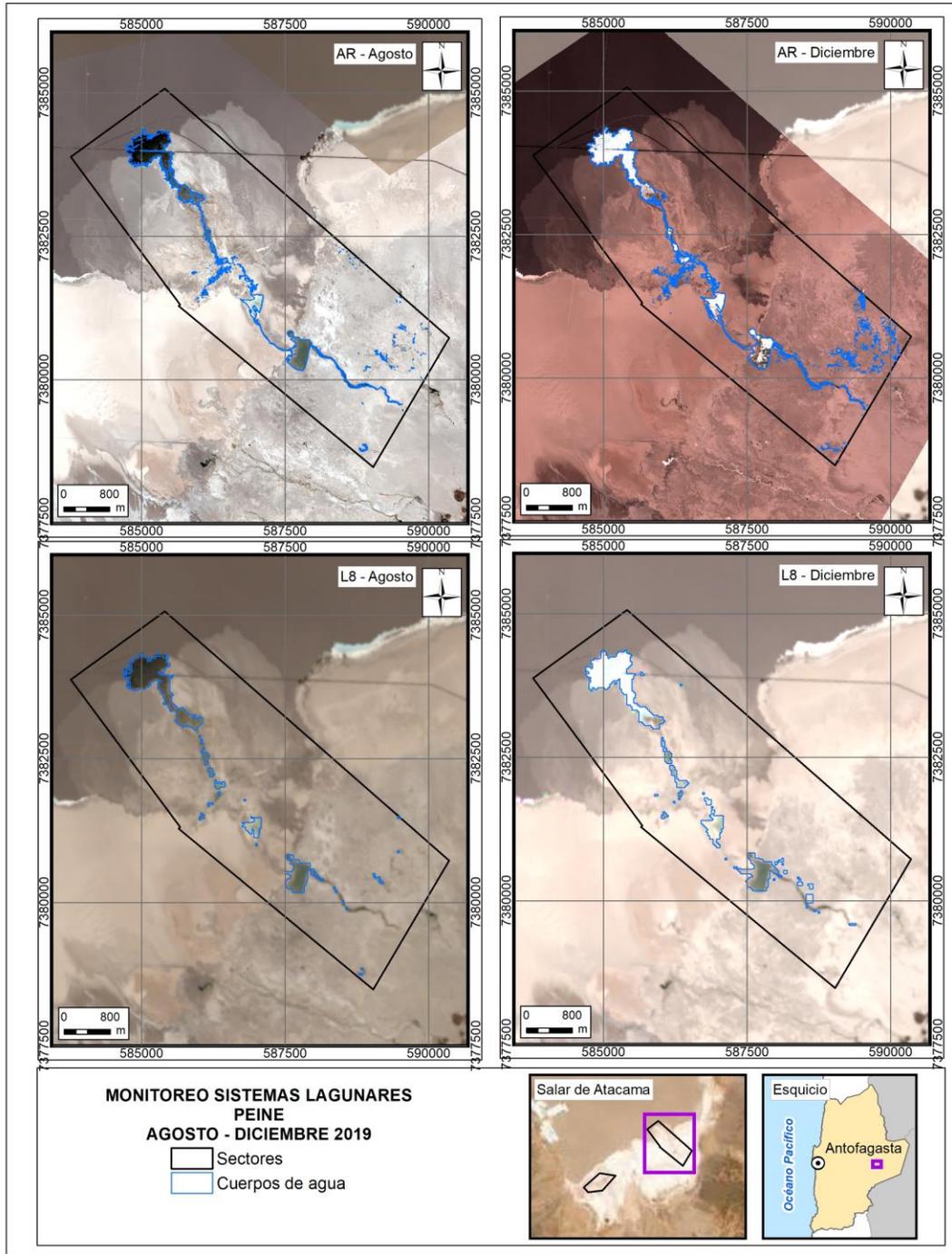
Complementariamente, la **Figura N° 10-7** y **Figura N° 10-8** muestran la representación gráfica de las superficies lagunares por sistema lagunar.

Figura N° 10-7. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades-1A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta y La Brava, agosto – diciembre 2019.



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

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



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

10.2.3 Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua

De acuerdo con lo expresado en la sección 10.1.2. *Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua*, y según el análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar, presentado en este reporte (sección 10.2.2), se obtuvo que las superficies de los cuerpos de agua se encuentran dentro de los límites de seguimiento establecidos, considerando el criterio indicado en la RCA N°21/2016, donde se señala que “*durante la fase de operación y cierre del proyecto la superficie cubierta por lagunas debe mantener sus límites sobre el mínimo histórico*”, lo que se puede observar en los registros históricos presentados y en los resultados del monitoreo de periodo 2016 -2019.

11 NIVEL FREÁTICO EN LAGUNAS

Este capítulo tiene como objetivo presentar el reporte de los monitoreos comprometidos en el Plan de Manejo Biótico (PMB), correspondientes a 5 puntos de medición de niveles freáticos distribuidos en los Sistemas Lagunares: (3) La Punta - La Brava; y (2) Peine, con una frecuencia mensual de medición, durante el **período de abril 2019 a marzo de 2020**.

Esta medición de niveles quedó comprometida dentro de la evaluación ambiental del proyecto, en su Anexo 2 de la Adenda 5 (Cap. 4.2.7), como una de las 3 variables de estado, definida a partir del Modelo Ecológico Funcional del Sistema, y que permitirá ir observando en el tiempo el estado ecológico de los sistemas hídricos.

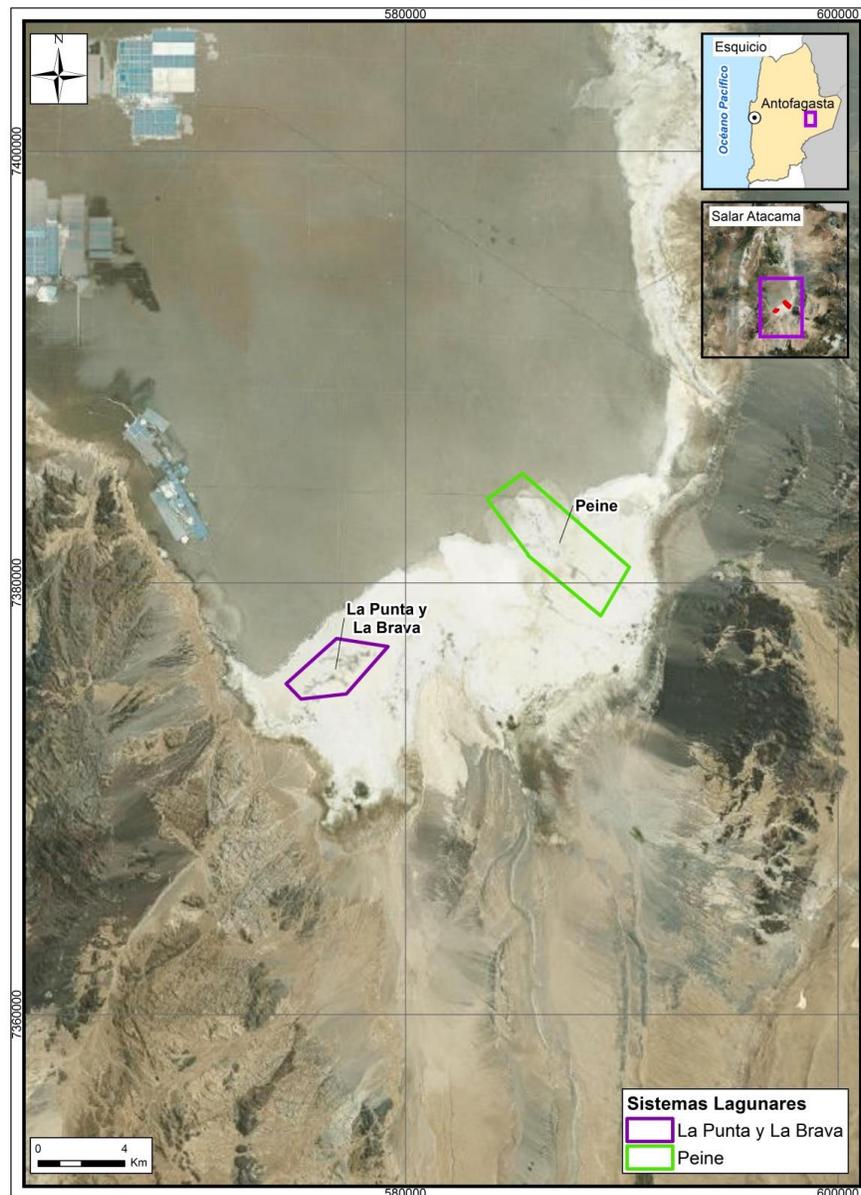
El objetivo de este capítulo, es presentar el monitoreo comprometido para la medición de niveles piezométricos se realizan en 5 puntos de niveles freáticos de Lagunas: 3 puntos en La Punta-La Brava (BA-05, BA-07 y BA-16), y 2 en Peine (BA-21 y BA-22). Estos puntos de medición presentan códigos del tipo “BA-XX”, y corresponden a piezómetros someros, denominados “Barrenos”, origen de su tipo de codificación. No corresponde a la altura limnimétrica de aguas, sino que al nivel freático de las aguas subterráneas en donde se ubican las lagunas.

11.1 MATERIALES Y MÉTODOS

11.1.1 Área de Estudio

En la **Figura N° 11-1**, se aprecia la zona de operación de Albemarle y los sectores identificados para el monitoreo de los niveles en los Sistemas Lagunares. Son los que destacan en los polígonos del Sistema Lagunar La Punta-La Brava y Sistema Lagunar Peine, sistemas en los cuales se compromete la medición de los niveles en pozos someros para el PMB.

Figura N° 11-1. Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia

11.1.2 Ubicación de Puntos de Monitoreo.

En la **Tabla N° 11-1** se presentan los puntos de medición para el seguimiento de niveles de las lagunas de los dos sistemas monitoreados. La información que se especifica en esta tabla dice relación con la identificación de los puntos de monitoreo, sus coordenadas UTM en sistema WGS 84 y el Sistema Lagunar al que pertenecen. En el **Anexo Nivel Freático en Lagunas**, se entregan profundidades, cota collar y niveles correspondientes a las mediciones tanto del periodo abril 2019-marzo 2020 como históricas para estos piezómetros.

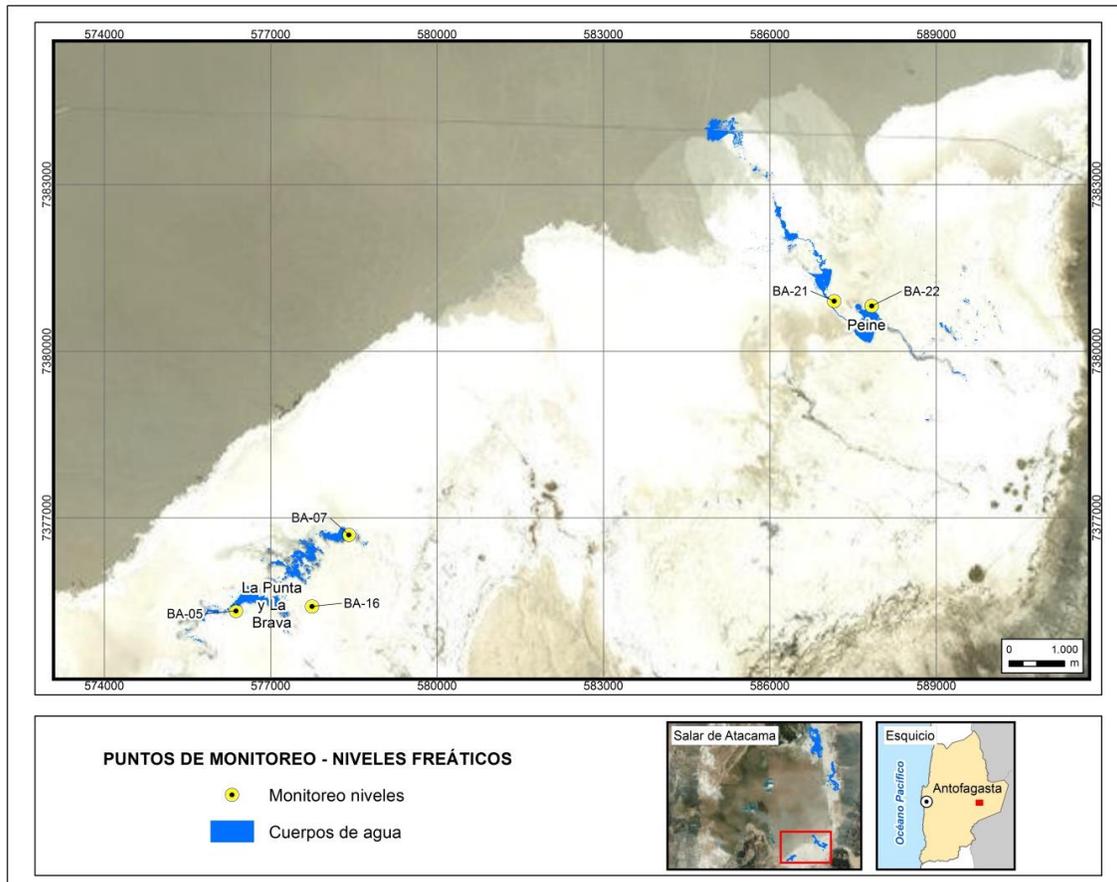
Tabla N° 11-1. Identificación y Coordenadas de Puntos de Medición de Niveles en Lagunas que conllevan medición; y variables medidas

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

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

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

En la **Figura N° 11-2**, se presenta la ubicación de los puntos antes mencionados en los Sistemas Lagunares.

Figura N° 11-2. Puntos de Monitoreo en Sistema La Punta-La Brava y Peine

Fuente: Elaboración propia.

11.1.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables

De acuerdo con las variables que deben ser medidas y que han sido identificadas en función de los compromisos del seguimiento ambiental biótico, para el caso de registrar y caracterizar los “**niveles freáticos**”, se mide la variable “profundidad” del agua subterránea, en metros, en la zona de las lagunas.

11.1.4 Metodología de Muestreo, Medición y Análisis.

En cada punto de monitoreo, se mide la profundidad del agua manualmente, utilizando un pozómetro. La medición se realiza desde un punto de referencia prefijado para cada piezómetro somero/barreno, que corresponde al collar del brocal del mismo (cota de referencia o cota collar). La profundidad del nivel del agua se mide tres veces, registrando solamente la tercera de ellas en la libreta de terreno luego de verificar que entre cada medida no exista una diferencia mayor a 1 cm.

La obtención de la cota del nivel de agua en cada piezómetro, se obtiene restando la profundidad medida a la cota de referencia del punto.

$$\text{Cota Nivel de agua (m s.n.m.)} = \text{Cota Collar (m s.n.m.)} - \text{profundidad (m)}$$

11.1.5 Materiales y Equipos utilizados

Para llevar a cabo las mediciones se utilizan los materiales y/o equipos indicados en la **Tabla N° 11-2.**

Tabla N° 11-2. Materiales y Equipos

Variable	Etapa		
	Medición	Muestreo	Análisis
Nivel freático en zona de Lagunas	Pozómetro marca Solinst Modelo 101 y/o marca Geotech.	No aplica	No aplica

Fuente: Elaboración Propia

11.1.6 Fechas de medición, muestro y/o análisis.

El período informado en este documento se indica en la **Tabla N° 11-3** y corresponde al de los registros medidos en las campañas de monitoreo de los pozos de medición de Albemarle, las cuales se realizan con una frecuencia mensual. Cabe señalar que si bien el compromiso ambiental es de mediciones a nivel mensual, dada la activación del PAT y una posterior decisión interna de Albemarle, se presentan algunos meses con 2 y 3 mediciones de nivel.

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

Variable/parámetro	Frecuencia	Meses
Nivel de Agua/Profundidad	Mensual	Abril 2019 Mayo 2019 Junio 2019 Julio 2019 Agosto 2019 Septiembre 2019 Octubre 2019 Noviembre 2019 Diciembre 2019 Enero 2020 Febrero 2020 Marzo 2020

Fuente: Elaboración Propia

11.2 RESULTADOS

11.2.1 Resultados de los registros abril 2019 a marzo 2020.

A continuación se presentan los resultados de medición de los niveles en los puntos señalados, para el período informado abril 2019 – marzo 2020 (**Tabla N° 11-4 y Tabla N° 11-5**). En el **Anexo Nivel Freático en Lagunas**, se entregan las series, históricas y actuales, de las profundidades medidas y de la cota de niveles para estos piezómetros.

Cabe mencionar que en las Tablas siguientes se incorporan mediciones de mayor frecuencia para los niveles de los pozos correspondientes al sector La Punta-La Brava (BA-05, BA-07 y BA-16) para todo el periodo en cuestión. Lo anterior dice relación con lo comprometido **para el Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH)**, específicamente lo estipulado en el Plan de Alerta Temprana Hídrico (PATH).

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

En enero del 2019 se notificó a Albemarle de una nueva activación del PAT Fase I para SQM (Ref. Resolución Exenta Afta N°001/2019, ver en Anexo Nivel Freático en Lagunas), de manera consecutiva para 2 de sus pozos en sector Alerta Norte, lo que conllevó a la activación del PATH de Albemarle en Sector Alerta Norte. Producto de esta activación, Albemarle aumentó la frecuencia de monitoreo correspondiente (a quincenal) en los meses de febrero, marzo y abril del 2019 (en los puntos del PSAH) y por ende los 5 puntos de monitoreo del PMB vieron aumentados sus datos de monitoreo. Los meses siguientes, Albemarle decidió realizar la medición de 3 niveles mensuales para prácticamente todos los meses (exceptuando noviembre) en los puntos BA-05, BA-07 y BA-16, pertenecientes al PMB y PATH; y en los pozos BA-21 y BA-22 (que no pertenecen al PATH), sólo presentan 2 mediciones de nivel hasta el mes de abril 2019, volviendo a su medición de frecuencia mensual para el resto del año.

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

Tabla N° 11-4. Resultados de Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-05	03-04-2019	0,946	2.300,139
BA-05	24-04-2019	0,933	2.300,152
BA-05	05-05-2019	0,921	2.300,164
BA-05	17-05-2019	0,915	2.300,170
BA-05	28-05-2019	0,908	2.300,177
BA-05	06-06-2019	0,900	2.300,185
BA-05	16-06-2019	0,894	2.300,191
BA-05	26-06-2019	0,888	2.300,197
BA-05	03-07-2019	0,885	2.300,200
BA-05	13-07-2019	0,886	2.300,199
BA-05	26-07-2019	0,886	2.300,199
BA-05	12-08-2019	0,884	2.300,201
BA-05	20-08-2019	0,889	2.300,196
BA-05	29-08-2019	0,891	2.300,194
BA-05	09-09-2019	0,891	2.300,194
BA-05	18-09-2019	0,906	2.300,179
BA-05	25-09-2019	0,919	2.300,166
BA-05	09-10-2019	0,926	2.300,159
BA-05	18-10-2019	0,927	2.300,158
BA-05	29-10-2019	0,932	2.300,153
BA-05	08-11-2019	0,934	2.300,151
BA-05	07-12-2019	0,946	2.300,139
BA-05	20-12-2019	0,945	2.300,140
BA-05	26-12-2019	0,947	2.300,138
BA-05	06-01-2020	0,953	2.300,132
BA-05	17-01-2020	0,949	2.300,136
BA-05	22-01-2020	0,939	2.300,146
BA-05	08-02-2020	0,939	2.300,146
BA-05	17-02-2020	0,941	2.300,144
BA-05	24-02-2020	0,941	2.300,144
BA-05	07-03-2020	0,939	2.300,146
BA-05	20-03-2020	0,919	2.300,166
BA-07	03-04-2019	0,850	2.300,031
BA-07	17-04-2019	0,830	2.300,051
BA-07	24-04-2019	0,828	2.300,053
BA-07	05-05-2019	0,823	2.300,058
BA-07	17-05-2019	0,813	2.300,068
BA-07	28-05-2019	0,806	2.300,075
BA-07	06-06-2019	0,795	2.300,086
BA-07	16-06-2019	0,788	2.300,093
BA-07	26-06-2019	0,783	2.300,098
BA-07	03-07-2019	0,783	2.300,098
BA-07	13-07-2019	0,784	2.300,097
BA-07	26-07-2019	0,786	2.300,095
BA-07	12-08-2019	0,790	2.300,091
BA-07	20-08-2019	0,789	2.300,092
BA-07	29-08-2019	0,797	2.300,084

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-07	09-09-2019	0,794	2.300,087
BA-07	18-09-2019	0,816	2.300,065
BA-07	25-09-2019	0,828	2.300,053
BA-07	09-10-2019	0,837	2.300,044
BA-07	18-10-2019	0,850	2.300,031
BA-07	29-10-2019	0,857	2.300,024
BA-07	08-11-2019	0,858	2.300,023
BA-07	19-11-2019	0,865	2.300,016
BA-07	07-12-2019	0,879	2.300,002
BA-07	20-12-2019	0,883	2.299,998
BA-07	26-12-2019	0,881	2.300,000
BA-07	06-01-2020	0,885	2.299,996
BA-07	17-01-2020	0,894	2.299,987
BA-07	30-01-2020	0,873	2.300,008
BA-07	08-02-2020	0,885	2.299,996
BA-07	17-02-2020	0,881	2.300,000
BA-07	24-02-2020	0,890	2.299,991
BA-07	07-03-2020	0,888	2.299,993
BA-07	20-03-2020	0,863	2.300,018
BA-16	03-04-2019	0,961	2.300,816
BA-16	17-04-2019	0,943	2.300,834
BA-16	24-04-2019	0,940	2.300,837
BA-16	05-05-2019	0,931	2.300,846
BA-16	17-05-2019	0,923	2.300,854
BA-16	28-05-2019	0,919	2.300,858
BA-16	06-06-2019	0,907	2.300,870
BA-16	16-06-2019	0,898	2.300,879
BA-16	26-06-2019	0,900	2.300,877
BA-16	03-07-2019	0,898	2.300,879
BA-16	13-07-2019	0,899	2.300,878
BA-16	26-07-2019	0,903	2.300,874
BA-16	12-08-2019	0,902	2.300,875
BA-16	20-08-2019	0,904	2.300,873
BA-16	29-08-2019	0,907	2.300,870
BA-16	09-09-2019	0,896	2.300,881
BA-16	18-09-2019	0,918	2.300,859
BA-16	25-09-2019	0,929	2.300,848
BA-16	09-10-2019	0,932	2.300,845
BA-16	18-10-2019	0,939	2.300,838
BA-16	29-10-2019	0,944	2.300,833
BA-16	08-11-2019	0,944	2.300,833
BA-16	07-12-2019	0,953	2.300,824
BA-16	20-12-2019	0,955	2.300,822
BA-16	26-12-2019	0,954	2.300,823
BA-16	06-01-2020	0,957	2.300,820
BA-16	17-01-2020	0,956	2.300,821
BA-16	30-01-2020	0,940	2.300,837
BA-16	08-02-2020	0,943	2.300,834
BA-16	17-02-2020	0,945	2.300,832
BA-16	24-02-2020	0,946	2.300,831
BA-16	07-03-2020	0,949	2.300,828

Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-16	20-03-2020	0,916	2.300,861

Fuente: Elaboración propia.

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

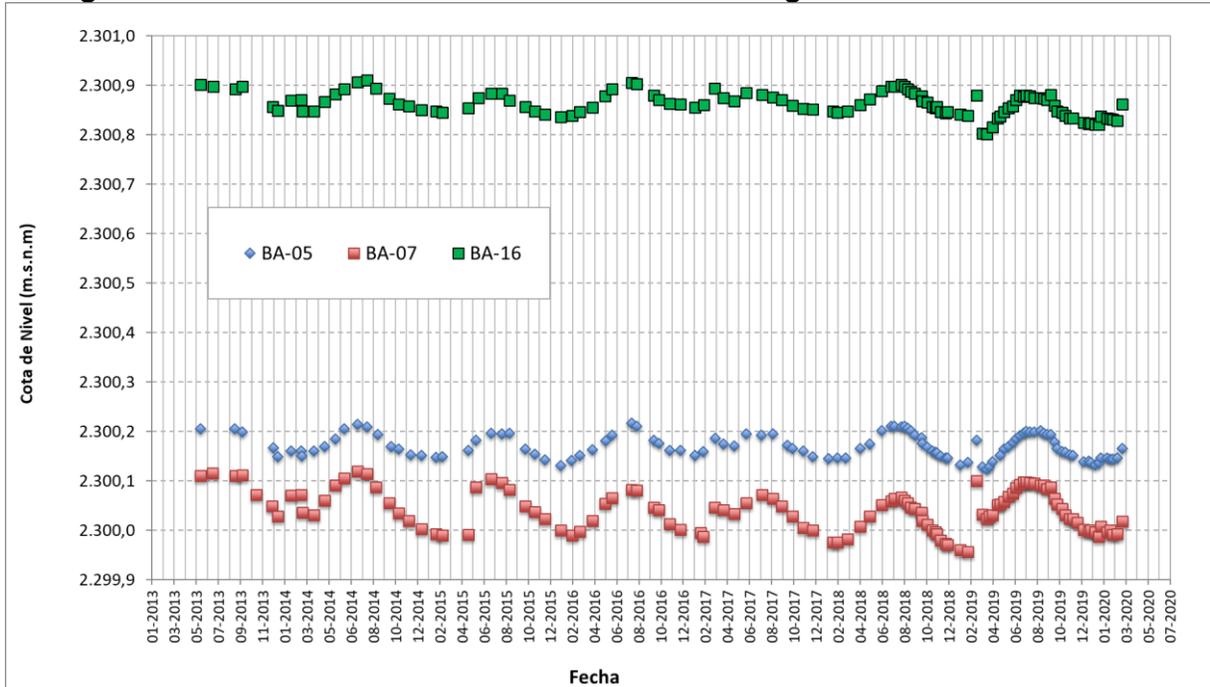
Nombre	Fecha	Profundidad del agua (m)	Cota Nivel (m s.n.m)
BA-21	04-04-2019	1,231	2.300,162
BA-21	16-04-2019	1,250	2.300,143
BA-21	01-05-2019	1,255	2.300,138
BA-21	04-06-2019	1,261	2.300,132
BA-21	04-07-2019	1,265	2.300,128
BA-21	07-08-2019	1,273	2.300,120
BA-21	14-09-2019	1,267	2.300,126
BA-21	05-10-2019	1,275	2.300,118
BA-21	03-11-2019	1,288	2.300,105
BA-21	02-12-2019	1,298	2.300,095
BA-21	04-01-2020	1,306	2.300,087
BA-21	14-02-2020	1,307	2.300,086
BA-21	03-03-2020	1,308	2.300,085
BA-22	04-04-2019	0,825	2.300,299
BA-22	16-04-2019	0,845	2.300,279
BA-22	01-05-2019	0,842	2.300,282
BA-22	04-06-2019	0,835	2.300,289
BA-22	04-07-2019	0,830	2.300,294
BA-22	07-08-2019	0,832	2.300,292
BA-22	04-09-2019	0,832	2.300,292
BA-22	04-10-2019	0,852	2.300,272
BA-22	03-11-2019	0,859	2.300,265
BA-22	02-12-2019	0,857	2.300,267
BA-22	03-01-2020	0,860	2.300,264
BA-22 (*)	14-02-2020	-	-
BA-22	03-03-2020	0,859	2.300,265

(*): En dicha fecha no hubo medición, dado que el acceso al punto de medición fue restringido por la comunidad.

Fuente: Elaboración propia.

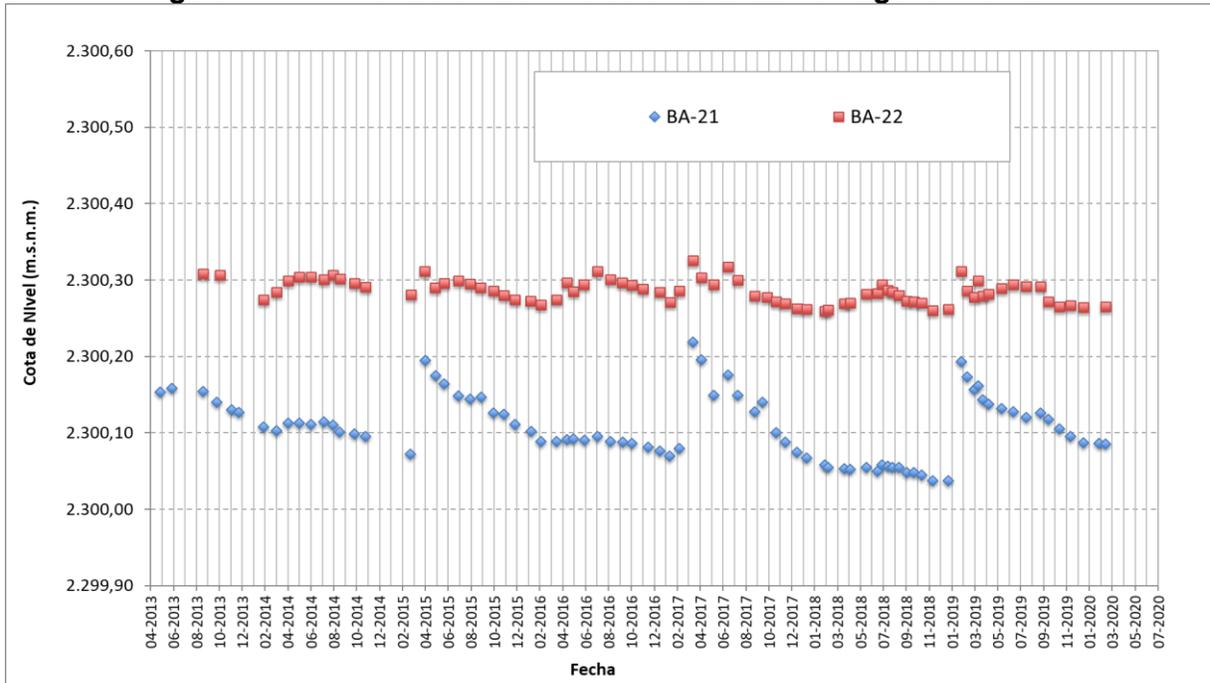
En las Figuras que se muestran a continuación se presenta gráficamente la variación temporal de niveles desde el año 2013 a la fecha, incluido el último año de monitoreo 2019-2020, para los pozos de cada Sector.

Figura N° 11-3. Variación de niveles en el Sistema Lagunar La Punta-La Brava



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 11-4. Variación de niveles en el Sistema Lagunar Peine



Fuente: Elaboración propia

11.2.2 Límites considerados en la evaluación

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

12 DISCUSIÓN

12.1 En relación con Flora y Vegetación

12.1.1 Análisis Vegetación (COT)

12.1.1.1 Comparación monitoreo invierno 2019 y verano 2020

Este acápite comparativo anual no pudo desarrollarse debido a que no fue posible realizar la campaña de monitreo verano 2020, dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19.

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

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

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

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

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

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

Tabla N° 12-1. Comparación de superficies por recubrimiento de suelo y formaciones vegetales en el monitoreo de invierno 2019, método COT, respecto a los monitoreos de invierno 2018, 2017 y 2016.

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2016	MONITOREO INVIERNO 2017	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO INVIERNO 2019	SUPERFICIE (ha)			
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019			
Tilopozo	Áreas desprovistas de vegetación	13.132,7	13.132,7	13.132,7	13.067,0			
				Cuerpos de agua				65,6
	Áreas industriales	Áreas industriales	Áreas industriales	Áreas industriales	1.245,2	1.245,2	1.245,2	1.245,2
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	8,6	8,6	8,6	8,6
	Matorral de Ad	Matorral de Ad	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	8,5	8,5	8,5	8,5
	Matorral de Eb	Matorral de Eb	Matorral de Eb	Matorral de Eb	416,5	416,5	416,5	416,5
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	Matorral - Vega de Tb dp	Matorral - Vega de Tb dp	579,2	565,6	487,4	487,4
				Matorral de Tb				78,2
				Matorral - Vega de Tb dp	Matorral de Tb			13,6
	Vega de bj dp sca	Vega de bj sca dp	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	11,1	11,1	11,1	11,1
	Vega de bj jb dp	Vega de bj sca dp	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	7,5	7,5	7,5	7,5
	Vega de bj sca dp	Vega de bj sca dp	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	1,1	1,1	1,1	1,1
	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	661,8	661,8	661,8	661,8
	Vega de jb	Vega de jb	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	Vega de jb	247,6	183,0	166,8	166,8
				Vega de jb dp				16,2
				Matorral hídrico - Vega de Lh jb	Matorral hídrico - Vega de Lh jb			64,6
	Vega de jb dp	Vega de jb	Vega de jb	Vega de jb dp	58,6	58,6	58,6	58,6
Vega de ph sca dp	Vega de ph sca dp	Vega de ph dp sca	Vega de ph dp sca	42,5	42,5	42,5	42,5	
Vega de sca	Vega de sca	Vega de sca	Vega de sca	55,7	22,5	22,5	22,5	

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2016	MONITOREO INVIERNO 2017	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO INVIERNO 2019	SUPERFICIE (ha)			
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019			
		Vega de sca bj dp	Vega de sca bj	Vega de sca bj		20,2	20,2	20,2
		Vega de sca	Áreas desprovistas de vegetación	Áreas desprovistas de vegetación		13,0	13,0	13,0
	Vega de sca bj	Vega de sca	Vega de sca bj dp	Vega de sca bj dp	10,3	8,0	10,3	10,3
		Vega de sca bj dp				2,3		
	Vega de tc	Vega de tc	Vega de tc	Vega de tc	24,5	24,5	24,5	24,5
	Matorral - Vega de Eb dp	Matorral - Vega de Eb dp	Matorral de Eb	Matorral de Eb	74,6	74,6	74,6	74,6
	Matorral - Vega de Tb dp	319,4	319,4	319,4	319,4			
	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	8,6	8,6	8,6	8,6			
	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	Matorral hídrico - Vega de Lh dp sca	16,5	16,5	16,5	16,5
	Matorral hídrico - Vega de Lh jb	31,3	31,3	31,3	31,3			
	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	Matorral hídrico - Vega de Lh jb dp	10,1	10,1	10,1	10,1
	Matorral hídrico - Vega de Lh sca jb	Matorral hídrico - Vega de Lh sca jb	Matorral hídrico - Vega de Lh jb sca	Matorral hídrico - Vega de Lh jb sca	14,3	14,3	14,3	14,3
	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	Matorral hídrico - Vega de Sf dp bj	4,4	4,4	4,4	4,4
	Matorral hídrico - Vega de Sf nia tc	Matorral hídrico - Vega de Sf nia tc	Matorral hídrico - Vega de Sf tc nia	Matorral hídrico - Vega de Sf tc nia	13,8	13,8	13,8	13,8
	Matorral hídrico de Lh	49,6	49,6	49,6	49,6			
Total Tilopozo					17.054,1	17.054,1	17.054,1	17.054,1
La Punta y La Brava	Áreas desprovistas de vegetación	18,4	18,4	18,4	18,4			
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	39,8	39,8	39,8	39,8
	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	2,3	2,3	2,3	2,3
	Vega de tc	Vega de tc	Vega de tc	Vega de tc	16,9	13,6	13,6	13,6

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

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2016	MONITOREO INVIERNO 2017	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO INVIERNO 2019	SUPERFICIE (ha)			
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019			
		Matorral hídrico - Vega de Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Lh dp		3,4	3,4	3,4
	Matorral hídrico de Sf	Matorral hídrico de Sf	Vega de dp	Vega de dp	11,0	11,0	3,5	3,5
			Matorral hídrico - Vega de Sf dp	Matorral hídrico - Vega de Sf dp			5,7	5,7
			Vega de sca bj	Vega de sca bj			1,7	1,7
Total Peine					5.925	5.925	5.925	5925
Aguas de Quelana	Áreas desprovistas de vegetación	3.410,1	3.410,1	3.410,1	3.410,1			
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	25,4	25,4	25,4	25,4
	Matorral de Tb	Matorral de Tb	Matorral de Tb	Matorral de Tb	104,9	104,9	104,9	104,9
	Vega de dp	Vega de dp	Matorral de Tb Lh	Matorral de Tb Lh	213,7	213,7	9,8	9,8
			Vega de dp	Vega de dp			203,9	203,9
	Matorral - Vega de Tb dp	655,9	655,9	637,3	637,3			
			Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp	Matorral hídrico - Vega de Tb Lh dp			18,6	18,6
	Matorral hídrico - Vega de Sf tc pu	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	Matorral hídrico - Vega de Sf pu	313,6	313,6	313,6	313,6
Matorral hídrico de Sf	Matorral hídrico de Sf	Matorral hídrico - Vega de Sf nia	Matorral hídrico - Vega de Sf nia	230,7	230,7	21,6	21,6	
		Matorral hídrico de Sf	Matorral hídrico de Sf			209,1	209,1	
Total Aguas de Quelana					4.954,2	4.954,2	4.954,2	4.954,2
Soncor	Áreas desprovistas de vegetación	4.749,3	4.749,3	4.749,3	4.749,3			
	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	244,2	244,2	244,2	244,2
	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	Vega de dp	16,9	16,9	16,9	16,9
	Matorral - Vega de Tb dp	7,8	7,8	7,8	7,8			

SECTOR	MONITOREO INVIERNO 2016	MONITOREO INVIERNO 2017	MONITOREO INVIERNO 2018	MONITOREO INVIERNO 2019	SUPERFICIE (ha)			
	Formación vegetal / Recubrimiento de suelo	Invierno 2016	Invierno 2017	Invierno 2018	Invierno 2019			
Total Soncor					5.018,2	5.018,2	5.018,2	5.018,2
Total general					33.070,1	33.070,1	33.070,1	33.070,1

Fuente: Elaboración propia.

12.1.1.3 Evolución respecto a valores históricos

En términos generales, al realizar una comparación entre los monitoreos del seguimiento (PMB) y éstos con la línea de base (2015), es necesario indicar que el uso de una escala menor en el PMB desde el primer monitoreo (M1) hasta el actual (M7), implicó un mayor detalle en la delimitación de las formaciones vegetales y en la aplicación de la metodología COT, lo que disminuyó la incertidumbre respecto de la vegetación contenida en áreas señaladas como desprovistas de vegetación y sin clasificación o misceláneas, clasificando con mayor detalle áreas industriales o cuerpos de agua.

En suma, se describe con mayor especificidad las especies acompañantes en la formación vegetal, lo que incorpora la variable de composición vegetal y su cobertura a los criterios de seguimiento, transformándose en las variables jerárquicas de comparación intra e interanual de la COT. Así, la cantidad de las formaciones descritas por la COT inicial se ha mantenido, y los principales cambios se observan en el tipo de formación, en que la mayor variación aparece con la descripción de Matorrales zonales y Vegas. Ver detalle de las formaciones y resultados evolución en la **Tabla N° 12-2**.

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

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

Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla N° 12-3** describe la superficie relativa del tipo de vegetación desde la línea de base en relación con los monitoreos de invierno realizados hasta la fecha, ya que la fisionomía observada en el presente monitoreo se ajusta comparativamente a los muestreos indicados. El promedio de variación general es de un 6%, valor que señala una descripción congruente con las observaciones de terreno, con la escala de detalle en la aplicación de la metodología en cada campaña y con el producto esperado que es una carta o mapa de ocupación de tierras.

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

PERÍODO DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN COT		SUPERFICIE RELATIVA POR TIPO DE VEGETACIÓN (%)		
		Otros recubrimientos	Vegetación Zonal	Vegetación Azonal
Línea de Base (2015)		78,3%	17,8%	3,9%
Monitoreo	Invierno 2016 (M1)	78,0%	14,9%	7,1%
	Invierno 2017 (M3)	78,0%	9,5%	12,5%
	Invierno 2018 (M5)	78,1%	8,7%	13,2%
	Invierno 2019 (M7)	78,1%	8,7%	13,2%
Rango variación		0,2%	9,1%	9,3%

Fuente: Elaboración propia.

La mayor variación corresponde al tipo “vegetación azonal” (9,3%) en relación a la línea de base del EIA del Proyecto, sin embargo, entre los monitoreos de invierno 2017 a 2019 donde se han monitoreado una cantidad de puntos equivalentes luego de la calibración de escala realizada el primer año de monitoreo (invierno 2016), no se observan variaciones para los distintos tipos de recubrimiento.

En síntesis, éstos valores muestran una consistencia de la herramienta descriptiva de seguimiento de la vegetación, observada principalmente en los tipos de recubrimiento de suelo registrados en el área de estudio, ya que los principales cambios han sido producto de ajustes cartográficos y en mejoras sobre la descripción de los tipos de formaciones vegetales en relación a la composición de las especies dominantes.

12.1.2 Análisis Flora y Vegetación (Transectas)

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

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

Adicionalmente, en las gráficas comparativas de las coberturas (**Anexo Vegetación y Flora; Figura N° 1-1 a 1-6**) se presentan los resultados de todos los monitoreos M1 (invierno 2016), M2 (verano 2017), M3 (invierno 2017), M4 (verano 2018), M5 (invierno 2018), M6 (verano 2019), M7 (invierno 2019), incluyendo el MB0 (monitoreo inicial).

Las seis formaciones vegetales estudiadas en este monitoreo corresponden a:

1. herbazales de *Schoenoplectus californicus*,
2. herbazales de *Juncus balticus*,
3. herbazales de *Distichlis spicata*,
4. herbazales de *Triglochin concinna*,
5. matorrales de *Sarcocornia fruticosa* y
6. matorrales de *Tessaria absinthioides*.

12.1.2.1 Comparación entre invierno 2019 y verano 2020

Este acápite comparativo anual no pudo desarrollarse debido a que no fue posible realizar la campaña de monitreo verano 2020, dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19.

12.1.2.2 Evolución entre invierno 2019 e inviernos 2016, 2017 y 2018

En este acápite se analiza la información levantada en el primer monitoreo semestral del cuarto año del plan de seguimiento, correspondiente al monitoreo de invierno 2019 (M7), con los monitoreos de invierno de los tres primeros años de seguimiento correspondientes a invierno 2016 (M1), invierno 2017 (M3) e invierno 2018 (M5). El muestreo fue realizado en las transectas fijas localizadas en seis subsectores del área de estudio del proyecto, correspondientes a los subsectores de: La Punta, La Brava, Peine, Tilopozo, Aguas de Quelana y Soncor. Cabe señalar, que el subsector Soncor presentó restricciones de acceso por mala accesibilidad de caminos, aunque se conoce que el área no tiene vegetación ni elementos de flora.

En cuanto a las formaciones vegetales, en el monitoreo M7 se observa, en general, las mismas características de estructura de la formación, composición de especies dominantes y fisonomía de las formaciones (ver **Tabla N° 5-23**) con respecto a monitoreos de años anteriores (M1, M3 y M5). No obstante, se observaron algunas diferencias entre monitoreos en algunas de las transectas, las cuales son:

- (1) algunas diferencias con respecto a las **características físicas del suelo** en donde se desarrollan estas formaciones vegetales, observando diferencias en la humedad del suelo, con mayor saturación en M7 en algunas transectas de las formaciones de herbazal de *D. spicata*, *S. californicus* y matorral de *S. fruticosa*, con respecto a M1 y M3, aunque menos variable con respecto a M5. Y en el caso del herbazal de *T. concinna*, se observó mayor saturación en M3 y M5 con respecto a M7. Y en cuanto a la salinidad, se observan mayores variaciones en algunas transectas, principalmente con menor salinidad en M7 con respecto a M1 y M3 en formaciones de *D. spicata* y *J. balticus*, aunque mayor respecto a M5. En la formación de *T.*

absinthioides se observa mayor variación entre transectas, donde en algunas se observó un aumento de los afloramientos salinos en M7 respecto a inviernos anteriores, aunque también algunos disminuyen su cobertura dada la diferencia entre sectores, donde las transectas de matorral en Tilopozo siempre han presentado mayor salinidad que las de Peine, **ver Tabla N°1-1 en Anexo de Flora y Vegetación.**

Referente a la composición y coberturas registradas en las campañas de invierno (M7) en comparación con monitoreos de invierno anteriores (M1, M3 y M5), se observa lo siguiente:

En el **herbazal de *Schoenoplectus californicus*** localizado en el sector de Tilopozo y Peine, se observa en los cuatro monitoreos la mayor cobertura absoluta de toda el área de estudio, tanto en su especie dominante como en las transectas (seis) definidas en esta formación. La especie *S. californicus*, obtuvo valores altos de cobertura absoluta en sus transectas de muestreo, donde en M7 presentó en cinco transectas una cobertura sobre un 90% y una media en la formación de 90,5%, relacionándose con registros anteriores, donde la cobertura de esta especie siempre ha sido la más alta inclusive con un 100% de cobertura en algunas transectas (ver **Figura N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**).

La especie ***Distichlis spicata*** presenta variabilidad en sus coberturas, con un rango de 4,8% a 38,0% de cobertura absoluta en las transectas del herbazal de *D. spicata* en M7. Si bien se observaba una disminución de las coberturas desde M1 a M5, en M7 se observa una recuperación de ésta en varias transectas desde M5, inclusive alcanzando una mayor cobertura que la registrada en M1 en varias transectas, asimismo, al comparar las coberturas medias, ésta es equivalente entre la registrada en M1 y M7 (18,7%), ver **Figura N°1-1 en Anexo de Flora y Vegetación.**

La especie ***Sarcocornia fruticosa***, se observa como especie dominante en cuatro transectas y como especie acompañante en otras dos formaciones vegetales (**Figura N°1-2 y Figura N°1-4 en Anexo de Flora y Vegetación**). En M7 destaca un máximo de 49,0% en la transecta T17 correspondiente al matorral dominado por esta especie, y donde alcanza una media de 28,6% en su formación. En monitoreos de invierno anteriores las coberturas son similares, exceptuando la transecta T12 que registra una disminución de su cobertura de un 21,0% en M7, con respecto a M5 (31,0%) y mayor diferencia con M1 (37,0%), aunque la cobertura media para la formación se encuentra cercano al rango histórico registrado en todos los inviernos, entre 33,4% en M1 y 29,5% en M5. Con respecto a las coberturas de esta especie como acompañante, se mantiene similar la cobertura entre un mismo rango en el herbazal de *Triglochin concinna* entre un 5 y 10% y en el herbazal de *S. californicus*, aumenta la cobertura en una transecta aunque con menos de un 3% de cobertura, pero no hay presencia de esta especie en otras dos transectas donde se registraba que presentaban menos de un 2% de cobertura de *S. fruticosa* en ambos casos, ver **Figura N°1-5 en Anexo de Flora y Vegetación.**

La especie ***Triglochin concinna*** se observa en dos transectas en un herbazal dominado por esta especie. En general, se observa una disminución en la cobertura media en el herbazal dominado por esta especie, aunque principalmente por la disminución en la transecta T10, registrando en M7 la cobertura más baja de todos los monitoreos, donde *T. concinna* presentó un 10,2% en M1, bajando a un 1,2% en M3, 0,4% en M5 y 0,2% en M7 (**Figura N°1-4 en Anexo de Flora y Vegetación**).

En cuanto a la especie ***Tessaria absinthioides***, ésta se registra solo en el matorral dominado por esta especie en M7, ver **Figura N°1-6 en Anexo de Flora y Vegetación**. El matorral de *T. absinthioides* siempre ha presentado un rango variable de cobertura entre transectas (por ejemplo 6,4% a 26,2% en M7), y si bien se observa una disminución en las coberturas absolutas por transectas desde M1, en M7 se observa un aumento de la cobertura con respecto a M5, e inclusive en la transecta T07 (Peine) es mayor que M1. Asimismo, la cobertura media de la especie se ha mantenido entre un rango similar entre los cuatro monitoreos de invierno, de 18,9% (M1) a 13,8% (M7).

La especie ***Juncus balticus***, solo se registra en las cuatro transectas donde domina esta especie (en todos los monitoreos), correspondiente al herbazal de *J. balticus*, donde se observa con coberturas absolutas variables entre transectas, destacando una disminución de la cobertura en M3 desde M1, aunque en monitoreos posteriores y M7 esta cobertura se ha mantenido o aumentado desde M3. En M7, la cobertura media es de 12,6%, similar al 12,8% registrado en M5, ver **Figura N°1-3 en Anexo de Flora y Vegetación**.

Por otra parte, las especies acompañantes ***Baccharis juncea*, *Lycium humile*, *Nitrophila atacamensis* y *Puccinellia frigida*** mantienen similares sus coberturas en M7 con respecto a monitoreos de invierno anteriores (M1, M3 y M5), puntualmente destacan algunas diferencias pero manteniéndose dentro de la cobertura media registrada, ver **Figura N°1-1, Figura N°1-2, Figura N°1-3, Figura N°1-4 y Figura N°1-5, en Anexo de Flora y Vegetación**.

Al analizar la **cobertura absoluta por transecta**, en todos los monitoreos los mayores valores se observan en el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, manteniéndose esta constante en el monitoreo de invierno 2019 (M7), inclusive aumentando la cobertura absoluta en las seis transectas con respecto a M1. No obstante, se observa un aumento de la cobertura muerta o rastrojo en M7, a excepción de T03 que presenta una mayor cobertura muerta en M1 aunque con coberturas oscilantes entre monitoreos M1 y M5 (ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**). Cabe señalar, que en esta formación se había observado la activación de la cobertura post-incendio en M4 (incendio ocurrido en septiembre de 2017, posterior al monitoreo de invierno M3) en las transectas de Tilopozo (T19 y T29) y en M6 este fenómeno se observó en las transectas T01 y T03 de Peine, registrando igualmente una activación de la cobertura vegetal, con abundante regeneración y asimismo se observaba cobertura muerta bajo la cobertura vegetal. Cabe destacar, que en el monitoreo actual, no se observan rastrojos de quema en las transectas de Tilopozo (T19 y T29), no obstante en las transectas de Peine T01 y T03, la cobertura de rastrojos

aún es evidente en ambas transectas a pesar de la regeneración y activación de la cobertura vegetal.

En cuanto a los valores de menor cobertura absoluta por transecta (menor al 10%), en M7 hay siete transectas con coberturas inferiores al 10%, mientras que en M5 habían seis transectas, en M3 ocho transectas y en M1 cuatro transectas. En el herbazal de *Distichlis spicata* destacan tres transectas con cobertura inferior al 10% en los cuatro monitoreos de invierno (T21, T26 y T27 en Tilopozo). En el herbazal de *Triglochin concinna*, de las dos transectas, T10 del subsector La Brava, presentó en M7 la menor la cobertura de todos los monitoreos, descendiendo de 14,6% en M1 (invierno 2016) a 3,6% en M3, 4,0% en M5 y 1,2% en M7. En el matorral de *T. absinthioides* tres transectas presentan cobertura inferior al 10%, destacando la transecta T05 de Peine, que ha registrado menos de un 10% de cobertura en los cuatro monitoreos de invierno (ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**). En general, destaca que en las transectas con menor cobertura vegetal (<10%) son formaciones que siempre se han registrado con baja cobertura vegetal, y que a la vez también mantienen una baja cobertura de rastrojos (<10%), exceptuando la transecta T23 en un matorral de *T. absinthioides* de Tilopozo, donde la cobertura de rastrojos registra en M7 un 11,0%, entre 13 y 14% en M3 y M5 y en M1 una cobertura menor de 6,6%.

En relación a la cobertura muerta (absoluta), ésta se registra para todas las formaciones estudiadas, presentando algunas diferencias entre monitoreos y entre transectas, exceptuando algunas transectas del herbazal de *S. californicus* en algunos monitoreos de invierno que no registra rastrojos o cobertura muerta. El rango de cobertura muerta es variable, en M7 la transecta T19 en un herbazal de *S. californicus* de Tilopozo no registra cobertura muerta, mientras que el mínimo se registra en un herbazal de *T. concinna* en La Brava (0,6%; T10) y un máximo en un herbazal de *S. californicus* en Peine (84,8%; T24). Por una parte, destaca que el máximo de cobertura muerta en M1, M3 y M5 se registraba en la transecta T02 (30 a 47% en un herbazal de *S. californicus* en Peine), sin embargo en M7 desciende a un 24%, registrándose el máximo en la misma formación pero en la transecta T03 (84,8%), valor que se asocia principalmente a cobertura de rastrojos producto de la quema ocurrida en el 2018. Cabe destacar, que este máximo de cobertura muerta no es indicador de pérdida de cobertura en la formación, ya que igualmente, la cobertura vegetal de las especies en la transecta permanece activa registrando más de un 100% de cobertura absoluta en M7. Por otra parte, los mínimos de cobertura muerta de registran en el herbazal de *T. concinna* de La Punta y La Brava (T10 y T11) y en los herbazales de *S. californicus* de Tilopozo (T19 y T29).

En términos generales, se observa un aumento de la cobertura vegetal con respecto a invierno 2018 (M5), donde en 18 transectas se refleja una cobertura mayor en M7, ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**. Si bien en nueve transectas la cobertura en M7 es menor que M5 y registros previos, el aumento general en M7 refleja que el aporte de las precipitaciones en el verano de 2019, incidió en una mayor actividad en la vegetación,

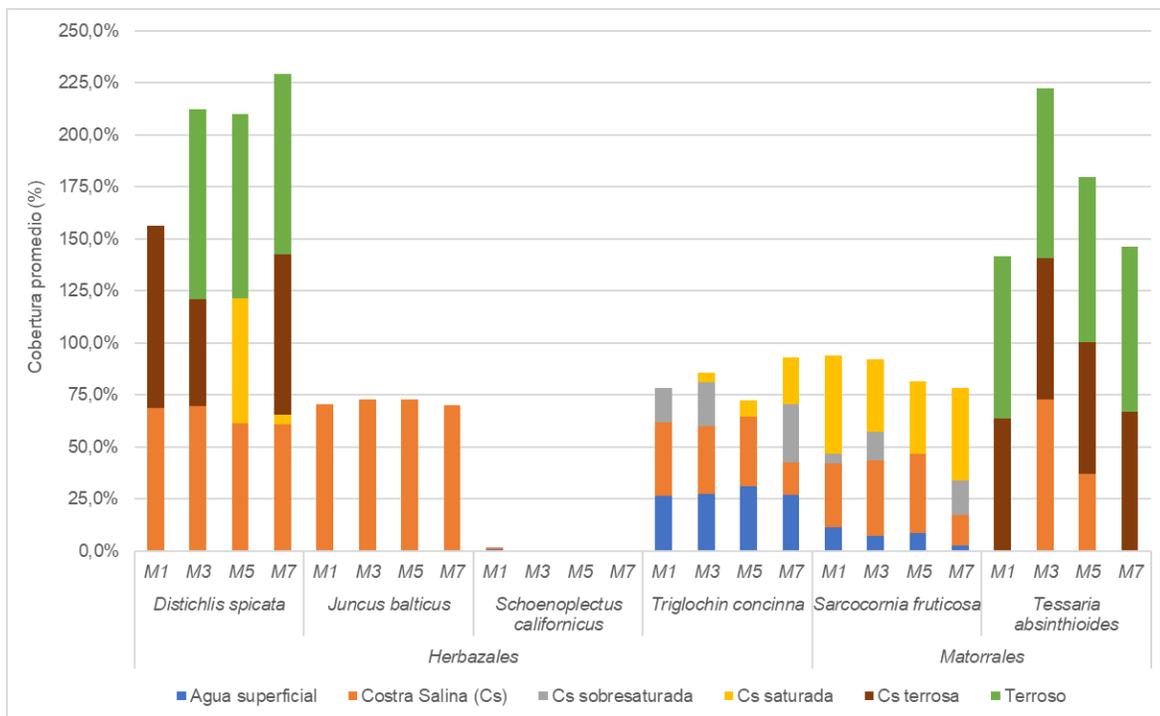
observada principalmente en los herbazales de *D. spicata*, donde inclusive en cuatro transectas (T09, T20, T21 y T27) el aumento es mayor al histórico desde M1 y MB0.

Con respecto a la riqueza de especies, en general la riqueza registrada en M7 se mantiene constante con respecto a los registros desde M1 a M5, presentando algunas diferencias en pocas transectas. Cabe destacar que no hay diferencias en la composición de especies dominantes, solo se registran diferencias con especies acompañantes, las cuales presentan generalmente coberturas inferiores al 2%. En relación a las diferencias, en M7 se registra una especie más en dos transectas con respecto a M5 (T21 en un herbazal de *D. spicata* y T07 en un matorral de *T. absinthioides*), en T03 se registra una especie menos con respecto a M5 pero es mayor con respecto a M1 y M3, y en T01 se registra una especie menos en M7 con respecto a los tres monitoreos de invierno anteriores (ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**).

Con respecto a la cobertura absoluta de otros recubrimientos, en general no se observan mayores diferencias de coberturas totales al comparar los resultados entre los monitoreos de invierno M1, M3, M5 y M7. En la **Figura N° 12-1** se pueden observar los promedios de la cobertura de los otros recubrimientos por sector en los monitoreos de invierno, en relación al tipo de recubrimiento, y en mayor detalle, en el **Anexo de Flora y Vegetación** se pueden observar la coberturas absolutas de estos recubrimientos (**Tabla N°1-3 en Anexo de Flora y Vegetación**). De acuerdo a la **Figura N° 12-1**, destaca el recubrimiento de agua superficial que siempre ha estado presente en las transectas del herbazal de *T. concinna*, y con menor cobertura en el matorral de *S. fruticosa* y, ocasionalmente en una transecta del herbazal de *S. californicus* (T01; M1 y M7). En relación a la costra salina, la que ha variado entre monitoreos es principalmente la costra salina saturada y sobresaturada en herbazales de *D. spicata* y *T. concinna* y en el matorral de *S. fruticosa*. La costra salina terrosa en el herbazal de *D. spicata* también presenta variaciones, donde destaca el reemplazo de este recubrimiento en M5 por costra salina saturada. Por otra parte, el sustrato terroso que es característico en algunas transectas del herbazal de *D. spicata* se observa que mantiene su cobertura desde M3 a M7, asimismo en el matorral de *T. absinthioides* donde la variación en esta formación se registra mayormente entre la costra salina y la costra salina terrosa.

El herbazal de *Schoenoplectus californicus* es el único que presenta muy baja o nula cobertura de otros recubrimientos, con menos de 1% de cobertura registrado en la transecta T01 en M1 y M7 (agua superficial) y en la transecta T04 en M1 y M5 (costra salina). Distinto es para el resto de las formaciones, donde las coberturas totales de otros recubrimientos son generalmente sobre el 50% en M7, exceptuando en pocas transectas (T08 con 44,4%, T20 con 40,2%, T17 con 47,2% y 47,6% en T24), lo cual presenta un comportamiento similar entre los registros de los distintos monitoreos de invierno sobre todo en T17 y T24 que en los cuatro monitoreos de invierno registra una cobertura menor al 50% (**Figura N° 12-1 y Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**).

Figura N° 12-1. Cobertura promedio de otros recubrimientos por formación vegetal en los monitoreos de invierno.



Donde: M1 monitoreo invierno 2016, M3 monitoreo invierno 2017, M5 monitoreo invierno 2018, M7 monitoreo invierno 2019.
 Fuente: Elaboración propia.

En la

Figura N° 12-2 se observa gráficamente las coberturas promedio por campañas y por sector, con respecto a la cobertura promedio de la vegetación y de rastrojos y la riqueza. En el **Anexo de Flora y Vegetación**, se puede observar en más detalle la evolución de las coberturas por cada sector y monitoreos desde MB0.

Para el sector Peine, correspondiente al sector con mayor cobertura vegetal promedio del área de estudio, se observa un 69,5% en M7, uno de los mayores valores registrados en monitoreos de invierno, además de M3 (2017), con una cobertura vegetal de 69,6% para el sector (

Figura N° 12-2 y Tabla 1.4 en Anexo de Flora y Vegetación).

El subsector de Tilopozo, presenta variación estable en su cobertura vegetal, dado entre 35% y 37% en todas las campañas de invierno, registrando un 35,7% en M7 (

Figura N° 12-2 y Tabla 1.4 en Anexo de Flora y Vegetación).

En La Punta y La Brava, se observan variaciones de cobertura entre monitoreos, con un 39,1% en M1 (invierno 2016), bajando a 31,1% en M3 (invierno 2017), seguido de 30,4% en M5 (invierno 2018), hasta llegar a una cobertura de 26,4% en M7 (invierno 2019), ver

Figura N° 12-2 y Tabla 1.4 en Anexo de Flora y Vegetación.

En Aguas de Quelana, se observaba un descenso de la cobertura desde M1 (40,6%) a M3 (35,4%) pero en monitoreos de invierno posteriores se mantiene una cobertura constante entre 33 y 35%, dada entre M3, M5 y M7. En el caso de Soncor, a pesar de que no hay muestreo en M7, se conoce que en este sector no hay vegetación o elementos de flora aislados que pudieran monitorearse en el tiempo, tratándose de un área completamente cubierta por costra salina (

Figura N° 12-2 y Tabla 1.4 en Anexo de Flora y Vegetación).

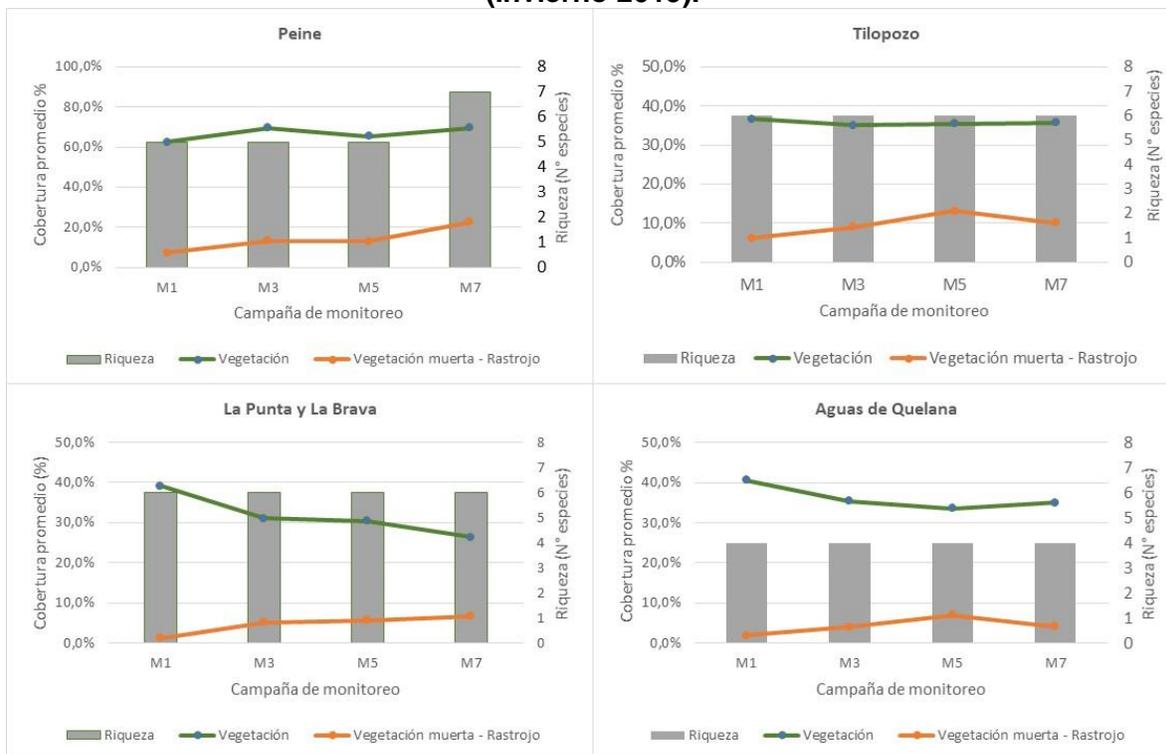
En relación a la cobertura de rastrojos, se observa en general un aumento de esta cobertura desde M1 en los monitoreos de invierno posteriores, principalmente, observado en el sector de Peine con un registro de 22,7% en M7 de un 7,3% en M1. No obstante, cabe recordar que en el sector de Peine es donde se registró mayormente este recubrimiento producto de la quema ocurrida el segundo semestre de 2018 que incidió en la mayor presencia de rastrojos (por quema) en dos transectas del sector (T01 y T03), aunque sin afectar directamente a la formación, logrando una regeneración y recuperación de la cobertura vegetal exitosa en ambas transectas. Por otro lado, en M7 se observa una leve disminución de los rastrojos en Aguas de Quelana y Tilopozo respecto a M5, aunque sigue siendo mayor que M1 (

Figura N° 12-2 y Tabla 1.4 en Anexo de Flora y Vegetación).

Finalmente, la riqueza registrada por sector se mantiene similar entre los monitoreos de invierno, a excepción del sector Peine que registró dos especies adicionales en M7 con respecto a las cinco registradas en M1, M3 y M5. Las especies adicionales en Peine son acompañantes en dos formaciones, el arbusto *Atriplex atacamensis* que corresponde a un registro en una transecta, que originalmente se observó desde el monitoreo M6, y la herbácea *Puccinellia frigida* que corresponde a un registro nuevo para el sector, con menos de 1% de cobertura absoluta (ver

Figura N° 12-2 y Tabla N°1-5 en Anexo de Flora y Vegetación).

Figura N° 12-2. Tendencia de la cobertura vegetal promedio y riqueza por sector (Invierno 2019).



Donde: M1 monitoreo invierno 2016, M3 monitoreo invierno 2017, M5 monitoreo invierno 2018, M7 monitoreo invierno 2019.
 Fuente: Elaboración propia.

12.1.2.3 Evolución respecto de valores históricos (MB0)

En el siguiente análisis, se comparan las coberturas del monitoreo semestral de invierno 2019 (M7) en referencia al **Monitoreo “0” realizado en julio de 2016 (MB0)**, monitoreo realizado, igualmente, en la estación de invierno y considerado como condición inicial en la etapa preoperacional del proyecto para el PMB. Esta comparación trata de relacionar el estado actual con la condición inicial (MB0).

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus* las coberturas absolutas de las seis transectas de la formación presentaban más del 100% de cobertura vegetal en MB0, lo cual se ha mantenido hasta M7. Si bien hay diferencias de coberturas entre monitoreos, éstas se mantienen altas representando una cobertura muy densa de la vegetación en todas las transectas. Cabe señalar, que la transecta T02 había disminuido su cobertura absoluta entre M1 y M5 a menos de un 100%, pero en M7 aumentó a un 127,8%, acercándose al valor inicial en MB0 (156,6%), ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**.

Con respecto a las otras formaciones, éstas presentan en general, una disminución en las coberturas vegetales desde MB0 y asimismo un aumento en las coberturas de rastrojo o de

cobertura muerta, con respecto a la condición inicial determinada para la primera fase pre operacional de este estudio (ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**). No obstante, en el herbazal de *D. spicata* se observa un aumento de la cobertura en M7 en tres de sus ochos transectas (T09, T21 y T27) y una cobertura muy similar con MB0 en otras dos transectas (T20 y T28) y asimismo, solo en esta formación se observa una disminución y/o mantención de la cobertura de rastrojos en M7 con respecto a MB0 (T21, T27 y T28), además de las transectas en un herbazal de *S. californicus* de Tilopozo (T19 y T29), que presentan muy baja o nula cobertura de rastrojos en M7 con respecto a la nula presencia de este recubrimiento en MB0.

En las otras formaciones, solo resaltan ciertas transectas donde puntualmente se registran mayores diferencias en las coberturas comparadas desde MB0 a M7 (ver **Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**). Destacan tres transectas con más del 50% de diferencia entre sus coberturas; la transecta T18 en un herbazal de *Juncus balticus* en Tilopozo, que registraba un 27,6% en MB0 y en M7 un 11,0%, la transecta T10 en un herbazal de *Triglochin concinna* en el subsector La Brava, que registraba un 14,6% en MB0 y en M7 presenta una cobertura de 1,2%, lo que representa una pérdida de cobertura vegetal mayor al 90% en dicha transecta, y por último, la transecta T06 en Peine, en un matorral de *Tessaria absinthioides* que registra un 24,6% en MB0 bajando a un 11,6% en M7.

Finalmente, en relación a la riqueza de especies, se observa una diferencia leve en la riqueza de especies en seis transectas, obteniendo valores constantes en el resto de las transectas en los registros desde Monitoreo Base 0 a Monitoreo 7. De las transectas con variaciones, destaca principalmente T12 del subsector La Punta, que registraba tres especies en MB0 y actualmente se registró solo la especie dominante de la formación *S. fruticosa*. Las otras variaciones corresponden a una especie menos en M7 o adicional en M7 con respecto a MB0, correspondiendo en todos los casos a especies acompañantes de menor cobertura y representatividad dentro de las transectas (**Tabla N°1-2 en Anexo de Flora y Vegetación**).

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

12.1.3.1 Comparación con valores históricos

La superficie con vegetación a partir de la COT en el área de estudio es de 7.260,4 hectáreas en el último monitoreo de invierno de 2019²⁵, y en base al método NDVI el cálculo de la vegetación activa para esta superficie con vegetación representa un 18,2% (1.320,1 hectáreas) (**Tabla N° 12-4**).

De esta superficie, en relación a las formaciones vegetales consideradas para el seguimiento del Plan de Manejo Biótico (**Tabla N° 12-5**), la superficie total para el área de estudio es de 5.829 hectáreas, de las cuales 1.075 hectáreas (18,4%) representan una cobertura activa según análisis NDVI-2020.

De acuerdo a los valores históricos provenientes desde imágenes de alta resolución (Tabla 5.3 del Apéndice B del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015), la superficie de vegetación activa en los sectores de Tilopozo – La Punta y La Brava y Peine, en los cuatro años de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico definido, superando incluso los valores máximos (**Tabla N° 12-4**). Cabe recordar, que para el sector de Peine, se había observado una disminución de la cobertura activa entre el monitoreo de 2017 al 2018, sin embargo, en el verano de 2019 la cobertura activa aumentó a una superficie similar a la registrada en 2017. Los registros actuales consideran una disminución con respecto al año anterior, pero no alcanzan los valores mínimos registrados durante 2018.

Las formaciones de seguimiento del PMB para el sector Peine alcanzan una superficie total de 2.228,2 hectáreas de las cuales el 17,8% (396,5 há) corresponde a vegetación activa, siendo la formación de matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa* la que presenta mejor relación de cobertura total / vegetación activa con un 43,8% de actividad (3,9 hectáreas), seguida por la formación de vega con dominancia de *Distichlis spicata* que presenta 40,4% de actividad (**Tabla N° 12-5**).

En el Sector de La Punta y La Brava las formaciones de seguimiento alcanzan 124,9 hectáreas, siendo la formación de matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa* la que presenta mejor relación cobertura total/actividad con 23,3% de vegetación activa en 41,1 hectáreas totales (en relación a su superficie con el área total para la zona), por otra parte la formación de vega de *Nitrophila atacamensis* y *Triglochin concinna* presenta una relación cobertura total/actividad del 33,3% pero en una menor superficie (3,3 hectáreas). Finalmente el sector Tilopozo presenta 1.932,7 hectáreas de formaciones sujetas a seguimiento de las cuales 381,6 hectáreas se presentan en actividad según el

²⁵ COT invierno 2019, última cobertura validada de referencia para la actualización de vegetación activa verano 2020.

índice NDVI, de estas la formación de vega con dominancia de *Schoenoplectus californicus* es la que presenta mejor relación cobertura total/actividad con un 42,8% de actividad en 72,7 hectáreas totales.

En el sector de Soncor, el resultado de superficie de vegetación activa (para las formaciones particulares de seguimiento), es menor en los cuatro años de monitoreos a la superficie mínima histórica definida. No obstante, esto se debe al mayor detalle definido por la COT en las campañas posteriores a la RCA, en los ajustes y precisiones realizadas a este instrumento en el contexto del PMB. La superficie vegetación activa NDVI en verano 2017, 2018, 2019 y 2020, se ha observado relativamente estable, evidenciándose una leve baja de los valores registrados durante 2020 en referencia a los años anteriores. Este sector es el que posee mayor porcentaje de vegetación activa por superficie de vegetación con 23,3%, aunque es el sector que presenta menor cobertura de vegetación, dado la predominancia de áreas desprovistas de vegetación (salar), se reconoce la presencia de vegetación activa como de importancia para la actividad biológica del área. Las formaciones de seguimiento que conforman el sector Soncor alcanzan una superficie de 24,8 hectáreas de las cuales 23,3% corresponden a vegetación activa. La formación de matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* es la que presenta mayor actividad en su superficie total de ocupación con 2,7 hectáreas de vegetación activa en 7,8 hectáreas totales.

En el sector de Aguas de Quelana, el valor de superficie de vegetación activa está por sobre el rango mínimo histórico, superando ampliamente el valor máximo histórico en los cuatro períodos (2017-2020). Esto se debe al aumento de la superficie del área de muestreo para el monitoreo. Si bien se observaba una disminución de la cobertura activa desde 393,8 hectáreas en verano 2017 a 248,5 hectáreas en el 2019, se evidencia para este año un aumento de la cobertura activa en 2020 con respecto a 2019 con 274,3 ha. Con respecto a las formaciones de seguimiento, para el sector Aguas de Quelana **Tabla N° 12-5**, se reportan 1.518,2 hectáreas de formaciones zonales y azonales, de las cuales 274,3 hectáreas (18,1%) corresponden a vegetación activa. Las formaciones de matorral de *Tessaria absinthioides* y matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata* son las que presentan mayor actividad con 28,2% (32,3 hectáreas) y 21,9% (139,7 hectáreas) respectivamente.

Tabla N° 12-4. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos Alta Resolución por sector.

Sector	VERANO 2017		VERANO 2018		VERANO 2019		VERANO 2020		VALORES HISTÓRICOS DESDE ALTA RESOLUCIÓN	
	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie COT con vegetación (ha)	Superficie vegetación activa NDVI (ha)	Superficie min. (ha)	Superficie máx. (ha)
TI/LPLB	2.727,9	613,2	2.706,4	422,8	2.706,4	603,5	2.727,9	533,4	113,6	343,3
Peine	2.990,9	677,1	2.989,0	496,1	2.989,0	660,5	2.989,0	506,6	157,7	242,8
Soncor	24,8	7,6	24,8	6,0	24,8	6,1	24,8	5,8	21,2	37,7*
Quelana	1.518,8	393,8	1.518,8	291,5	1.518,8	248,5	1.518,8	274,3	20,8	32,4**
TOTAL	7.262,4	1.691,8	7.238,9	1.216,4	7.238,9	1.518,6	7.260,4	1.320,1		

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

Tabla N° 12-5. Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a las formaciones de seguimiento según PMB, por sector

SECTOR	TIPO VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL (DOMINANCIA)	SUPERFICIE VEGETACIÓN ACTIVA (ha)	SUPERFICIE TOTAL FORMACIÓN VEGETAL (ha)
Peine	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	64,5	687,4
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	0,8	3,4
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	3,9	8,9
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	34,5	85,3
		Vega con dominancia de <i>Schoenoplectus californicus</i>	7,9	23,0
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	285,0	1420,2
<i>Peine</i>			396,5	2.228,2
La Punta y La Brava	Azonal	Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	9,6	41,1
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	3,4	64,6
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	0,3	2,3
		Vega con dominancia de <i>Triglochin concinna</i>	2,3	13,6
		Vega de <i>Nitrophila atacamensis</i> y <i>Triglochin concinna</i>	1,1	3,3
<i>La Punta y La Brava</i>			16,7	124,9
Aguas de Quelana	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	139,7	637,3
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	48,4	335,2
		Matorral hídrico - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> , <i>Lycium humile</i> y <i>Distichlis spicata</i>	2,9	18,6
		Matorral hídrico con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	23,0	209,1
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	28,1	203,9
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	32,3	114,8
<i>Aguas de Quelana</i>			274,3	1.518,2
Soncor	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	2,7	7,8
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	3,1	16,9
<i>Soncor</i>			5,8	24,8
Tilopozo	Azonal	Matorral - Vega de <i>Tessaria absinthioides</i> y <i>Distichlis spicata</i>	134,3	806,8
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Lycium humile</i>	27,1	80,7
		Matorral hídrico - Vega con dominancia de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	4,9	18,2
		Vega con dominancia de <i>Distichlis spicata</i>	136,3	596,3
		Vega con dominancia de <i>Juncus balticus</i>	37,7	241,6
		Vega con dominancia de <i>Schoenoplectus californicus</i>	31,1	72,7
		Vega con dominancia de <i>Triglochin concinna</i>	2,3	24,5

SECTOR	TIPO VEGETACIÓN	FORMACIÓN VEGETAL (DOMINANCIA)	SUPERFICIE VEGETACIÓN ACTIVA (ha)	SUPERFICIE TOTAL FORMACIÓN VEGETAL (ha)
	Zonal	Matorral con dominancia de <i>Tessaria absinthioides</i>	7,9	91,8
		<i>Tilopozo</i>	381,6	1.932,7
			1.075	5.829

Formaciones de seguimiento según el Plan de manejo Biológico, corresponde a las formaciones : Vega de *Distichlis spicata*, Vega de *Juncus balticus*, Vega de *Schoenoplectus californicus*, Vega de *Triglochin concinna*, Matorral de *Tessaria absinthioides* y Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa*.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al resumen de registros máximos y mínimos propuestos para monitoreo de vegetación, mediante herramientas de teledetección (comprometido en Tabla 5.3 del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015 - Apéndice B), en la **Tabla N° 12-6 se presentan las superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas (herbazal) de *Schoenoplectus californicus***, y su comparación respecto de los datos históricos y de línea de base.

Cabe recordar que se incorpora este análisis en particular para la formación vegetal de *Schoenoplectus californicus*, con el objeto de realizar un seguimiento con mayor detenimiento en la evolución de esta formación vegetal, especialmente en el sector de Peine, dado que es el sector donde mayormente se ha observado a lo largo de los monitoreos, una disminución en la superficie de cobertura activa de esta formación. De acuerdo a las observaciones realizadas a la formación vegetal, se puede señalar que estos descensos están asociados a procesos de alteración sostenida de su estructura, por manejo tradicional de la vegetación a través de quemadas controladas que realizan las comunidades atacameñas para obtención de forraje para sus animales. Este proceso fue observado en los monitoreos de 2018 y 2019, tal como fue documentado en el Informe Anual N°3 del PMB para el período Invierno 2018 – Verano 2019 de monitoreos, para la componente vegetación. Se ha observado no obstante una regeneración y recuperación de la cobertura vegetal en este sector.

De acuerdo con lo anterior, respecto a la formación vegetal de *Schoenoplectus californicus*, para el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo, ésta supera la superficie mínima en los cuatro años de monitoreo, encontrándose dentro del rango de los registros históricos. En tanto, el sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico en los cuatro periodos y en orden decreciente desde el 2017 al 2019, con un leve aumento en 2020.

Tabla N° 12-6. Superficies de vegetación activa (NDVI) en formaciones vegetales de vegas de *Schoenoplectus californicus*, en relación a los registros históricos de alta resolución.

SECTOR	VERANO 2017		VERANO 2018		VERANO 2019		VERANO 2020		REGISTROS HISTÓRICOS*	
	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Formación vegetal	Superficie vegetación activa (ha)	Superficie mínima (ha)	Superficie máxima (ha)
Peine	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	20,3	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	7,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	3,2	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	3,1	22,6	23
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	4,5	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	3,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	4,8		
Total Peine		20,3	11,9		6,6		7,9			
Tilopozo - La Punta y La Brava	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	28	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	7,9	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	8	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i>	9,1	26	59,2
	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> y <i>Baccharis juncea</i>	5,1	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	30,2	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i>	9,4	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i>	12,3		
			Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>		Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	9,8	Vega de <i>Schoenoplectus californicus</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Distichlis spicata</i>	9,6		
Total Tilopozo - La Punta y La Brava		33,1	38,1		27,2		31,0			

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

Fuente: Elaboración propia

12.2 En relación con Área de Lagunas

12.2.1 Comparación de monitoreos con registros históricos de línea de base

El análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua determinadas para el cuarto año de monitoreo 2019 con respecto a los registros históricos se presenta en la **Tabla N°12-7**.

Tabla N°12-7. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2019 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies de registros históricos (Adenda5 RWL, 2015)			Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2019					
		Promedio (ha)	Máximo (ha)	Mínimo (ha)	Invierno 2019		Verano 2019		Promedio anual (2019)	
					ha	m ²	ha	m ²	ha	m ²
Superficies Pleiades 1A de alta resolución	PB	33,8	35,0	31,6	52,8	528.462,2	62,7	627.220,4	57,8	577.841,3
	PE	64,8	73,6	48,9	86,7	866.637,3	101,7	1.016.803,5	94,2	941.720,4
Superficies Landsat 8 de media resolución	PB	33,8*	35,0*	31,6*	53,8	537.733,1	57,7	576.515,4	55,7	557.124,2
	PE	64,8*	73,6*	48,9*	85,1	851.020,7	107,8	1.078.117,4	96,5	964.569,0

Dónde: PB: La Punta y La Brava, PE: Peine. *Los resultados desde media resolución (de licencia libre) se comparan con los registros históricos de alta resolución para determinar la relación entre ambas resoluciones espaciales. Fuente: Elaboración Propia

A partir de los valores de las superficies estimadas para invierno 2019 y verano 2019, se observa que ambas están por sobre los mínimos históricos en los dos sistemas lagunares. En el caso de La Punta y La Brava, las superficies estimadas en invierno 2019 desde imágenes de alta resolución están 21,2 ha (+67,2%) sobre el mínimo histórico, y las superficies estimadas desde imágenes de mediana resolución presentan 22,2 ha (+70,3%) sobre el mínimo histórico. Para verano 2019, en el mismo sector, las diferencias con el mínimo histórico alcanzan 31,1 ha (+98,5%) en Pleiades 1A, y 26,1 ha (+82,4%) de superficies estimadas con mediana resolución.

En el sector Peine, las superficies estimadas con imágenes Pleiades 1A para invierno 2019, también presentan valores superiores a los registros históricos, siendo estas las mayores diferencias dentro de periodo 2019. Las superficies lagunar para invierno 2019, en Pleiades 1A, está 52,8 ha (+107%) sobre los registros históricos, y 58,9 ha (+120,5%) en Landsat 8.

Las diferencias señaladas respecto a la situación de línea base, se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan: i) variabilidad estacional intranual, ii) variabilidad estacional interanual, dado que ambas condiciones tienen directa relación con la recarga del acuífero en cada periodo; iii) robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes, que

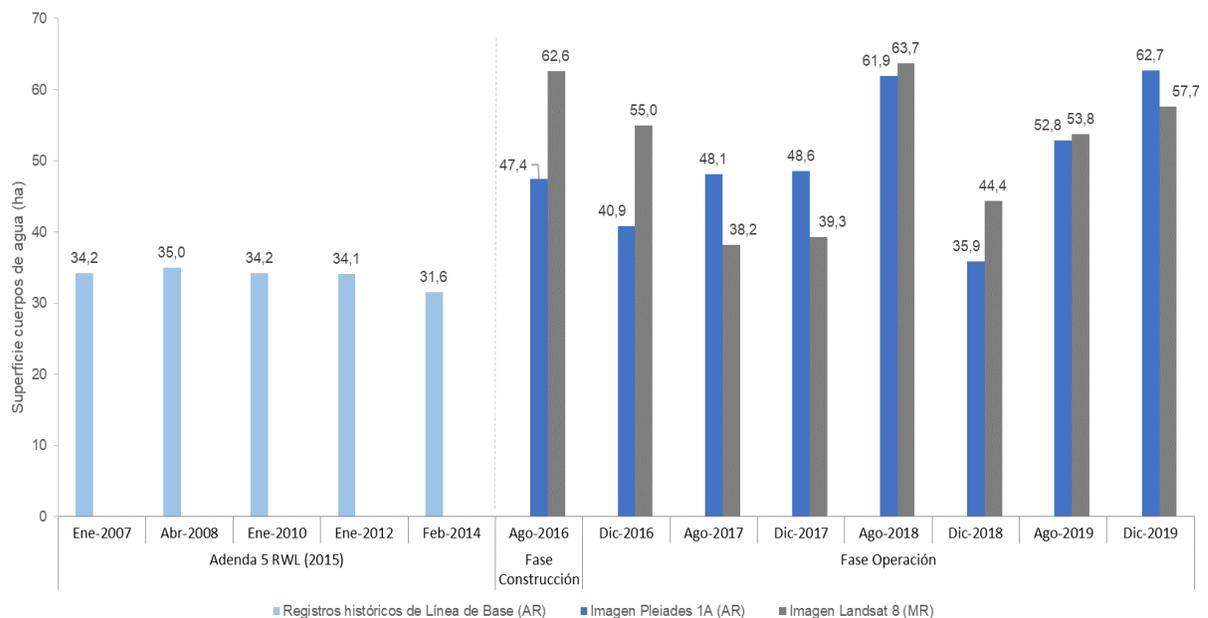
favorece la mayor definición de las respuestas espectrales de las diferentes coberturas, y iv) validación en terreno con precisión centimétrica, cuya contribución corresponde a la depuración de los límites de los cuerpos de agua y la calibración del modelo de clasificación en función de lo observado en terreno.

12.2.1.1 La Punta y La Brava

a. Comparación con registros históricos de línea de base

En el sistema lagunar La Punta y La Brava, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en diciembre de 2019 es de 62,7 ha y en agosto 2019, abarca una superficie de 52,8 ha (**Tabla N°12-7**). La comparación con el registro mínimo histórico de línea de base (31,6 ha), estimado desde este mismo tipo de imágenes satelitales (Adenda 5 RWL, 2015), indica que la cobertura del área de lagunas de diciembre 2019 es mayor en +31,1 ha (98,5%), y la cobertura de agosto de 2019 es mayor en +21,2 ha (67,2%). La **Figura N°12-3** muestra la comparación de las superficies calculadas con los registros históricos en este sistema hasta la fecha, en que todas las áreas estimadas entre 2016 y 2019 se encuentran por sobre el mínimo de línea base.

Figura N°12-3. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).

Fuente: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

Las principales diferencias de superficie se observan en sectores de inundación estacionales hacia el Norte y Sur del subsector La Punta, y al Oeste y contorno del subsector La Brava, y se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan variabilidad estacional intranual y variabilidad estacional interanual, con un aumento de la superficie lagunar en los periodos de invierno. Este comportamiento, se atribuye también a la naturaleza del sector, donde no existe una delimitación marcada de los cuerpos de agua, cuerpos de agua muy someros, presencia de humedad y zonas de ecotono con gradiente de humedad y vegetación acuática, las cuales conducen a que la respuesta de los parámetros espectrales – principalmente el NDVI y el álgebra de bandas espectrales en Pleiades 1A – indiquen un recubrimiento de áreas denudadas o vegetación, no obstante la validación en terreno, respaldó y validó la existencia e inexistencia de lagunas.

b. Comparación entre imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8

En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 26,1 ha en diciembre de 2019 y de 22,2 ha en agosto de 2019. Estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat bajo Pleiades de un -8,1% (5,1 ha) para verano de 2019 y de un +1,8% (1,0 ha) para agosto de 2019. Este sector evidencia la menor variación entre imágenes en comparación al otro sector del área de estudio.

La **Figura N° 12-4** a la **Figura N°12-7**, muestran las diferencias temporales de los cuerpos de agua durante el cuarto año de monitoreo. En el caso de los inviernos, las variaciones desde alta resolución se presentan en el área noroeste y bordes de La Brava; en tanto desde media resolución, las variaciones se presentan en todos los bordes lagunares de manera homogénea. En los veranos, desde alta resolución las variaciones se presentan al Oeste de este sistema (La Brava), y desde media resolución se presenta mayormente en los bordes internos de la misma área (La Brava).

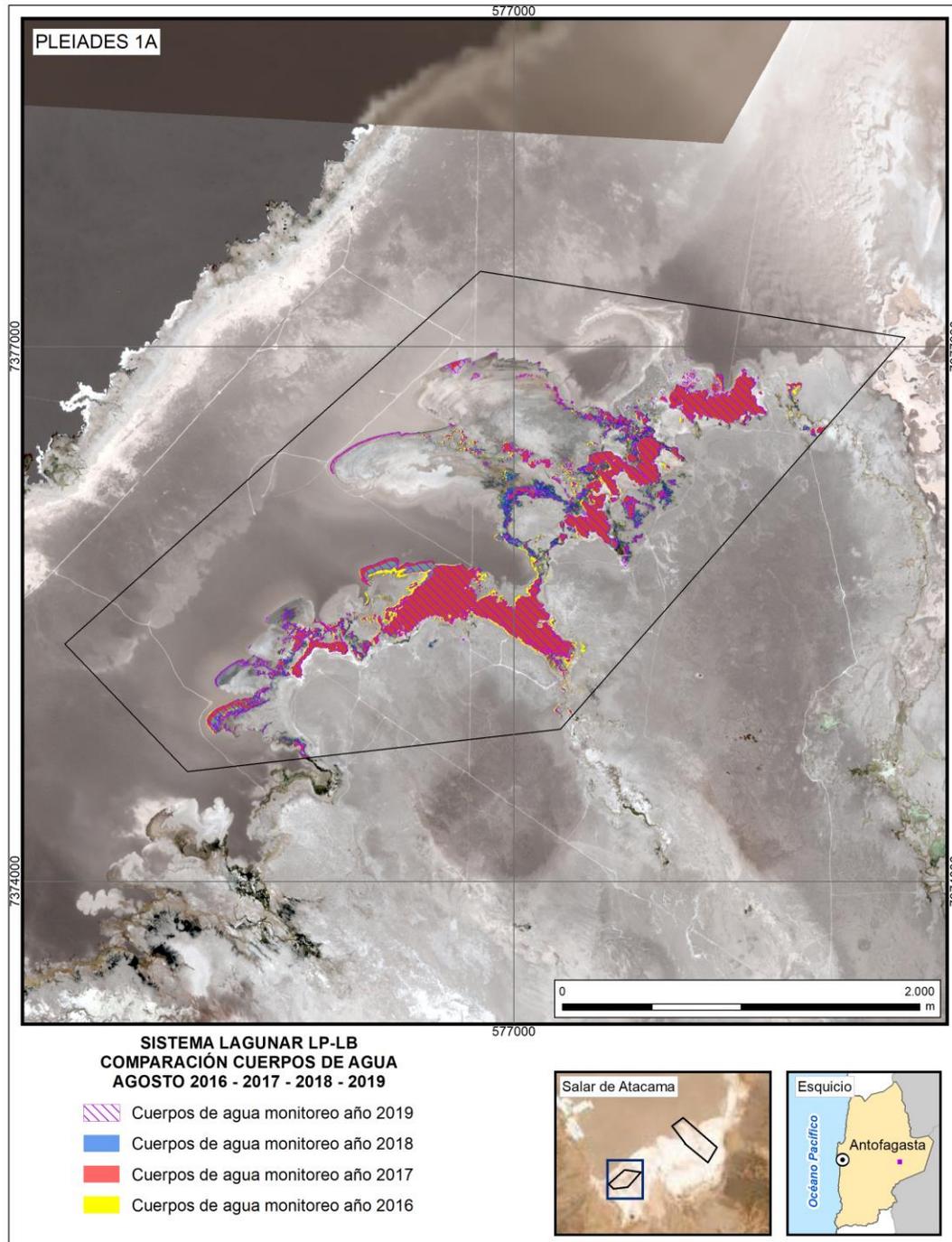
c. Comparación entre monitoreos 2016 al 2019

La **Figura N°12-3** muestra el comportamiento del área de lagunas a través del monitoreo, donde se observa notoriamente un aumento de los cuerpos de aguas observados desde 2016, principalmente en agosto de 2018, con una baja en el verano del mismo año (consecuencia de bajas precipitaciones y alta radiación); seguido de un aumento en los cuerpos de agua desde esa fecha hasta fines de 2019, también consecuencia de eventos meteorológicos (Invierno Boliviano 2019). En todos los casos las mayores variaciones rondan las 60 ha como superficies máximas observadas.

La **Figura N° 12-4** a la **Figura N°12-7** muestran las principales diferencias de superficie durante el monitoreo. Las diferencias más marcadas se presentan en los bordes lagunares, principalmente en el sector La Brava, con aparición y retroceso de cuerpos someros o de desborde; en tanto en los veranos se observan el retroceso de los bordes en la mayoría de los

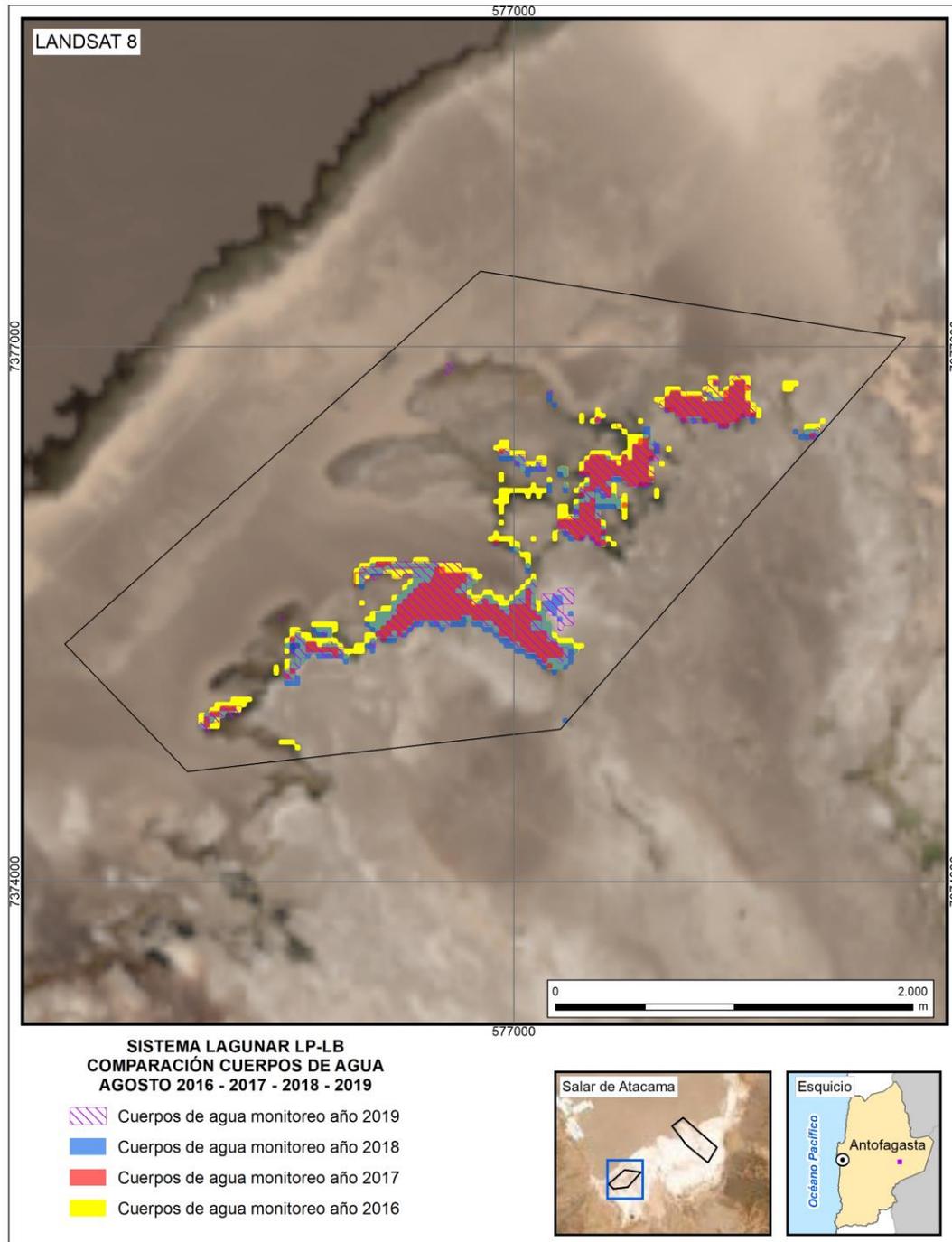
cuerpos lagunares, aunque en 2019 se mantuvo un superávit hídrico hasta la fecha de observación.

Figura N° 12-4. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.



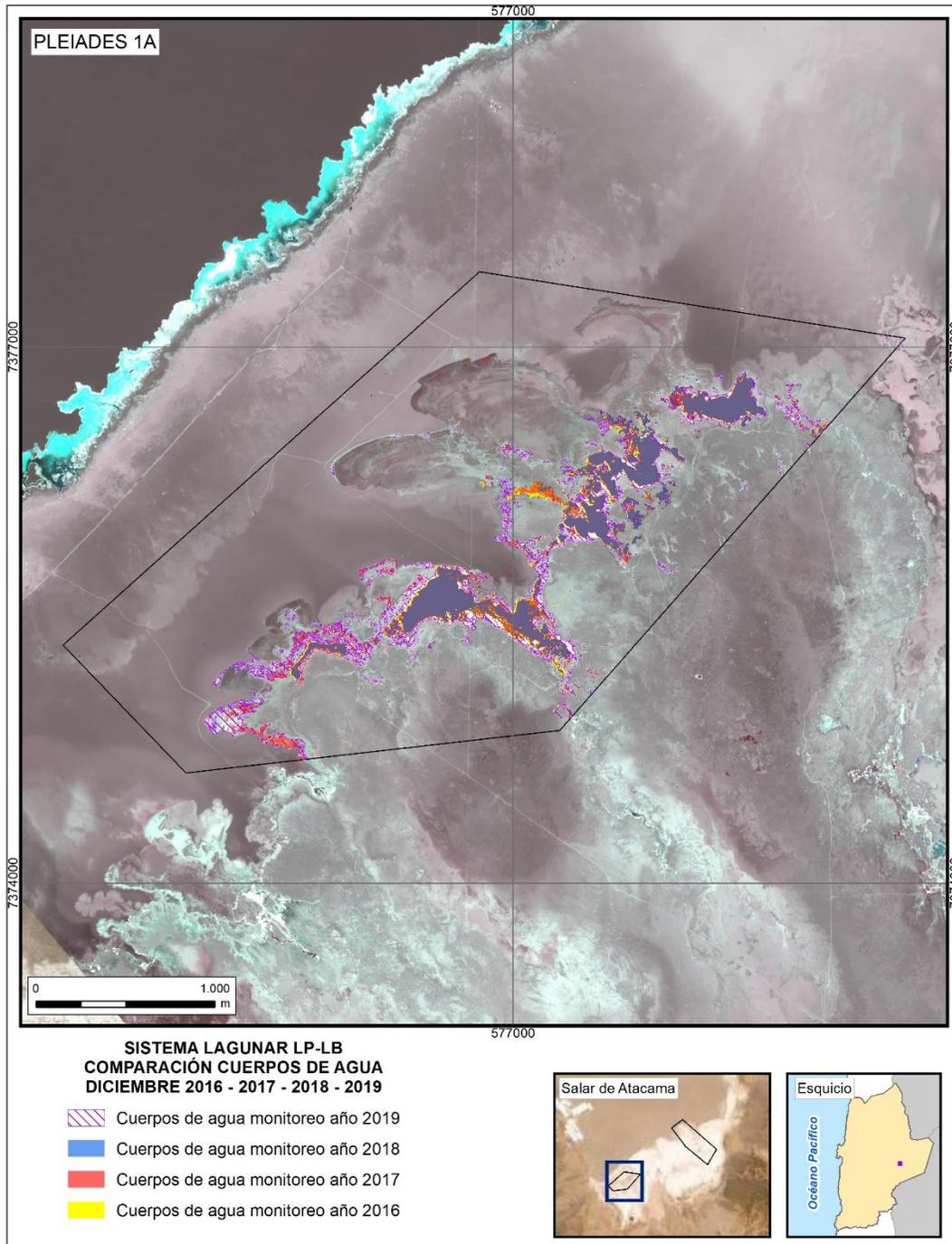
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2019

Figura N°12-5. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



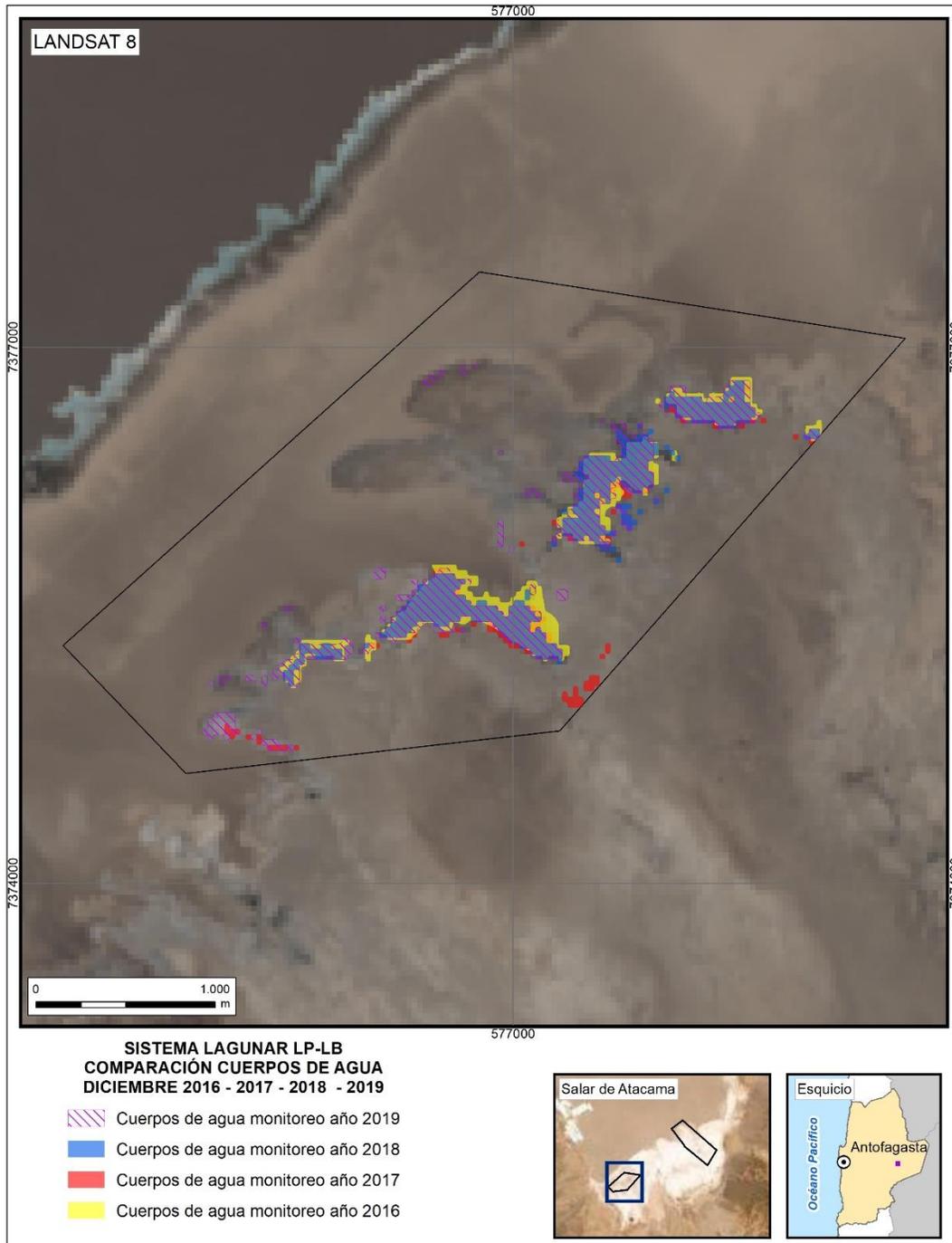
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2019

Figura N°12-6. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2019

Figura N°12-7. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



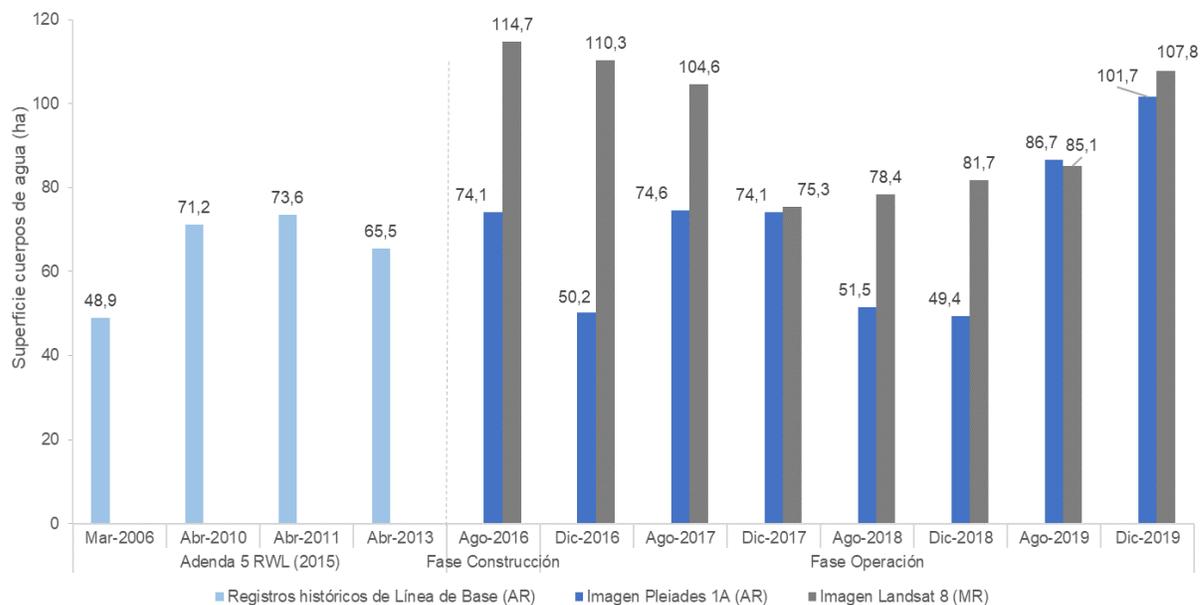
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2019

12.2.1.2 Peine

a. Comparación con registros históricos de línea de base

En el sistema lagunar Peine, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en diciembre 2019 abarca una superficie de 101,7 ha y en agosto de 2019 es de 86,7 ha (**Tabla N°12-7**). La comparación con el registro mínimo histórico de línea de base (48,9 ha), estimado desde este mismo tipo de imágenes satelitales (Adenda 5 RWL, 2015), indica que la cobertura de diciembre 2019 es mayor en +52,8 ha (107,9%) y la de agosto de 2019 es mayor en +37,8 ha (77,2%). La **Figura N°12-8** muestra la comparación de las superficies calculadas con los registros históricos en este sistema hasta la fecha, en que todas las áreas estimadas entre 2016 a 2019 se encuentran por sobre el mínimo de línea base.

Figura N°12-8. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.



Dónde: **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).

Fuente: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

b. Comparación entre imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8

En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 107,8 ha en diciembre de 2019 y en agosto de 2019 de 85,1 ha. Estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades de un +6,0% (6,1 ha) para verano de 2019 y de un -1,8% (-1,6 ha) para agosto de 2019. Este sector evidencia la mayor variación entre imágenes en verano de 2019 desde Pleiades 1A.

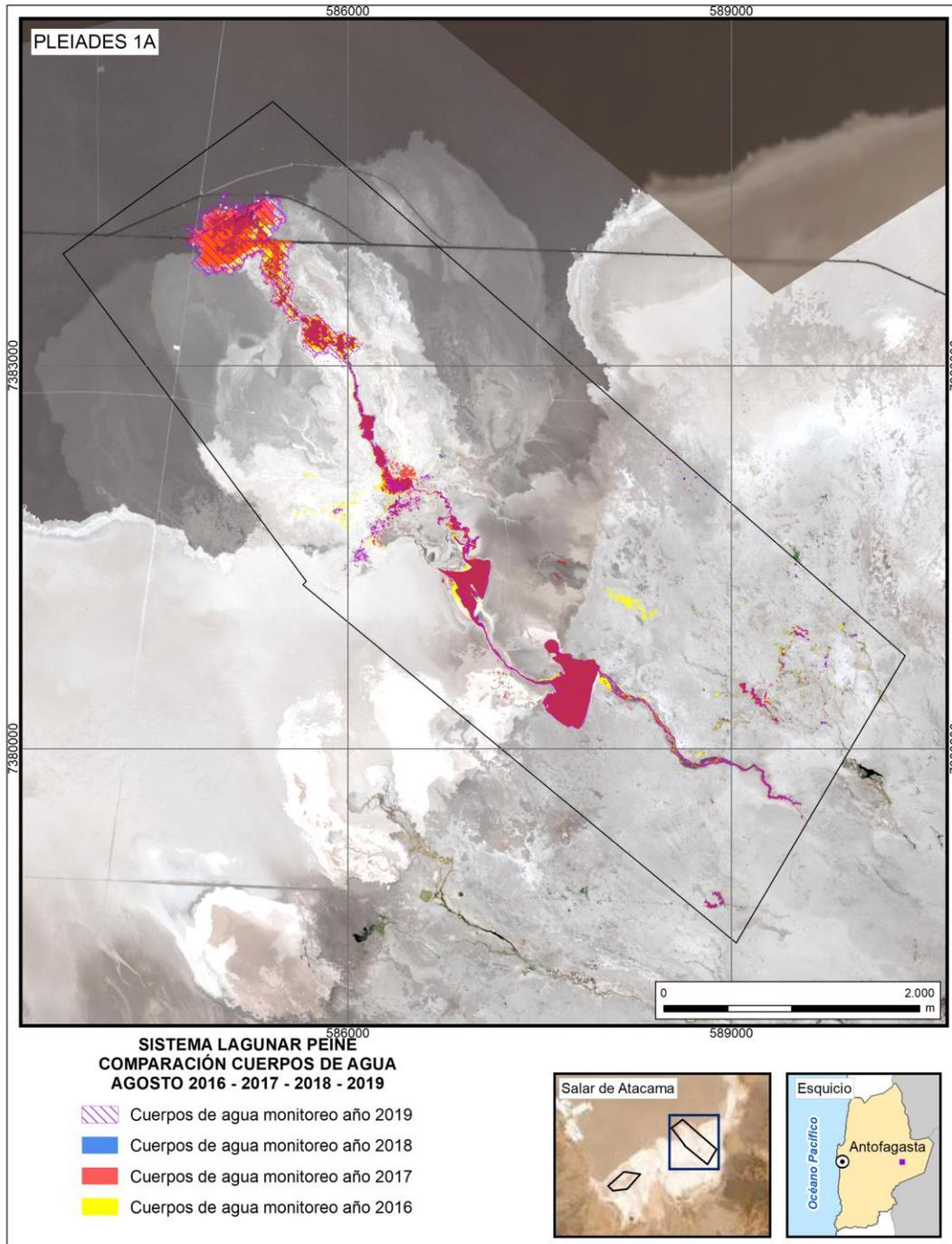
La **Figura N° 12-9** a la **Figura N°12-12** muestran las diferencias temporales principalmente de las áreas de lagunas no permanentes. En el caso de los inviernos, se repiten como en monitoreos anteriores las variaciones desde alta resolución se presentan en laguna Interna y áreas no permanentes de los canales de conexión entre laguna Saladita e Interna. en tanto desde media resolución, las variaciones se presentan en los bordes lagunares en general, donde las mayores diferencias se observan en el tramo entre Laguna Saladita e Interna. En los veranos, desde alta resolución las variaciones se presentan en los canales y áreas no permanentes entre las lagunas Saladita e Interna, y desde media resolución se presenta principalmente en laguna Interna y una sección al Sur de esta misma laguna.

c. Comparación entre monitoreos 2016 al 2019

La **Figura N°12-8** muestra el comportamiento del área de lagunas a través del monitoreo donde se observa principalmente un aumento de la superficie de cuerpos de agua en invierno y una disminución de éstas en verano, destacando además que las superficies calculadas se han mantenido sobre el mínimo histórico (48,9 ha). Se destaca que la mayor diferencia entre valores de superficies entre invierno y verano se dio el primer año de monitoreo (23,9 ha), cuando se registró la mayor cobertura de agua de laguna Interna del monitoreo, y la menor diferencia intranual se observa el segundo año (0,5 ha), seguido por el tercer año (2,1 ha), lo que se relaciona directamente con la menor cobertura de Laguna Interna en esas temporadas. Sin embargo, durante el cuarto año de monitoreo se aprecia que la variación interanual, a diferencia de años anteriores, muestra un aumento de las superficies lagunares en la estación de verano manteniendo como el sector más variable el de Laguna Interna.

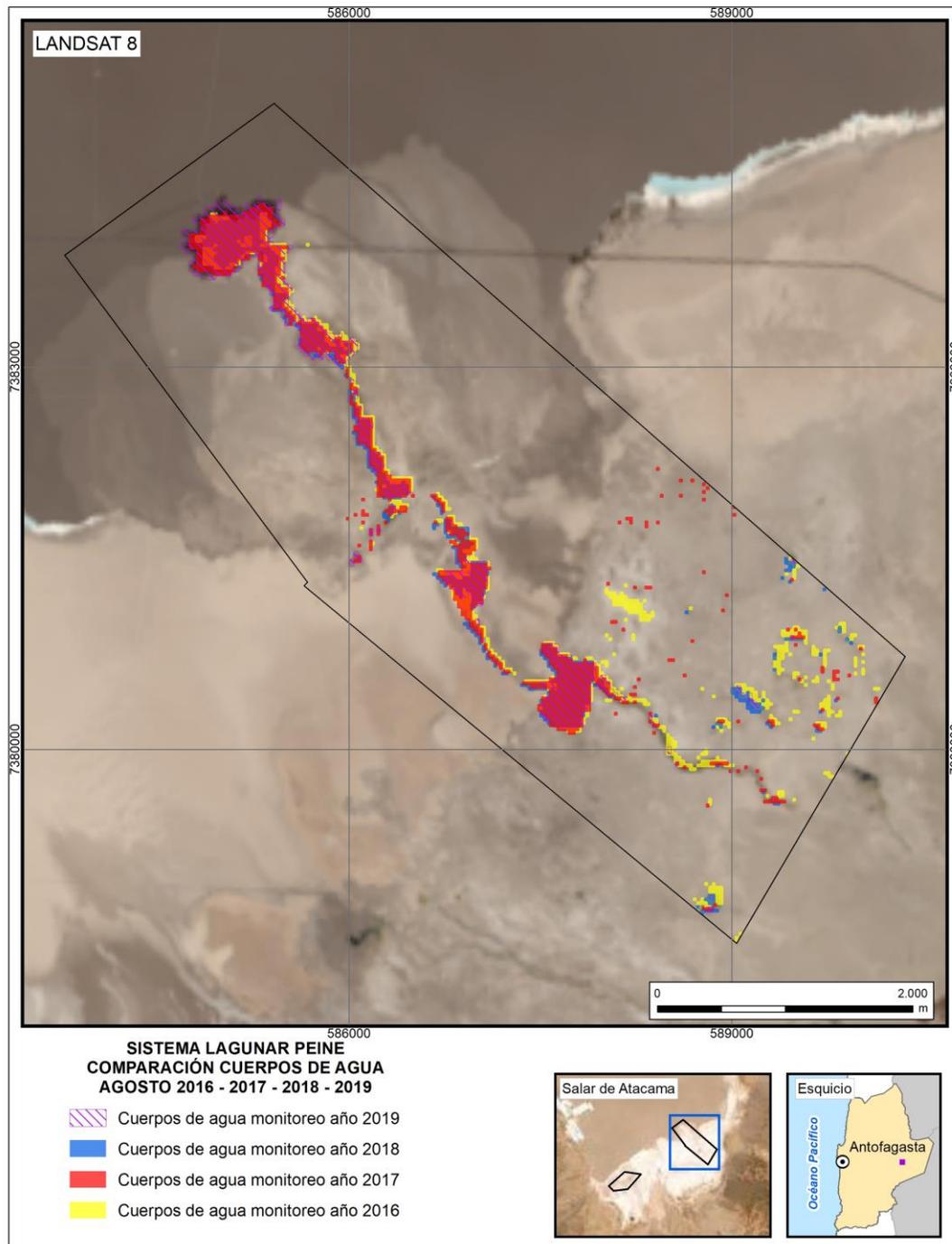
La **Figura N° 12-9** a la **Figura N°12-12** muestran que en los inviernos las principales diferencias de superficie durante el monitoreo se presentan en bordes lagunares y desde el Norte de Laguna Saladita hacia Laguna Interna, en tanto en los veranos se observan también en bordes lagunares, y desde el Norte de Laguna Saladita hacia Laguna Interna, aunque las mayores diferencias interanuales de Laguna Interna se presentan en los veranos.

Figura N° 12-9. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.



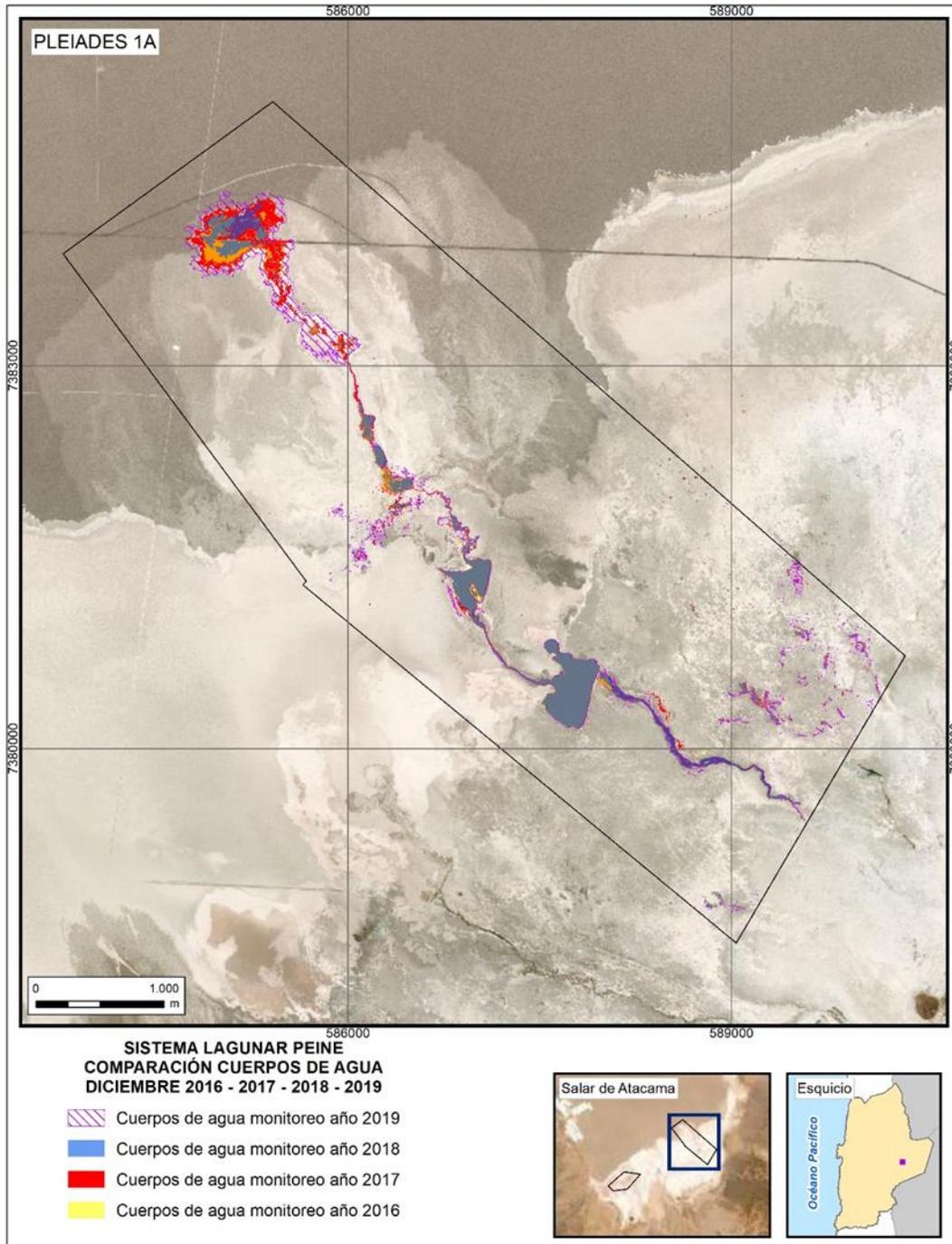
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2019.

Figura N°12-10. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 – 2017– 2018 – 2019, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



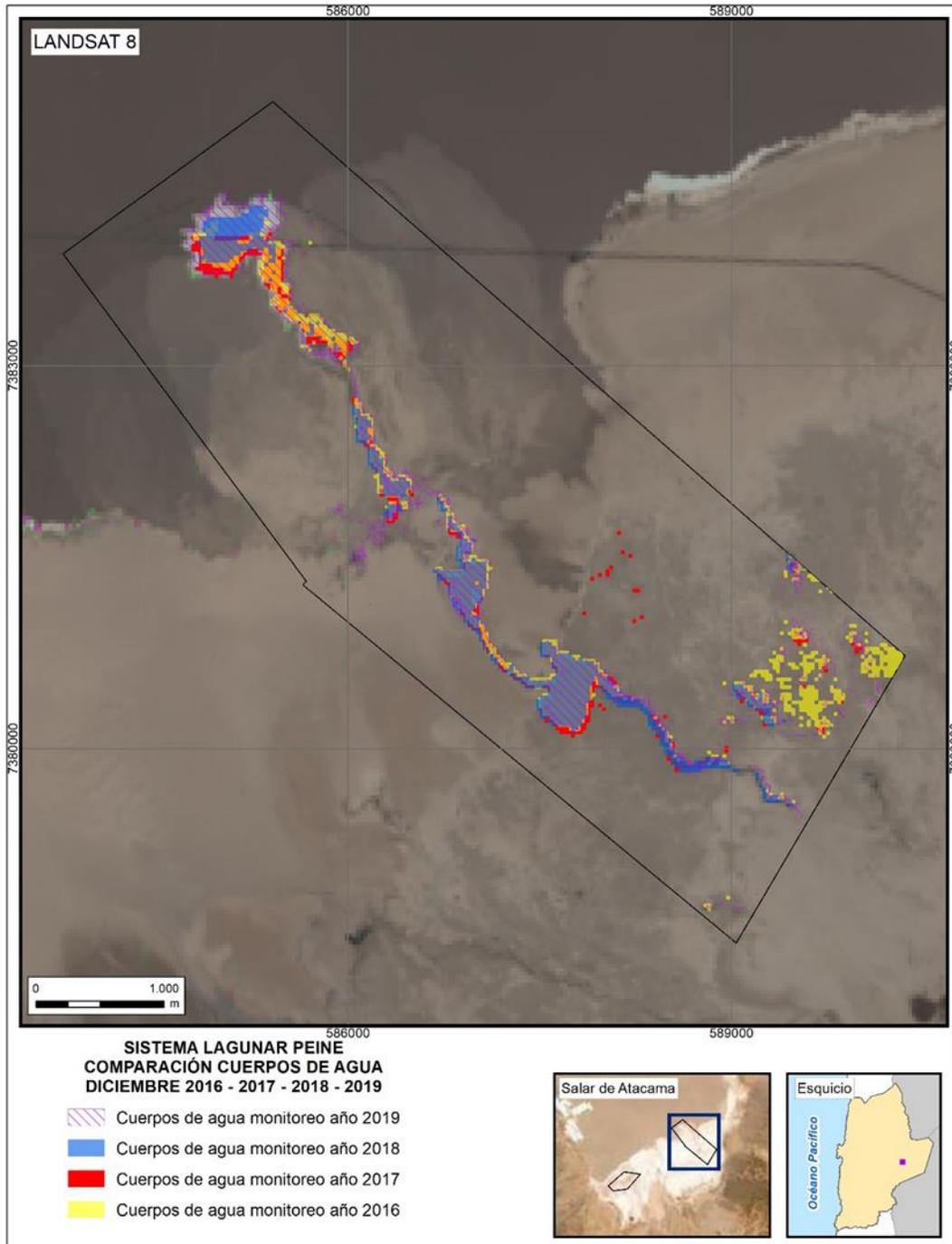
Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2019.

Figura N°12-11. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2019.

Figura N°12-12. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 – 2017 – 2018 – 2019, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Elaboración Propia en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2019.

12.3.1 Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

El mayor ajuste para diciembre de 2019 se presenta en el sector Peine desde imágenes Pleiades 1A y dentro del rango considerable desde Landsat 8. Las características geomorfológicas de este sistema y la poca variabilidad de borde de sus lagunas permanentes, y la contribución hídrica que mantuvo las características desde el monitoreo de invierno 2019, se tradujo en que el ajuste alcanzara un grado casi perfecto con la baja de efectos borde. Durante el 2019 el sistema mantuvo sus características hídricas (borde y profundidad) lo que contribuyó a una mejor caracterización del sistema.

De acuerdo al índice de precisión global (OA), para diciembre de 2019 los valores fluctúan entre 0,90 en La Punta y La Brava y 0,96 de Peine, para imágenes Pleiades 1A y para imágenes Landsat 8, el rango de valores es de 0,86 en La Punta y La Brava y 0,90 en Peine. Por otra parte, para agosto de 2019, se verifican valores entre 0,93 en Peine y 0,84 en La Punta y La Brava, para imágenes Pleiades 1-A, mientras que para las imágenes Landsat 8, el rango de valores es de 0,91 de Peine y 0,76 de La Punta y La Brava. Todos los valores antes indicados indican una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado y muestra consistencia con el índice *Kappa* (**Tabla N°10-8** a la **Tabla N°10-11**).

En general, el modelo de clasificación presenta un ajuste considerable para todos los sistemas lagunares (**Tabla N° 12-8**), con valores promedio del índice *Kappa* para el periodo 2016 – 2019 entre 0,86 (Peine) y 0,70 (La Punta y La Brava) desde imágenes de alta resolución; con un valor mínimo de 0,45 en la Punta y La Brava para agosto del 2016 y un valor máximo de 0,91 para Peine en diciembre de 2019.

Respecto de Landsat 8, los valores promedio del índice *Kappa* observados en el periodo 2016 – 2019 corresponden a un 0,76 (Peine) y 0,58 (La Punta y La Brava), presentando un valor mínimo de 0,47 en la Punta y La Brava para agosto del 2016 y un valor máximo de 0,84 para el mismo sector en diciembre de 2019. Se observa además que los mayores ajustes se presentan en los valores *Kappa* de invierno y verano en el sector de Peine (**Tabla N° 12-8**).

De lo anterior, se puede concluir que los mayores ajustes corresponden a los sectores que muestran una mayor definición de los cuerpos de agua en el periodo de verano, por sus características de topografía, es decir que los cuerpos de agua se encuentren total o parcialmente delimitados por una diferencia de nivel de costra salina, tipo de sustrato y persistencia del cuerpo de agua dentro del estrato permanente del sistema; por lo tanto, en este periodo las respuestas espectrales son más claras, facilitando la determinación de umbrales de los parámetros del modelo y la clasificación final. Así mismo, los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes lagunares, conformando un ecotono de vegetación, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua

proveniente principalmente de los parámetros NDVI y NIR, lo que ocurre especialmente en invierno, periodo en que la humedad del suelo alcanza mayores superficies mediante surgencia, mayoritariamente evidentes en sectores de cuerpos de agua no permanentes, influyendo en los parámetros descritos.

Tabla N° 12-8. Consolidado de índices *Kappa* de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8.

Tipo de imagen	Fecha monitoreo	Indicadores de monitoreo	Sistema Lagunar	
			La Punta y La Brava	Peine
PLEIADES 1A - AR	Agosto 2016	Superficie (ha)	47,4	74,1
		Índice Kappa	0,45	0,89
	Diciembre 2016	Superficie (ha)	40,9	50,2
		Índice Kappa	0,82	0,91
	Agosto 2017	Superficie (ha)	48,1	74,6
		Índice Kappa	0,50	0,86
	Diciembre 2017	Superficie (ha)	48,6	74,1
		Índice Kappa	0,73	0,83
	Agosto 2018	Superficie (ha)	61,9	51,5
		Índice Kappa	0,78	0,88
	Diciembre 2018	Superficie (ha)	35,9	49,4
		Índice Kappa	0,83	0,80
	Agosto 2019	Superficie (ha)	52,8	86,7
		Índice Kappa	0,66	0,83
Diciembre 2019	Superficie (ha)	62,7	101,7	
	Índice Kappa	0,79	0,91	
Promedio Kappa			0,68	0,86
LANDSAT 8 - MR	Agosto 2016	Superficie (ha)	62,6	114,7
		Índice Kappa	0,47	0,83
	Diciembre 2016	Superficie (ha)	55,0	110,3
		Índice Kappa	0,62	0,83
	Agosto 2017	Superficie (ha)	38,2	104,6
		Índice Kappa	0,50	0,74
	Diciembre 2017	Superficie (ha)	39,3	75,3
		Índice Kappa	0,54	0,59
	Agosto 2018	Superficie (ha)	63,7	78,4
		Índice Kappa	0,55	0,73
	Diciembre 2018	Superficie (ha)	44,4	81,7
		Índice Kappa	0,84	0,83
	Agosto 2019	Superficie (ha)	53,8	85,1
		Índice Kappa	0,54	0,79
Diciembre 2019	Superficie (ha)	57,7	107,8	
	Índice Kappa	0,59	0,76	
Promedio Kappa			0,58	0,76

Fuente: Elaboración Propia.

12.4 En relación con Nivel Freático de Lagunas

En las Figuras presentadas en el capítulo de resultados de esta variable, se observa gráficamente la variación temporal de niveles desde el año 2013 a la fecha (marzo 2020). De dichos resultados, y respecto de la evolución de niveles freáticos, se debe considerar que para ambos sistemas, a la fecha se tienen 2 años y 4 meses de línea de base, 3 años en total de mediciones históricas y 4 años de monitoreo o seguimiento (abril 2016 – marzo 2020).

12.4.1 Análisis comparativo invierno 2019 y verano 2020

Considerando las fluctuaciones que presentan los niveles freáticos en los pozos de ambos Sistemas, se puede observar para el presente año de monitoreo (abril 2019 a marzo 2020) que éstos presentan una variabilidad natural cíclica, con valores de cota de nivel generalmente más altos (agua mas somera) en invierno (junio a agosto) y más profundos en verano (diciembre a marzo). Esta variabilidad es muy marcada para los pozos de La Punta – La Brava, con ciclos anuales bien definidos. En cambio, para Peine, si bien se observa esta ciclicidad en BA-22 más que en BA-21, este último presenta una fuerte influencia de las precipitaciones. Esto puede observarse en eventos de precipitación tal como abril 2015, marzo 2017 y febrero 2019, lo que distorsiona el ciclo antes mencionado para BA-21. En el verano 2020, de los niveles registrados, no se observa gran influencia producto de precipitaciones (cayeron aproximadamente 6 mm de agua en este periodo).

Con respecto a las amplitud de las variaciones de niveles freáticos para este cuarto año en análisis, en La Punta-La Brava se presentan rangos de variabilidad o amplitudes de variabilidad desde 6,5 cm para BA-16 hasta 11,1 cm para BA-07, lo que implica una reducción de los rangos de variación con respecto al año anterior. Para los pozos de Lagunas Sector Peine, las amplitudes son de 3,5 cm para BA-22 y de 7,7 cm para BA-21, observándose también una disminución de los rangos de variabilidad con respecto al año anterior.

12.4.2 Análisis comparativo con valores históricos

En esta a sección se realizará un análisis de niveles freáticos por piezómetro y por sector, incorporando los valores promedios del último año de monitoreo.

12.4.2.1 Nivel freático en Sector La Punta-La Brava.

Para el **Sistema La Punta-La Brava**, los niveles registrados en el tiempo reflejan una variación estacional, con una amplitud observada para el sector de entre 6,5 y 11,1 cm, donde el pozo BA-07 es el que presenta las mayores amplitudes de variación. La **Tabla N° 12-9**, presenta los valores mínimos, para línea de base e históricos y el promedio en el período del último año de monitoreo.

Tabla N° 12-9. Valores²⁶ Mínimos y Promedio de la Serie Sector LP-LB

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abril 2013 – Agosto 2015)		Abril 2019-Mar 2020 (m s.n.m)
		Período Histórico (Abril 2013-Marzo 2016)		Promedio anual
		Mínimo LB	Mín. Histórico	
BA-05	LP-LB	2.300,148	2.300,131	2.300,166
BA-07	LP-LB	2.299,990	2.299,990	2.300,044
BA-16	LP-LB	2.300,845	2.300,836	2.300,848

Fuente: Elaboración propia

Los valores de línea base corresponden al periodo desde abril 2013 hasta agosto 2015, para BA-05, BA-07 y BA-16, de acuerdo a lo señalado en el Anexo 2 “Plan de Manejo Biótico” de la Adenda 5 del proyecto (Numeral 4.2.7.1 Anexo 2).

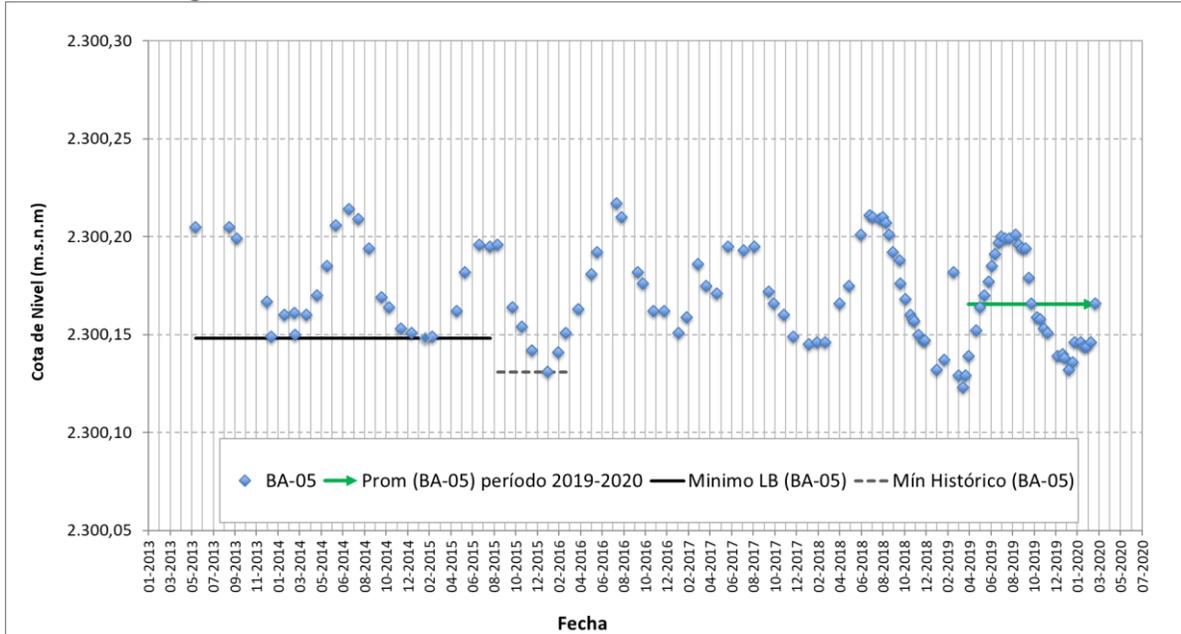
Es importante señalar que, el período “histórico”, es el período de línea de base junto con la continuación de la medición hasta que el proyecto comienza el período de monitoreo oficial de seguimiento. La mantención del monitoreo posterior al período de evaluación fue para entregar continuidad a los registros de niveles mensuales, y también para poder mostrar la variabilidad y cambios que se pudieran producir previo al inicio de la fase de construcción (abril 2016) y operación del proyecto (septiembre 2016). Tal como se observa de la **Tabla N° 12-9**, en el período previo a la entrada de construcción del proyecto, para los pozos BA-05 y BA-16 se registraron niveles menores a los de línea de base.

En las Figuras siguientes se presentan gráficamente los registros históricos a la fecha para los pozos del Sector La Punta-La Brava, junto con los estadígrafos antes indicados. Se muestran las gráficas por sector y además por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical.

Para el **pozo BA-05 (Figura N° 12-13)**, si bien se observa una variabilidad estable, los registros indican un mínimo histórico (previo al inicio del seguimiento) en enero del año 2016 (2.300,131 ms.n.m.), por debajo de la línea de base, indicado con línea discontinua (previo a la etapa de construcción y operación del proyecto). Posteriormente, en marzo 2019 se registraron niveles más bajos que el referido mínimo histórico, con valores de hasta 2.300,123 m s.n.m. En el último año (abril 2019 – marzo 2020), se tiene un promedio por encima tanto del mínimo de la Línea Base como del periodo histórico. El valor mínimo del año se registra en enero 2020, y llega a 2.300,132 m s.n.m., superior al mínimo histórico de enero de 2016 y a los niveles mínimos de verano 2019.

²⁶ Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°4 PMB.

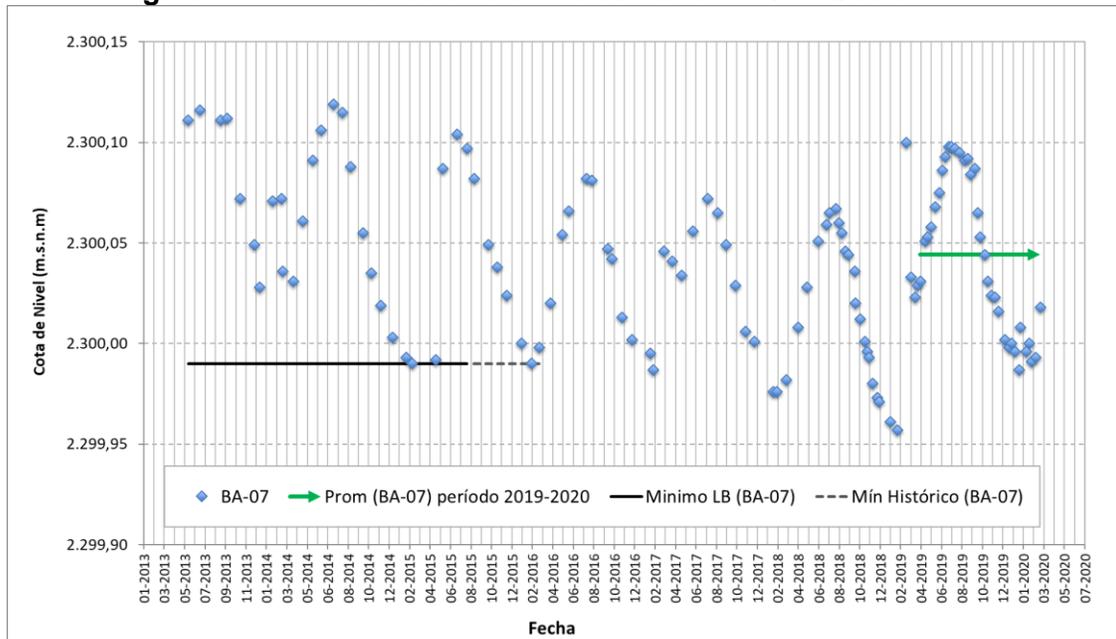
Figura N° 12-13: Variación de niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB



Fuente: Elaboración propia

Para el **pozo BA-07 (Figura N° 12-14)**, los registros de la serie mostraban, hasta el período anterior, una tendencia al descenso de sus valores (tanto de los valores máximos registrados en invierno como de los mínimos registrados en verano), desde mayo del 2013 hasta el verano de 2019, lo que también se vio representado en algunos valores menores al mínimo histórico, sobre todo agrupados entre noviembre 2018 y enero 2019. Sin embargo, luego del peak registrado en febrero de 2019 se rompe la tendencia a la baja vista para los años anteriores y se observan en general niveles más elevados en el pozo. Cabe señalar de todas formas que se registraron en el verano 2020 niveles cercanos al mínimo histórico/Línea Base (2.299,99 m s.n.m., medido en marzo 2015 y febrero 2016), en particular en enero 2020, cuando se registra una profundidad de 2.299,987 m s.n.m.. Sin embargo, el promedio anual está muy por encima del mínimo histórico/Línea Base y los niveles mínimos del periodo estival 2020, son superiores a los de 2018 y 2019.

Figura N° 12-14: Variación de niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB

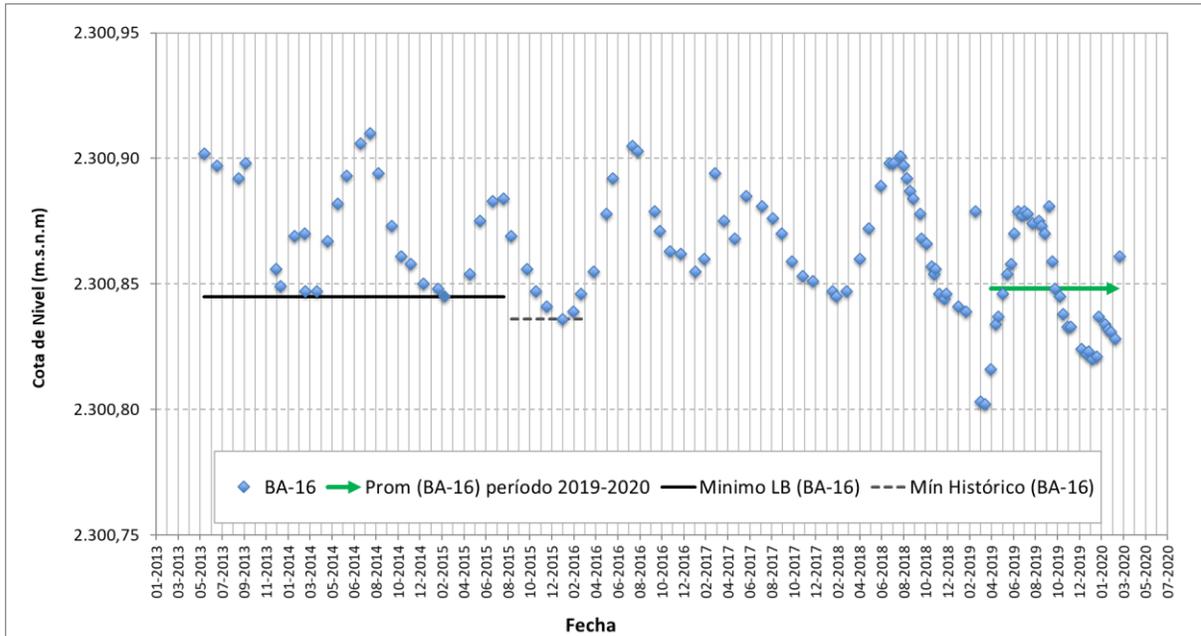


Fuente: Elaboración propia

El **pozo BA-16 (Figura N° 12-15)**, presenta una variabilidad y tendencia muy similar a BA-05, con un valor histórico en enero del 2016 por debajo del valor de línea de base. Para el período en análisis, abril 2019 a marzo 2020, el pozo BA-16, comienza su ciclo en una condición más baja, sin embargo comienzan a subir sus niveles a medida que avanza el invierno, llegando a su máximo nivel en septiembre 2019, con un valor de 2300,881 m s.n.m. Luego, para el siguiente período (verano), los valores comienzan a descender, en donde los niveles mínimos (en su mayoría entre diciembre 2019 y enero 2020), si bien son valores bajos llegando en enero hasta una cota de 2300,821 m s.n.m., éstos se encuentran por sobre los valores de cota del año anterior, llegando a un peak en marzo 2020 de 2300,861 m s.n.m. Respecto a esto se debe señalar que dicho registro de marzo de 2020 es superior al de marzo 2015, 2016, 2018 y 2019.

Es importante mencionar que el promedio anual para BA-16 (2.300,848 m s.n.m.) es superior al valor de mínimo histórico y por encima también del de la Línea Base.

Figura N° 12-15: Variación de niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB



Fuente: Elaboración propia

Para el período de análisis, abril 2019 a marzo 2020, los niveles para el punto BA-05 se presentan dentro de la variación histórica, en tanto que para el punto BA-07 para el periodo analizado se rompe una tendencia a la baja que venía casi desde el inicio de las mediciones en el punto.

Por otro lado, para BA-16 se observa un quiebre en la tendencia que se venía observando en los niveles, provocando que baje la cota asociada al valor promedio del período (abril 2019 a marzo 2020). Sin embargo, cabe mencionar que el registro de marzo 2020 (último del periodo analizado) está por encima de los mínimos como del promedio anual, así como ya fue mencionado es superior al valor registrado en los meses de marzo 2015, 2016, 2018 y 2019, por lo que se proyectan valores aún mayores posterior a marzo 2020, considerando que es el comienzo del invierno del siguiente período.

12.4.2.2 Nivel freático en Sector Peine.

Para el **Sistema Lagunar Peine**, la situación observada para los pozos BA-21 y BA-22, escogidos como los representativos a monitorear, presentan diferencias de amplitud entre mínimos y máximos. Así, mientras en BA-21 el rango es de 7,7 cm, en el caso de BA-22 este corresponde a 3,5 cm, menos de la mitad del primero. En relación a lo anterior, cabe señalar también que en BA-21 los niveles no reflejan una ciclicidad exactamente anual, sino que los ciclos entre un valor alto y uno bajo, se presentan más extensos, cada dos años

aproximadamente (el periodo analizado termina justo a la mitad del último periodo), y presenta una alta sensibilidad frente a eventos de precipitación. Así, en abril 2015, marzo 2017 y febrero 2019, se observan los ascensos de nivel de aguas subterráneas, como respuesta directa a eventos de precipitaciones ocurridas en los periodos de invierno boliviano, lluvias que generalmente acontecen en febrero.

En la **Tabla N° 12-10** se presenta los valores mínimos, para línea de base e históricos, así como también el promedio en el periodo del último año de monitoreo.

Tabla N° 12-10. Valores²⁷ Mínimos y Promedio de la Serie - Sector Peine

Punto	Sector Sistema Lagunar	Período LB (m s.n.m) (Abr 2013 – Agosto/Sept 2015)		Abril 2019-Mar 2020 (m s.n.m)
		Mínimo LB	Mín. Histórico	Promedio
BA-21	Peine	2.300,072	2.300,072	2.300,117
BA-22	Peine	2.300,274	2.300,268	2.300,280

Fuente: Elaboración propia

Los valores de línea base corresponden al periodo que va de abril 2013 hasta septiembre 2015, de acuerdo a lo señalado en el Anexo 2 “Plan de Manejo Biótico” de la Adenda 5 del proyecto (Numeral 4.2.7.1 Anexo 2).

Es importante recordar que el período “histórico” corresponde al período de línea de base junto con la continuación de la medición hasta que el proyecto comienza el período de monitoreo oficial de seguimiento, abril del 2016. La mantención del monitoreo posterior al período de evaluación fue para entregar continuidad a los registros de niveles mensuales, y también para poder mostrar la variabilidad y cambios que se pudieran producir previo a la entrada de fase construcción (abril 2016) y operación del proyecto (septiembre 2016). Tal como se observa de la **Tabla N° 12-10**, en el período previo a la entrada de construcción del proyecto para el pozo BA-22 se registraron niveles menores a los de línea de base, situación que no se da en BA-21.

En las Figuras siguientes se presentan gráficamente los registros históricos a la fecha para los pozos del Sector Peine, junto con los estadígrafos antes indicados. Se muestran las gráficas por sector y además por pozo, de manera de lograr una mejor visualización a escala vertical.

Para el **pozo BA-21 (Figura N° 12-16)**, hasta enero 2019, si se consideran los valores mínimos de la serie, los registros indicaban una tendencia al descenso, y por el contrario, un ascenso de los valores máximos. Esta tendencia se revierte, a lo menos parcialmente (ya que, como se dijo, el presente análisis abarca un periodo que finaliza a la mitad de los 2 años de ciclicidad observados en los niveles en el pozo), con los registros del año analizado (2019-2020), en que puede observarse tanto un descenso del máximo como aumento del mínimo, angostando el rango de variación de los niveles. El pozo BA-21, a diferencia de los demás, presenta un comportamiento directo de respuesta después de las precipitaciones, lo que se ve reflejado

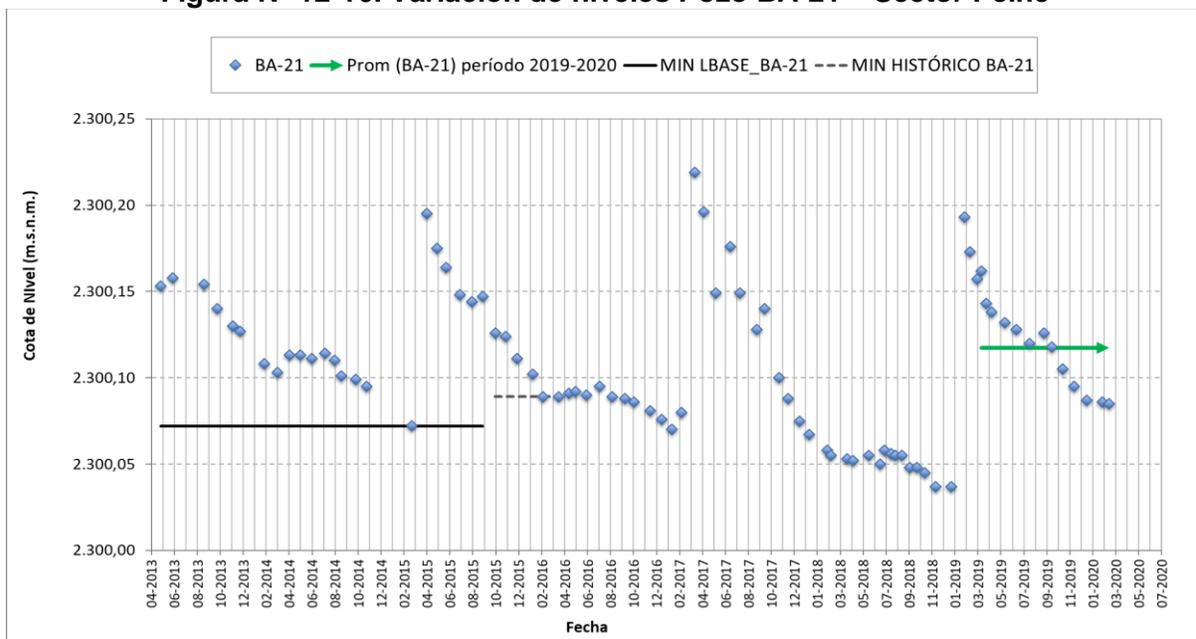
²⁷ Ver todos los datos y registros en Anexo Niveles Freáticos de este Informe Anual N°3 PMB,

cada año en que se han presentado lluvias de invierno boliviano, 2015, 2017 y 2019, con mayores niveles en los meses de febrero y marzo y menores en invierno.

En marzo de 2020, el mínimo llegó hasta 2.300,085 m s.n.m. siendo éste superior a los mínimos registrados en 2015, 2017 y 2019. En adición a lo anterior, el promedio de los niveles este último año se encuentra por sobre el mínimo histórico/Línea Base.

El punto BA-21, se ubica en la zona media de lagunas, por eso su comportamiento se aprecia diferente al de los otros barrenos (propiamente de lagunas). De hecho, su variación se ve más parecida a los puntos ubicados en el núcleo, los cuáles responden más rápidamente a las precipitaciones y elevan sus niveles para luego tener bajas progresivas en el tiempo.

Figura N° 12-16. Variación de niveles Pozo BA-21 – Sector Peine



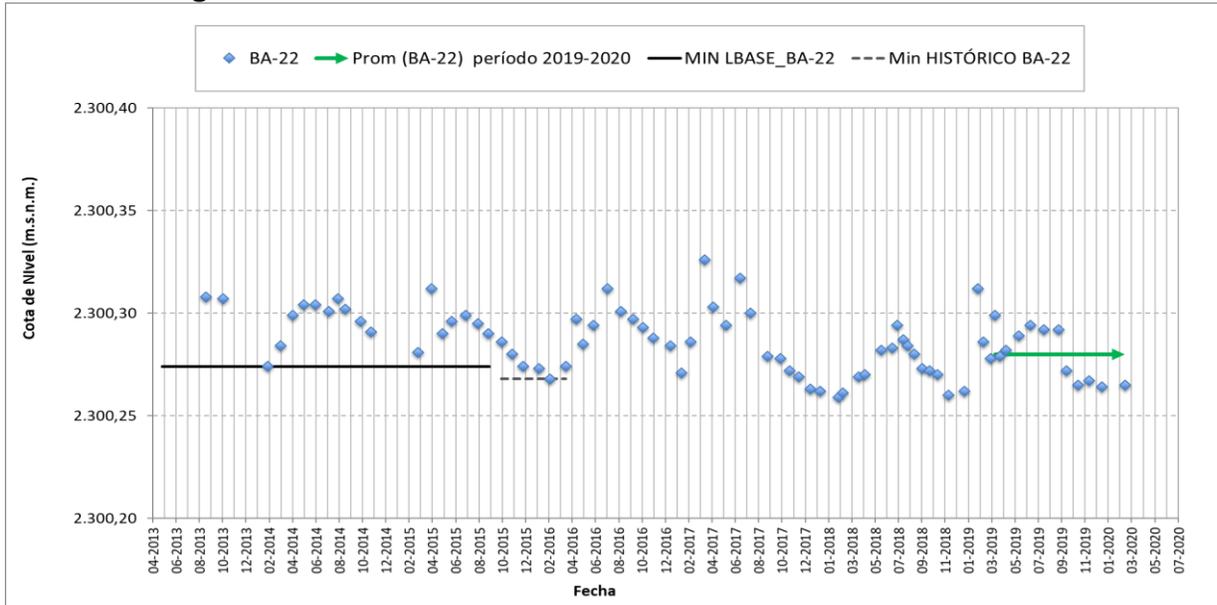
Fuente: Elaboración propia

Para el **pozo BA-22**, la serie presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus niveles, con comportamiento de aumento de los niveles en los meses de invierno (junio a agosto) y descensos en la temporada de verano (enero-febrero).

En diciembre 2018 y enero 2019, los datos mostraron niveles por debajo del valor de línea de base, y por debajo también del mínimo histórico. Luego, si bien los niveles hasta septiembre 2019 mostraban una recuperación y estabilización, en octubre se observa un descenso de 2 cm hasta 2.300,272 m s.n.m. Recordando que el mínimo histórico en el punto corresponde a 2.300,268 m s.n.m., se tiene que los niveles medidos entre noviembre 2019 y marzo 2020 están milimétricamente bajo el nivel histórico, con valores entre 2.300,264 y 2.300,267 m s.n.m. No obstante lo anterior, el nivel promedio anual se encuentra por encima del mínimo

Línea Base y también del mínimo histórico, a lo que se debe agregar que los niveles estivales mínimos de 2020, son superiores a los de los periodos 2017-2018 y 2018-2019.

Figura N° 12-17. Variación de niveles Pozo BA-22 – Sector Peine



12.5 En relación con el Estado Ecológico del Sistema

En el presente capítulo, y de acuerdo al numeral 4.2.7 “Criterios para detección de cambio de estado ecológico”, comprometido en el Anexo 2 de la Adenda 5, “Plan de Manejo Biótico” (PMB), se evaluarán las variables denominadas de “estado”, definidas a partir del Modelo Ecológico Funcional, con el fin de detectar cambios en el estado ecológico de los ecosistemas terrestres (azonales) y acuáticos.

Las variables seleccionadas presentan la propiedad de mantener funcionalmente la trama trófica presente en el área de estudio, y corresponden a:

- Vegetación azonal
- Superficies de las lagunas, y
- Niveles freáticos

En el capítulo indicado, se señala también su definición que: “*se establece como criterio de mantención del estado ecológico, que las variables de estado se mantengan dentro del registro de línea de base, esto es que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector*”, y al respecto, en este capítulo se realizará la evaluación de este punto incorporando además un análisis de tendencia este cuarto año de monitoreo.

Por otra parte, en el mismo Anexo 2 se indica que la evaluación de la condición de cambio se realizará por Sector de manera independiente: “Peine”, “La Punta-La Brava y Tilopozo”, mediante análisis de tendencia. Los cambios de estado ecológico serán comparados tomando la evolución de las variables de estado en el tiempo versus su comportamiento previo (línea de base y registro histórico).

En relación a lo requerido, para el análisis de la **vegetación azonal**, se utilizan **dos indicadores** (1) Transectos de Vegetación y (2) Coberturas de Vegetación activa:

(1) Transectos de Vegetación: Análisis de tendencias de las coberturas de transectas de flora y vegetación:

Se entenderá como un cambio de tendencia lo siguiente: “*si después de 3 años consecutivos (periodos) se observa una disminución sostenida de la cobertura de especies, aumento de sustrato salino (medición obtenida en el monitoreo de suelo) o cambios en la estructura comunitaria (composición de especies)*”. Este seguimiento se analiza a través del método de intercepto de puntos, basado en el método “point quadrat” mediante transectas, el cual entrega una estimación de coberturas más precisas que el uso de grillas, con un error de medición del $\pm 5\%$, por lo cual deberá ser considerado para evaluar estadísticamente las tendencias, según criterios utilizados por el SAG para este tipo de análisis. El plan de seguimiento de la vegetación sigue los lineamientos definidos en la “Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT)” (Ahumada y Faúndez 2009).

Para el análisis de tendencia se realizan diversas pruebas, con la finalidad de evaluar el comportamiento de la vegetación azonal (formaciones de herbazales y matorrales monitoreadas) posterior a la puesta en marcha del proyecto. Los análisis se enmarcan en determinar si hay cambios en la **estructura comunitaria, variación de la cobertura vegetal y composición de especies**, además de corroborar si hay un aumento de **salinidad del suelo**.

Sin embargo, como ya fuera señalado al comienzo de este documento, bajo las actuales condiciones sanitarias, no fue posible la realización de la campaña para transectos verano 2020 (ver explicación en **Capítulo Introducción**), por lo que para la realización de los análisis descritos de esta variable, se utilizan los datos obtenidos hasta la temporada invierno 2019.

(2) Coberturas de Vegetación Activa: análisis multitemporal de las superficies de vegetación activa, en las formaciones azonales sujetas a seguimiento:

Para el seguimiento de la distribución y cobertura de la vegetación azonal, se utilizan las *coberturas de vegetación activa* establecidas mediante **el uso de imágenes satelitales de alta resolución espacial** (Pleiades 1A – mosaico sur y WorldView-2 – mosaico norte). Además, para el análisis del estado ecológico (Anexo 2, Adenda 5 Proyecto), quedó establecido que se entenderá un **cambio de tendencia** si después de 3 años consecutivos, se observa una disminución sostenida de la cobertura, fuera de rango de los valores registrados históricamente por sector.

La cobertura de vegetación activa, como variable de seguimiento, se calcula a partir del **Índice de Vegetación Normalizado** (NDVI por su sigla en inglés)²⁸, el cual se obtiene de imágenes satelitales de alta resolución espacial, durante la temporada de crecimiento de la vegetación (periodo posterior a las precipitaciones estivales; marzo – abril). Esto según lo establecido en el Apéndice B del Anexo 2 de la Adenda 5 del Proyecto.

En relación a lo requerido para **Superficie de Lagunas**, se utilizarán los registros de línea base y de monitoreo de las campañas de invierno y verano, para evaluar el análisis de tendencia de los 4 años de monitoreo. Se entenderá un cambio de tendencia “*sí después de 3 años consecutivos, se observa una disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)*”.

En relación a los **niveles freáticos**, se utilizan como datos de referencia los valores de línea base presentados en Anexo 2 de Adenda 5 (Figura 4.2-13 y Figura 4.2-14). Con los valores registrados y monitoreados en estos 4 años de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado para la variable: “*que los valores*

²⁸ **EI NDVI** entrega una descripción fisionómica de la vegetación con relación a la densidad y vigor de la vegetación a una resolución equivalente a la del tamaño del pixel de la imagen que se esté utilizando. Los valores del índice varían en un rango de entre -1 y 1, detectando la cobertura vegetal en los valores positivos. Mayor NDVI estima proporcionalmente mayor fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por los tejidos verdes y/o mayor biomasa, es decir mayor densidad y/o vigor de la vegetación.

medidos anualmente en promedio se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.”

12.5.1 Sistema La Punta – La Brava

12.5.1.1 Vegetación azonal

12.5.1.1.1 Vegetación y Flora (Transectas)

A continuación, se presenta la evaluación de la condición del estado ecológico del componente de vegetación y flora (considerando hasta la última campaña realizada para esta componente, invierno 2019), de acuerdo al seguimiento de transectas de vegetación en relación a las variaciones en su cobertura, en la estructura comunitaria o composición y del sustrato salino, en conjunto con los análisis de salinidad del componente suelo en los sectores de estudio, y el análisis sobre de la distribución y cobertura de la vegetación mediante el *proxy* NDVI.

a. Variación de la cobertura vegetal en sector y transectas

En la **Figura N° 12-18** se puede observar la cobertura promedio de la vegetación en los sectores de Tilopozo y La Punta y La Brava, junto a la evolución de las coberturas de rastrojos, la cobertura de otros recubrimientos y la riqueza en los seguimientos desde invierno 2016 -M1 a invierno 2019-M7, en referencia al **Monitoreo “0” realizado en Julio de 2016 (MB0)**.

En términos generales, de acuerdo a los resultados de los seguimientos de M1 a M7, se puede señalar para el sector de Tilopozo que presenta una leve variación de la cobertura vegetal entre monitoreos (**Figura N° 12-18**

Figura N° 12-18), principalmente desde MB0 a M5 con rango de promedios entre 33,8 y 39,9%. Luego, en M6 presenta una baja moderada a una cobertura promedio de 30,6%, presentando una recuperación en el promedio de cobertura vegetal en M7 con 35,7%. En La Punta y La Brava, se observan variaciones en la cobertura vegetal en un rango desde 39,1% (en MB0) a 26,4% (en M7), y en la última campaña (M7) un porcentaje mayor a lo reportado para M6 con 24,5%.

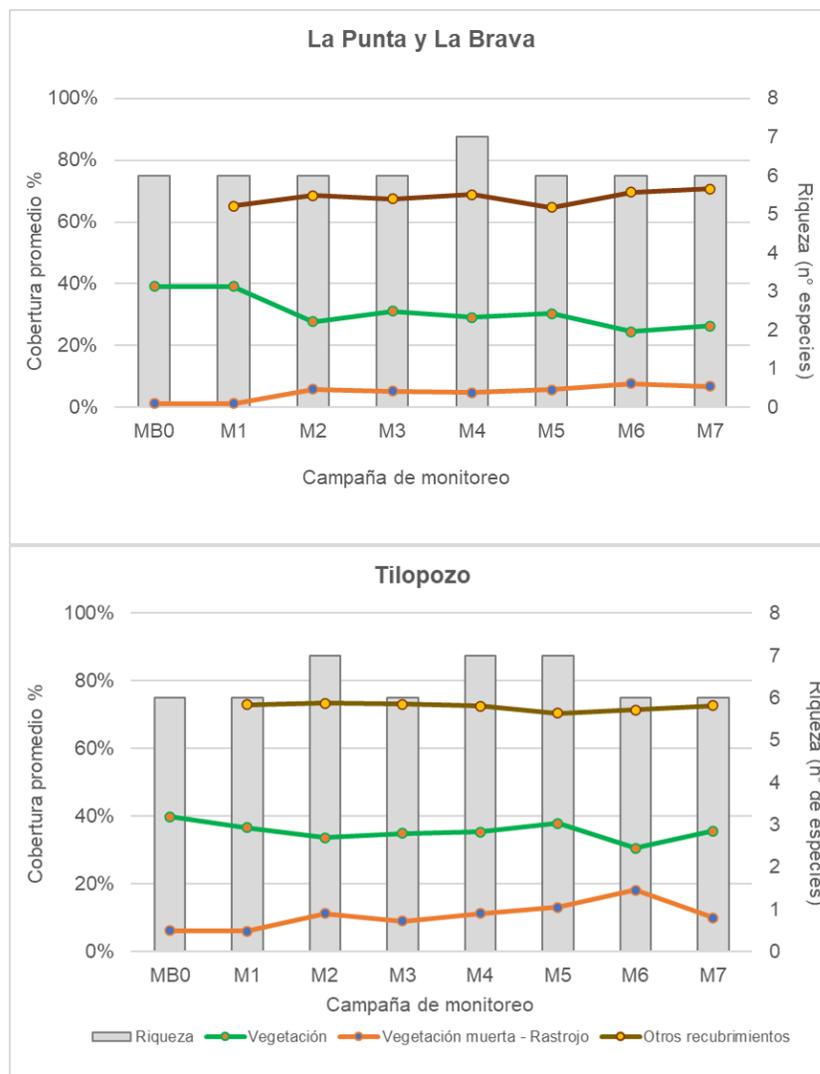
En relación a la cobertura de rastrojos para el sector Tilopozo, en general se presentan promedios mayores a los registrados en MB0 (6,2%), que van desde los 18,3% (M6) hasta 6,1% (M1) y se verifica una disminución en la vegetación muerta en M7 con respecto a M6. En el sector La Punta y La Brava, se observa en todos los monitoreos coberturas estables y mayores a lo registrado en MB0 y M1 (1,3%), con rango de valores desde 5,9% en M2 a 7,7% en M6, con M7 con un 6,8%.

En cuanto a la cobertura de otros recubrimientos, ambos sectores presentan variaciones mínimas entre monitoreos, por lo que su cobertura de otros recubrimientos se observa estable hasta M7; los promedios fluctúan entre 72,6% a 73,4% en el sector Tilopozo y 68,5% a 70,7% en el sector La Punta y La Brava. En Tilopozo se observa mayor variedad de tipos de

recubrimientos, destacando la superficie terrosa, no registrada en La Punta y La Brava, y en este último la cobertura de agua superficial.

Con respecto a la riqueza, se observa una estabilidad entre los monitoreos desde MB0 a M7, con variación máxima de un individuo. En el caso de Tilopozo, los mayores registros (siete especies) se observan principalmente en los monitoreos de post - lluvia en verano (2017-M2 y 2018-M4) y en M5. En La Punta y La Brava, el máximo registro de siete especies se observó en M4, el resto de los monitoreos registra seis especies en ambos sectores.

Figura N° 12-18. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo.



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019 y M7 monitoreo invierno 2019.

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura N° 12-19 y Anexo Vegetación y Flora**, se aprecian las coberturas absolutas de las transectas en los sectores Tilopozo y La Punta y La Brava, ordenadas por formación vegetal. Con respecto a la variación de la cobertura en las transectas en los seguimientos M1 a M7 (2016- Inv2019), en general se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, sin mostrar una tendencia clara desde MB0 a M7.

Para el sector Tilopozo se observa que las coberturas absolutas por transecta se encuentran dentro de la variabilidad interanual, y en general, con un leve aumento de los valores en el año 4 (inv 2019 - M7) con un promedio por sector que se mantiene dentro del rango de la condición base MB0. Se destaca el aumento promedio (del año 4 (inv - M7) en relación con el año 3 (M5 - M6)), de los herbazales de *S. californicus* (T19 – T29), y los matorrales de *D. spicata* (T20 – T28). Para el sector La Punta y La Brava, se observa una recuperación en el año 4 (M7) de su herbazal de *J. balticus*, en relación al promedio del año 3 (M5-M6); por el contrario se presenta un descenso en la cobertura del herbazal de *T.concinna* (T10 – La Punta).

El herbazal de *S. californicus*, en Tilopozo, es la que presenta la mayor cobertura vegetal del sector. Si bien registra variaciones entre monitoreos, éstos siempre registran una cobertura absoluta por sobre el 100%, con promedios entre 159,2% y 123,4% entre ambas transectas. Por otro lado, en T19 se observa que en M2 (verano 2017) la cobertura es mayor que el registro del monitoreo base (MB0) y mayor a monitoreos anteriores. En la transecta T29, se observa desde M5 una recuperación que supera la cobertura absoluta de MB0, siendo en M4 (159,2%) la mayor cobertura registrada.

En el herbazal de *Juncus balticus*, se observa una mayor variación entre monitoreos, con alzas y descensos de las coberturas durante seguimientos M1 a M7. El sector La Punta y la Brava muestra un ascenso en M7 con respecto a los demás seguimientos con un 40,0% de la cobertura absoluta, siendo la mayor registrada para el sector en la formación descrita. Para Tilopozo, el seguimiento M7 muestra alzas en las coberturas, en todas las transectas, con respecto a M6; manteniendo no obstante sus valores por debajo de la condición base MB0.

El herbazal de *D. spicata* en Tilopozo, muestra igualmente una mayor variación de las coberturas entre monitoreos, con descenso en M2 para las transectas T20, T22, T26 y T27, aunque con una recuperación de la cobertura en monitoreos posteriores, igualando la cobertura de MB0 para T20 en M4 y superándola en M7 (38,0%); las coberturas de T22 también superan la condición base MB0 en M6. La transecta T27, se mantiene estable entre M3 y M6, con un aumento por sobre MB0 en M7; en T26 se aprecia un descenso marcado en M2, M5 y M6, con una recuperación de valores en M7. Por otro lado, las transectas T28 y T21 se observan más estables y con coberturas entre M1 y M7 mayores o muy cercanas a lo registrado en MB0.

En el herbazal de *T. concinna* en La Punta y La Brava, la transecta T11 se observa una disminución de su cobertura en M7, inferior a lo registrado en M1 a M6 y desde M5 con coberturas menores a la condición MB0. La transecta T10 que presenta un descenso de su cobertura con respecto a MB0, que a pesar de que se mantiene más estable entre M3 y M5

en el monitoreo de verano (M6) marca un descenso mayor (cobertura absoluta de 0,6%), con una leve recuperación en M7 (1,2%), lo que mantiene su condición por debajo de MB0.

Entre los matorrales, la formación de *S. fruticosa* con la transecta T12 en La Punta y La Brava presenta coberturas entre M1 y M7 menores que MB0, presentándose en M7 la menor de las coberturas registradas (21,0%).

Por último, los matorrales de *T. absinthioides* en Tilopozo se observan con una mayor variación, con alzas o disminuciones intermitentes de la cobertura. Para M7 se observan alzas en las coberturas en todas las transectas con esta formación, siendo en T24 la que presenta mayor magnitud con respecto al monitoreo anterior, que va desde 29,4% (M6) a 44,4% (M7).

Con respecto a la variación de la cobertura en las transectas en los seguimientos M1 a M7 (2016- Inv2019), en general se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, sin mostrar una tendencia clara desde MB0 (condición base) a M7 (inv – 2019). Se puede observar un descenso en la cobertura del herbazal de *T. concinna* (T10 – La Punta) respecto a la condición base, y si bien hay un aumento en inv – 2017, aún presenta baja cobertura. El herbazal de *S. californicus*, en Tilopozo, presenta la mayor cobertura vegetal del sector, y si bien registra variaciones entre monitoreos, éstos siempre registran una cobertura absoluta por sobre el 100%, y se ha observado un aumento de sus coberturas en el año 4 (M7- inv 2019). En general, no se registran variaciones que puedan afirmar una tendencia sostenida al descenso, ya que se verifican recuperaciones parciales en el seguimiento inv-2019 (M7).

Figura N° 12-19. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1, M2, M3, M4, M5, M6 y M7 en los sectores La Punta y La Brava y Tilopozo.



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019 y M7 monitoreo invierno 2019. Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 1 6, Anexo I de Vegetación y Flora.

b. Análisis de la estructura comunitaria (composición de especies)

A continuación, se presenta el análisis de tendencia, a partir de la variación de la cobertura vegetal de las especies y la variación en la composición de las especies en referencia al número de intercepciones en la transecta (frecuencia), para determinar cambios en la estructura comunitaria de la vegetación azonal.

En relación a la **variación de la cobertura vegetal de las especies**, por una parte, se analiza la cobertura promedio anual de las especies en relación al periodo inicial (MB0; invierno 2016) en **Figura N°12-20**, y seguidamente, se analiza la variación de estas coberturas en su variación de los monitoreos hasta el Año 4²⁹, detallando el análisis por formación vegetal para una mejor comprensión.

En el sector “La Punta-La Brava-Tilopozo”, se registran siete especies entre las formaciones vegetales en seguimiento, de las cuales cuatro especies son dominantes en cada una de las formaciones, las herbáceas *Schoenoplectus californicus*, *Juncus balticus* y *Distichlis spicata*, y el arbusto *Tessaria absinthioides*. En la **Figura N°12-20** se presenta el promedio de la cobertura anual para estas siete especies en las cuatro formaciones, ordenadas de mayor a menor cobertura en relación al sector, observando que *S. californicus* presenta la mayor cobertura promedio en los cuatro años y se mantiene estable en relación a la cobertura inicial (MB0; invierno 2016).

Para las otras especies, en general se observa una variación entre los años de monitoreo (**Figura N°12-20**), destacando *J. balticus* que desciende bajo el 10% de cobertura promedio en el segundo y tercer año, representando una variación de entre un -8,3 y -9,0% con respecto a MB0 en la formación donde domina, aunque en el primer semestre del año 4 (M7), muestra una tendencia de recuperación (-7,7% respecto a MB0). *T. absinthioides* muestra una tendencia similar (variación de -10,1% el año 2, mostrando una tendencia de recuperación el año 4) en el matorral. La especie *D. spicata* es la que se observa más constante en las distintas formaciones y con promedio de cobertura cercanos o sobre el promedio inicial. Por otra parte, en el herbazal de *S. californicus* se observa que la cobertura promedio de *Baccharis juncea* descendió en el primer año de monitoreo (Año 1-MB0; -9,3% de variación), pero repuntó en los siguientes, superando la condición inicial de MB0, sobre todo por el aumento desde el año 1 al 2 en un +4,0%.

En el sector La Punta y La Brava (**Figura N°12-20** abajo), se observa para todas las especies un descenso de la cobertura desde el primer (M1-M2) y el segundo (M3-M4) año de monitoreo, y, en varios casos, también en el tercer (M5-M6) y cuarto (M7) año; no obstante, la variación de las coberturas promedio anuales no superan más de un -16% con respecto a la cobertura inicial de invierno de 2016 (MB0). Las mayores variaciones estuvieron en el matorral de *S.*

²⁹ Esta comparación se realiza con la cobertura promedio entre los monitoreos de cada año: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 4: M7 y MB0: condición basal, invierno 2016. Para el Año 4 sólo se pudo realizar un monitoreo semestral, el de invierno 2019 (M7), por los que los valores para este año corresponden a dicha estación. Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I, sección 2.2**.

fruticosa, una mayor variación en el año, con un -16,0% para la especie *S. fruticosa* con respecto a al primer año (T12); y en el año 3 con una disminución de -12,9% para *Juncus balticus* y en el año 2 de -8,1% para *Lycium humile*, respecto al primer año en la formación de herbazal de *J. balticus* (T13) . Por otra parte, estas dos últimas especies muestran en esta formación una tendencia de recuperación en el último (o en los dos últimos) años, respecto a la condición inicial: *J. balticus* aumenta en un 5,5% entre el año 3 y el año 4, y *Lycium humile* aumenta un 1,3% en el año 3 y en un 3,9% en el año 4, respecto al menor valor registrado en el año 2.

Figura N°12-20. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales de los sectores Tilopozo (arriba) y en La Punta y La Brava (abajo).



Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, Tb: *Tessaria absinthioides*, jb: *Juncus balticus*, nia: *Nitrophila atacamensis*, Lh: *Lycium humile*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, tc: *Triglochin concinna*, pu: *Puccinellia frigida*. Promedio anual de coberturas: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 4: M7 y MB0: condición basal, invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la **variación de la composición de especies a través de la frecuencia en la transecta**, en los cuatro años de seguimiento M1 a M7 en relación al registro inicial en MB0, se observa una estabilidad en la composición de especies en las formaciones vegetales, manteniendo una similar riqueza florística entre monitoreos, donde las variaciones se observan en el número de registros (frecuencia a través del n° de intercepciones en las transectas³⁰), denotando algunas variaciones en tramos específicos de las transectas entre monitoreos (ver a continuación las **Figura N°12-21, Figura N°12-22, Figura N° 12-23, Figura N° 12-24 y Figura N° 12-25**).

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus* de Tilopozo, se observa una estabilidad de los registros en el tiempo para la especie dominante en la formación, con una variación menor en M5 en relación al número registrado en MB0 y un leve aumento en M7 en el tramo 2 (**Figura N°12-21**). No obstante, para las especies acompañantes se observa una mayor variación entre monitoreos, donde *B. juncea* presenta una disminución en el número de registros, principalmente en el tramo 2, aunque con una variabilidad entre monitoreos denotando una mayor presencia en los monitoreos de verano (M2 y M4), y para el caso de *D. spicata* se observa una disminución más notoria de sus registros en Tramos 1 y 2 desde M4, con ausencia de registros en M4 y M6, aunque en Tramo 3 vuelve a tener mayor presencia desde M4 a M6, más marcado en M7.

En el herbazal de *Juncus balticus*, para la especie dominante (*J. balticus*) se observa en general, una mayor variabilidad de sus registros entre monitoreos en el tramo 2 (**Figura N°12-22**). En el principal tramo (tramo 2) en la formación de Tilopozo, se observa hasta M6 la caída de registros y una recuperación en M7, a diferencia de la formación en La Punta y La Brava que continua más estable entre monitoreos, con variaciones estacionales, y con un alza en todos los tramos en M7. Las especies acompañantes presentan algunas variaciones menores, pero dentro de los rangos registrados por tramo en MB0.

En el herbazal de *Distichlis spicata* en Tilopozo, la especie dominante (*D. spicata*) presenta en el tramo 2 una disminución de valores en M2 a M6, y una alza significativa en el M7 con registros cercanos al histórico para el tramo (**Figura N° 12-23**), no obstante, se observa la variabilidad entre monitoreos con alzas y bajas entre ellos. Las especies acompañantes presentan bajo número de registros en general, con mayor presencia de *Lycium humile*, que si bien muestra una menor frecuencia con respecto a MB0 se observa una recuperación paulatina desde M1 a M7, y especies como *J. balticus* y *N. atacamensis* no han sido reportadas nuevamente en la transecta.

En el herbazal de *Triglochin concinna* en La Punta y La Brava (**Figura N° 12-24**), se observa un descenso del registro de la especie dominante (*T. concinna*) en el tramo 2, a diferencia de los tramos del extremo de la transecta (1 y 3) donde los valores se encuentran dentro del

³⁰ Esta frecuencia en la transecta se realiza a través del número de intercepciones en cada una, entendiendo que una transecta de 50 metros tiene 500 intercepciones posibles, en las cuales puede haber más de una especie en cada intercepción. A su vez, la transecta se dividió en tres tramos: Tramo 1= 0-10 m (100 intercepciones posibles); Tramo 2= 10,1 – 40 m (300 intercepciones posibles); Tramo 3= 40,1 – 50 m (100 intercepciones posibles). Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I sección 2.2**.

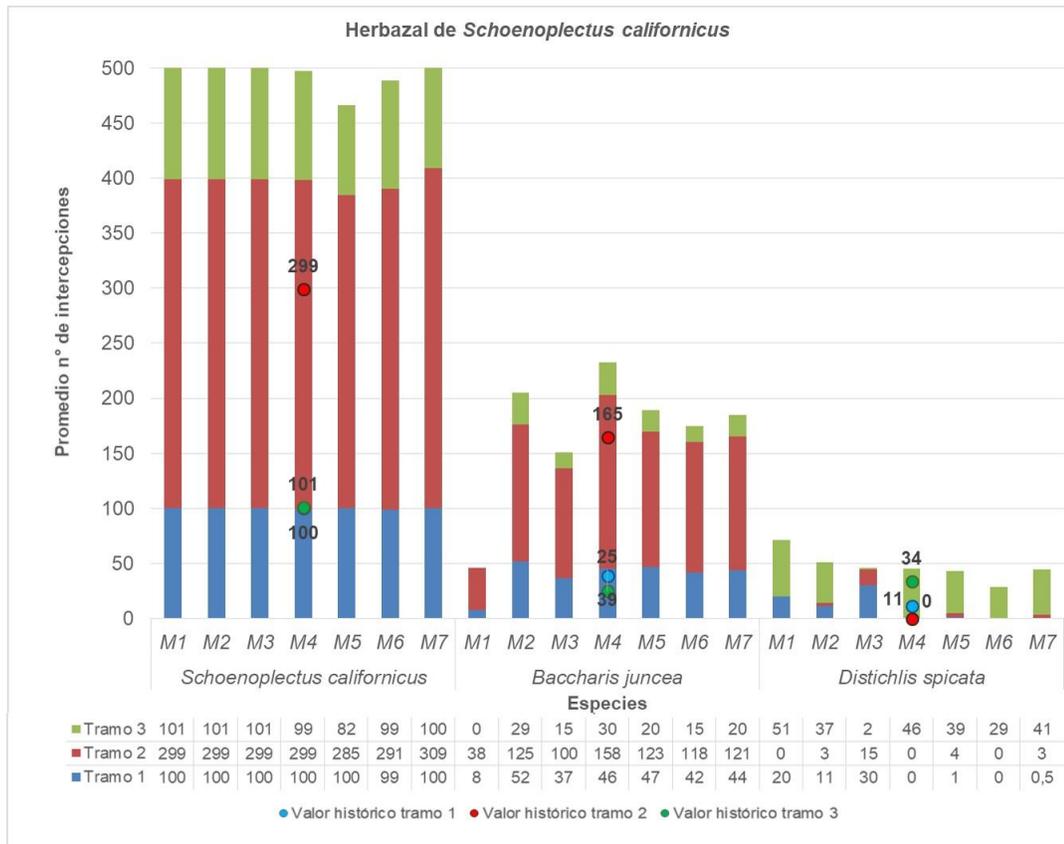
mismo rango. La especie *Nitrophila atacamensis* presenta un descenso en M6 y recuperación parcial en M7, en el tramo 1, donde se encuentra bajo el valor histórico. Para las otras especies acompañantes se observan leves variaciones y más bien una presencia estable entre tramos y monitoreos para el arbusto *Sarcocornia fruticosa*.

En relación a los matorrales, si bien se observa un descenso hasta M6 en relación al monitoreo inicial MB0 y M1, los registros señalan un aumento de valores en todos los tramos en M7 para las especies codominantes en el matorral de *T. absinthioides*, del sector Tilopozo (**Figura N° 12-25**). En el matorral de *S. fruticosa* del sector La Punta y La Brava, su especie dominante se observa con variaciones principalmente en el tramo 2, donde se registra un descenso desde M2, bajo el histórico y sin variaciones; el resto de los tramos tiene variaciones dentro del rango normal.

En términos generales, tanto las variaciones determinadas en la cobertura vegetal como en la estructura comunitaria de algunas transectas, no constituirían cambios significativos y los descensos estimados se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar, incluso se verifica un aumento de valores para M7. Esto se deduce del análisis complementario que se realizó con el NDVI de imágenes Landsat para el periodo de estudio 2009-2020 (ver resultados para el sector en (**sección 0**

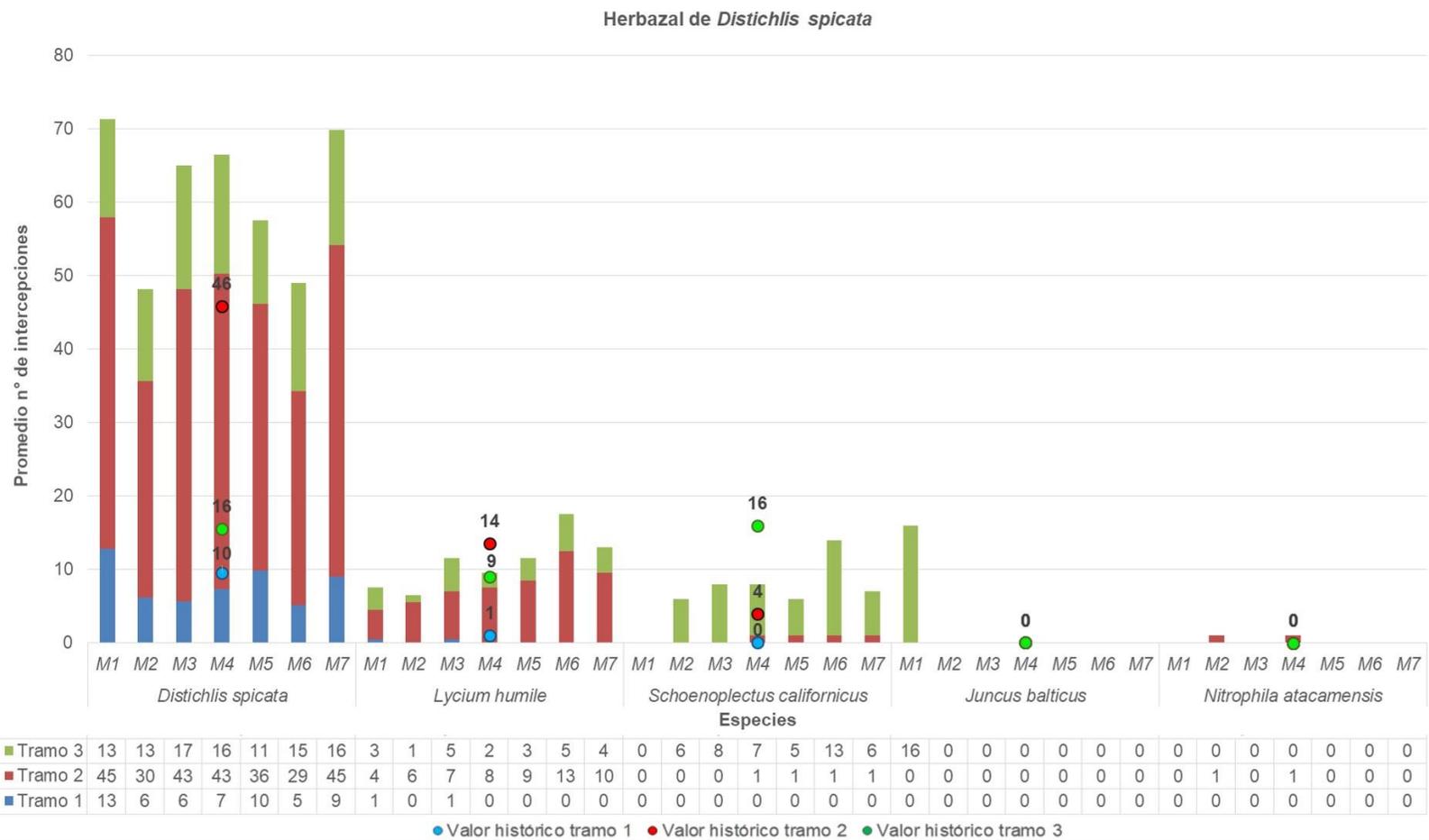
Cobertura de vegetación activa (NDVI)) y la validación de dicho análisis según correlaciones significativas obtenidas entre las coberturas determinadas en transectas y el NDVI (ver análisis de correlaciones en Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5.1).

Figura N°12-21. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Schoenoplectus californicus* en sector Tilopozo.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

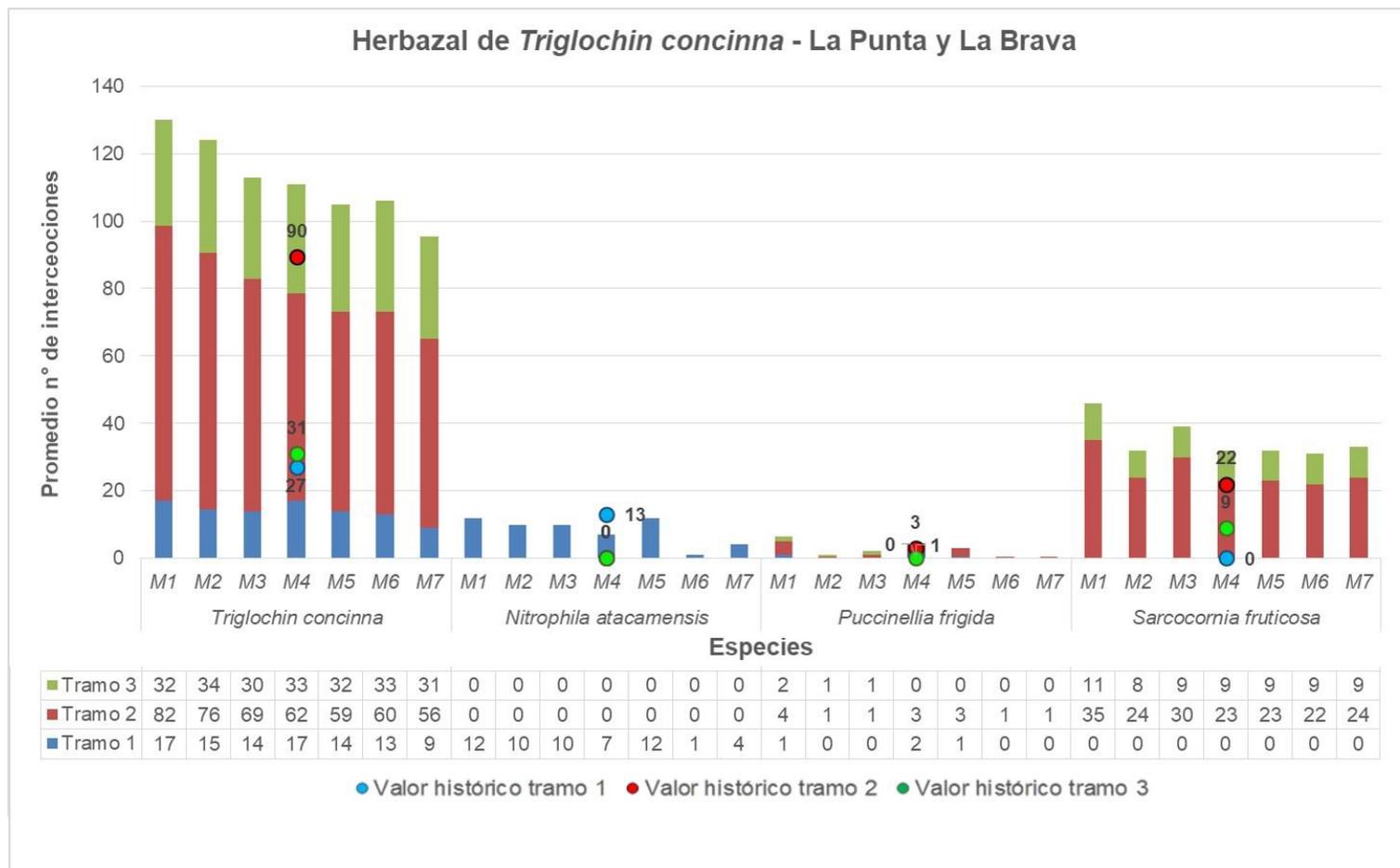
Figura N° 12-23. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Distichlis spicata* en sector Tilopozo.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;
 Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016.

Fuente: Elaboración propia

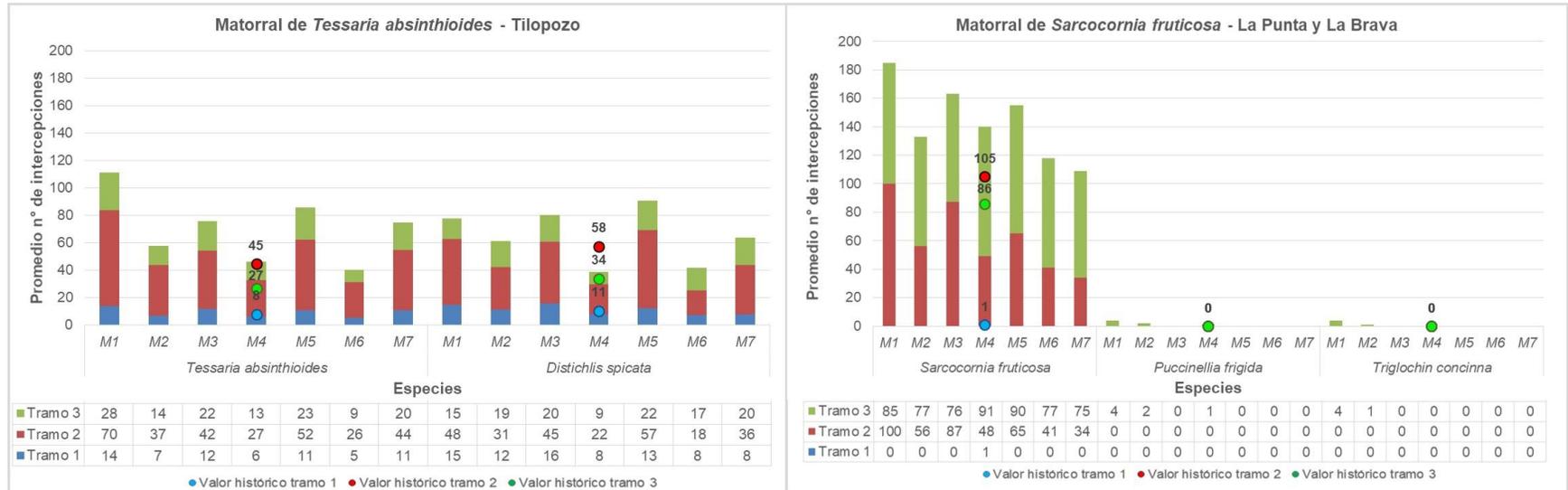
Figura N° 12-24. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Triglochin concinna* en La Punta y La Brava.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;

Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-25. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorrales de *Tessaria absinthioides* y *Sarcocornia fruticosa* en sectores Tilopozo y La Punta y La Brava.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;

Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

c. Variación de la salinidad en transectas

La **Figura N°12-26** presenta la variación del promedio anual de las coberturas absolutas de afloramientos salinos registradas durante monitoreos semestrales para el periodo 2016 a invierno 2019 (M1 a M7), en las 18 transectas distribuidas en seis formaciones azonales de seguimiento del sector. Para este informe, y debido a que no se desarrolla la campaña post lluvias 2020, y con ello la obtención de datos *in situ* para transectas, se utilizan sin promediar los valores de coberturas absolutas del seguimiento M7, correspondientes al cuarto año de seguimiento.

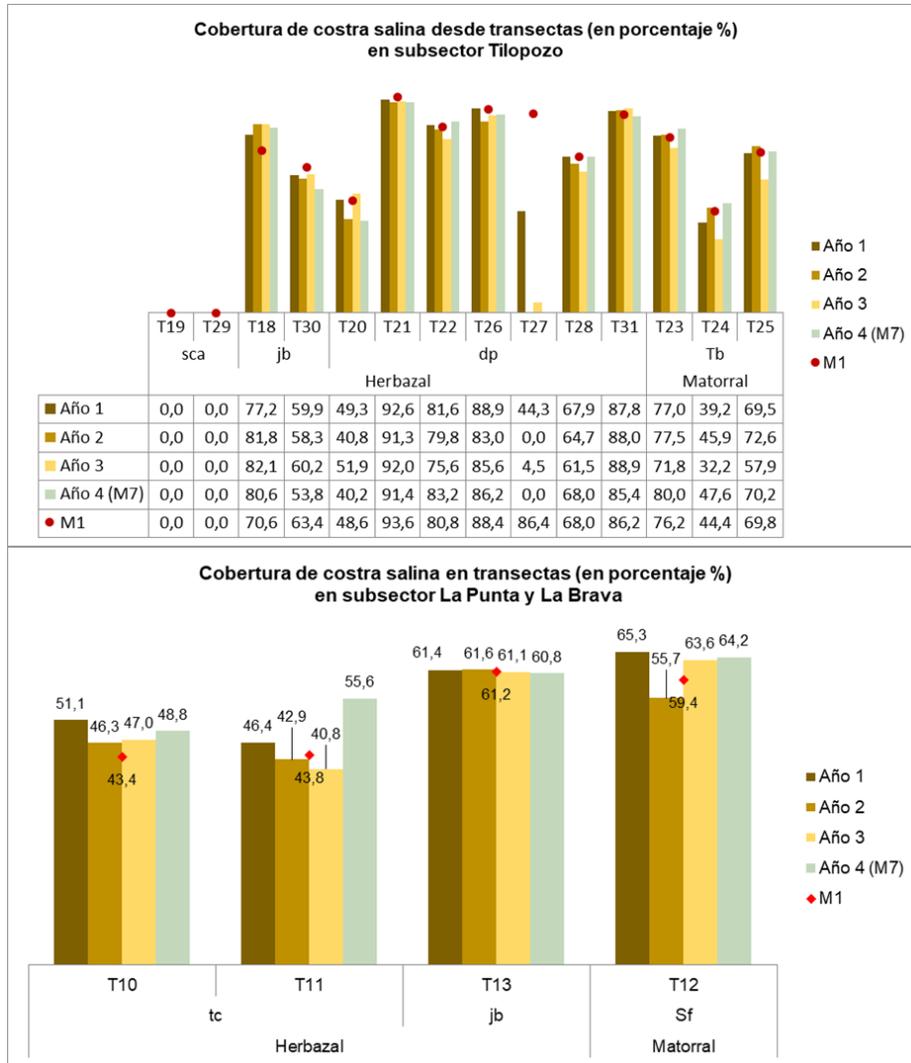
En el sector, el herbazal de *S. californicus*, registra 0% de cobertura salina; por otro lado, el herbazal de *Juncus balticus* presenta valores que van desde 82,1% al 53,8%; mientras que el herbazal *D. spicata* registran un rango promedio de 4,5% a 92,6% (exceptuando la T27 que registra bajo recubrimiento salino con 0% de cobertura en M7; **Figura N°12-26**). En general el herbazal de *D. spicata* tiene coberturas absolutas en niveles medios a altos, siendo la transecta T21 la que registra los valores más altos (sobre 90%).

La mayor parte de las transectas de monitoreo del sector, registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento, con variaciones cercanas a un 10% en esta cobertura. Mientras que la T27, T18 y T10 registran un descenso e incremento con promedio de -85,9%, +14% y +11% respectivamente, durante monitoreos y respecto a M1.

El marcado descenso de la cobertura salina en la T27 de herbazal *D. spicata*, se relaciona principalmente con una baja en la salinidad del suelo durante los monitoreos de verano 2017 a invierno 2019 (M2, M3, M4 y M5), con una recuperación en el periodo post - estival en verano de 2019 que no se mantiene hasta invierno 2019 (M7, 0%). No obstante, se registra estabilidad de su cobertura vegetal, dado que la cobertura salina se modifica principalmente con la cobertura del recubrimiento terroso (no salino).

Respecto al aumento de la cobertura de afloramiento salino con promedio de 13,9% en la T18 (herbazal de *J. balticus* en subsector Tilopozo), se relaciona directamente con el menor valor registrado en M1 (70,6%), ya que desde M2 a M7 la cobertura de afloramientos salinos es estable entre 80,6 y 82,1%, por lo que no estaría asociado a un cambio a nivel de sustrato, ya que se siempre se ha registrado un sustrato no saturado.

Figura N°12-26. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en los subsectores Tilopozo (arriba) y La Punta y La Brava (abajo).



Especies dominantes en formaciones monitoreadas: sca: *Schoenoplectus californicus*; dp: *Distichlis spicata*; jb: *Juncus balticus*.; tc: *Triglochin concinna*; Tb: *Tessaria absinthioides*. Sf: *Sarcocornia fruticosa*.

Promedio anual de coberturas Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 3: M7.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, según la evaluación de relaciones entre las coberturas de vegetación y de afloramientos salinos (medidas en transectas) con la concentración salina del suelo (conductividad eléctrica y salinidad, medidas en la componente suelos), se mantiene al monitoreo M7 la relación inversa entre la cobertura vegetal y la salinidad del suelo en las formaciones del subsector La Punta (detalles en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.3**).

Este resultado sugiere una menor resiliencia de la actividad y cobertura vegetal a la concentración salina del suelo en este subsector, el cual además posee una baja salinidad, según parámetros de conductividad eléctrica registrados usualmente en el rango ligeramente salino (2.000 - 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y salinidad inferior a 10.000 mg/kg.

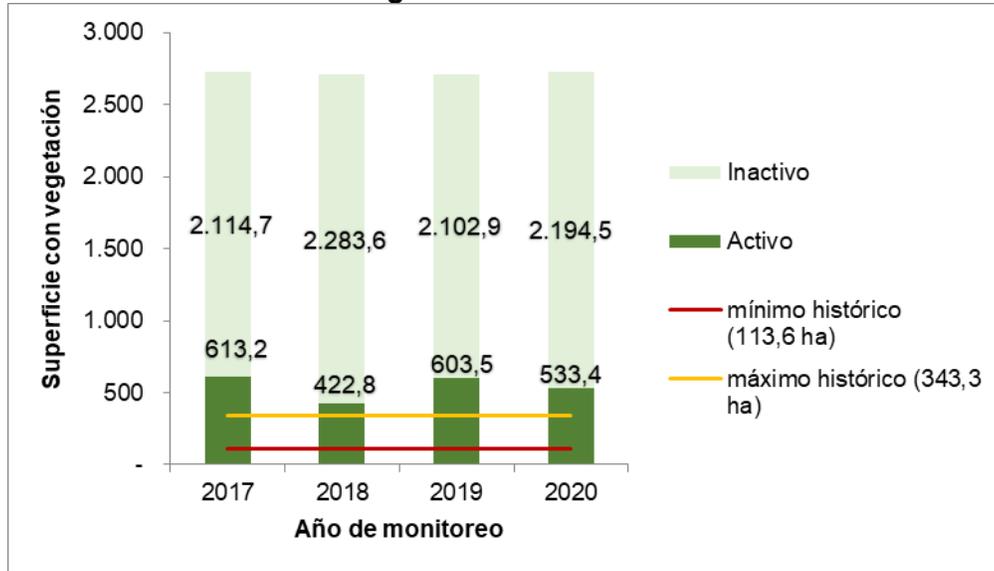
Respecto a las correlaciones con la cobertura de afloramientos salinos, la T10 (herbazal de *T. concinna* en subsector La Brava) se mantiene a M7 la correlación significativa proporcional (signo positivo) con la concentración salina en el suelo. A la vez, esta formación presenta variaciones de descenso en la cobertura vegetal a la actualización en M7, por lo que en parte se puede seguir asociando con la amplia variación en la salinidad del suelo, según registros de la conductividad eléctrica que tiene un rango desde Ligeramente a Extremadamente salino (3.490 a 18.890 $\mu\text{S}/\text{cm}$), detalles en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.3**.

12.5.1.1.2 Cobertura de vegetación activa (NDVI)

La evaluación comparativa de la **cobertura vegetal activa obtenida con el NDVI de imágenes alta resolución**, considerando la condición post-lluvias de los 4 años que se tienen de monitoreo (2017-2020), indican una mantención del estado ecológico, con valores de coberturas por sobre el mínimo y en relación al rango histórico, tanto en general para el sector (LP-LB y Tilopozo), como en particular, para la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector (**Figura N°12-27** y **Figura N°12-28**, respectivamente). Ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1**.

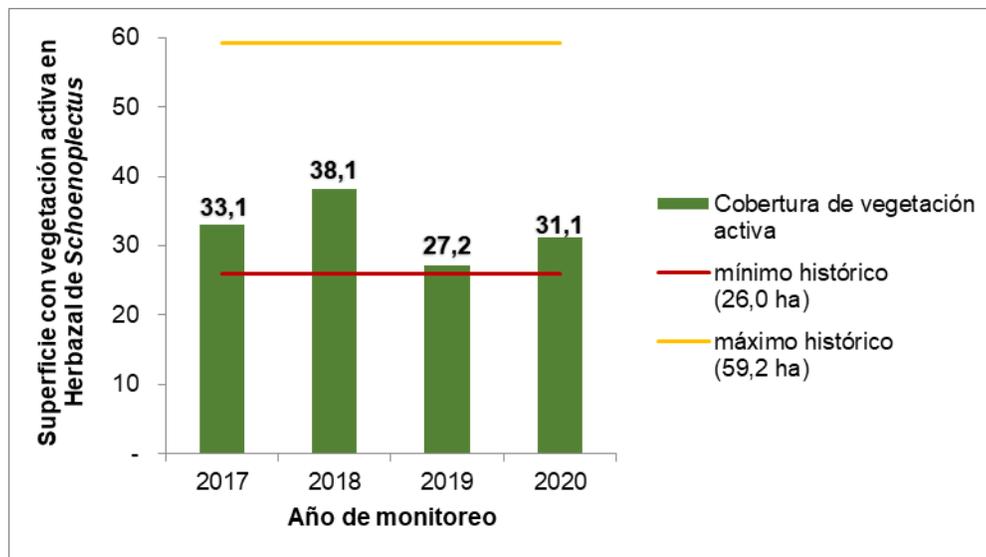
Durante los monitoreos anuales 2017-2020, es posible observar que en el sector prevalece la cobertura vegetal inactiva o bien, son bajas las coberturas vegetales, siendo imperceptibles para el sensor desde donde se obtienen los valores del NDVI. La superficie vegetal inactiva en el sector (2017 – 2020) registra valores entre 2.102,9 y 2.283,6 hectáreas, esto equivale entre un 78% a 83% de la superficie COT con vegetación del sector Tilopozo – La Punta y La Brava (**Figura N°12-27**; detalle de evaluación interanual entre monitoreos mediante el análisis de recurrencia en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2**).

Figura N°12-27. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2020, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava en superficie con vegetación del sector.



Fuente: Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos de Landsat y alta resolución por sector, Informe Anual N° 4. Monitoreo invierno 2018 – Verano 2020 Plan de Manejo Biótico.

Figura N°12-28. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2020, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Tilopozo - La Punta y La Brava

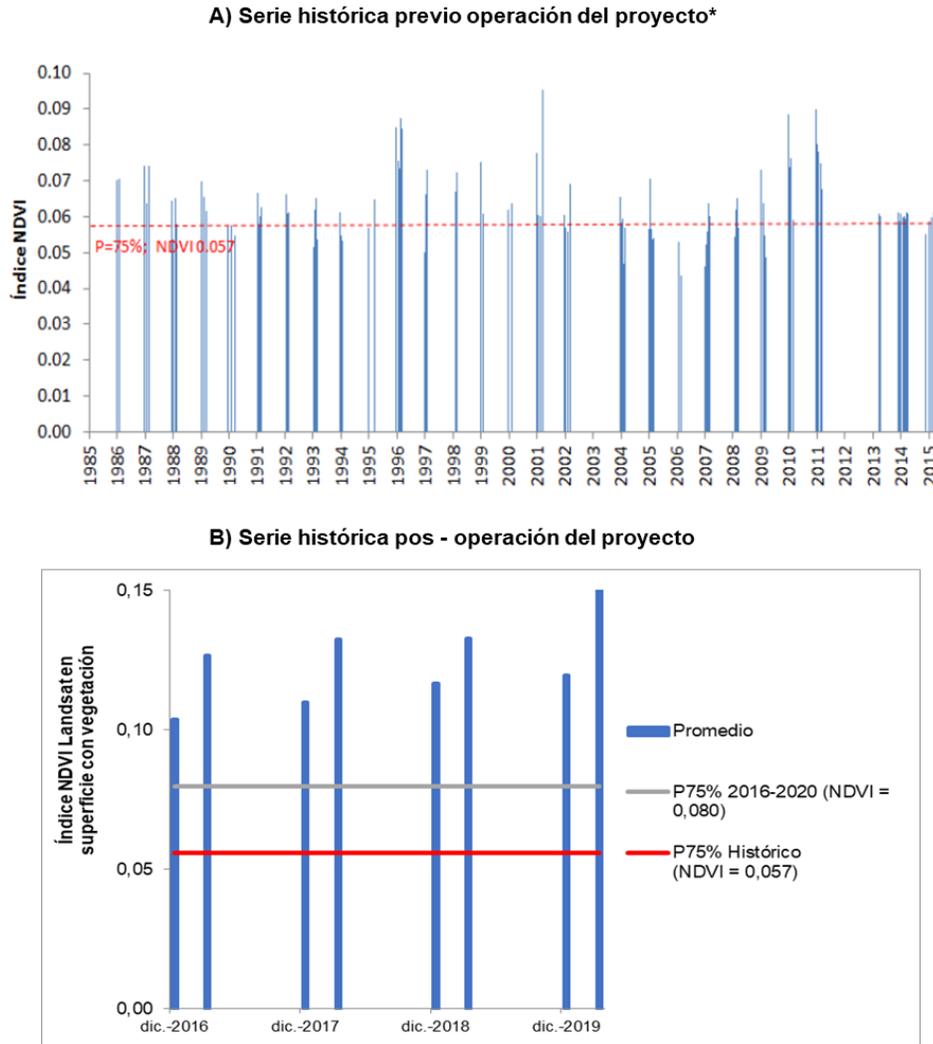


Fuente: Informes anuales de seguimiento PMB Albemarle (2017, 2018 y 2019) y valores históricos de línea de base según Tabla 5.3 “Resumen de registros máximos y mínimos propuestos para monitoreo de vegetación y cuerpos acuáticos, mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015.

De manera totalmente adicional, pero que permite el análisis comparativo con registros históricos, se compararon los **valores del NDVI de imágenes Landsat con probabilidad de excedencia de 75%** según lo señalado en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5. Este corresponde al valor que es superado un 75% de las veces, como el límite para detectar si el sistema presenta una vigorosidad relativamente baja respecto a su comportamiento histórico (ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1**).

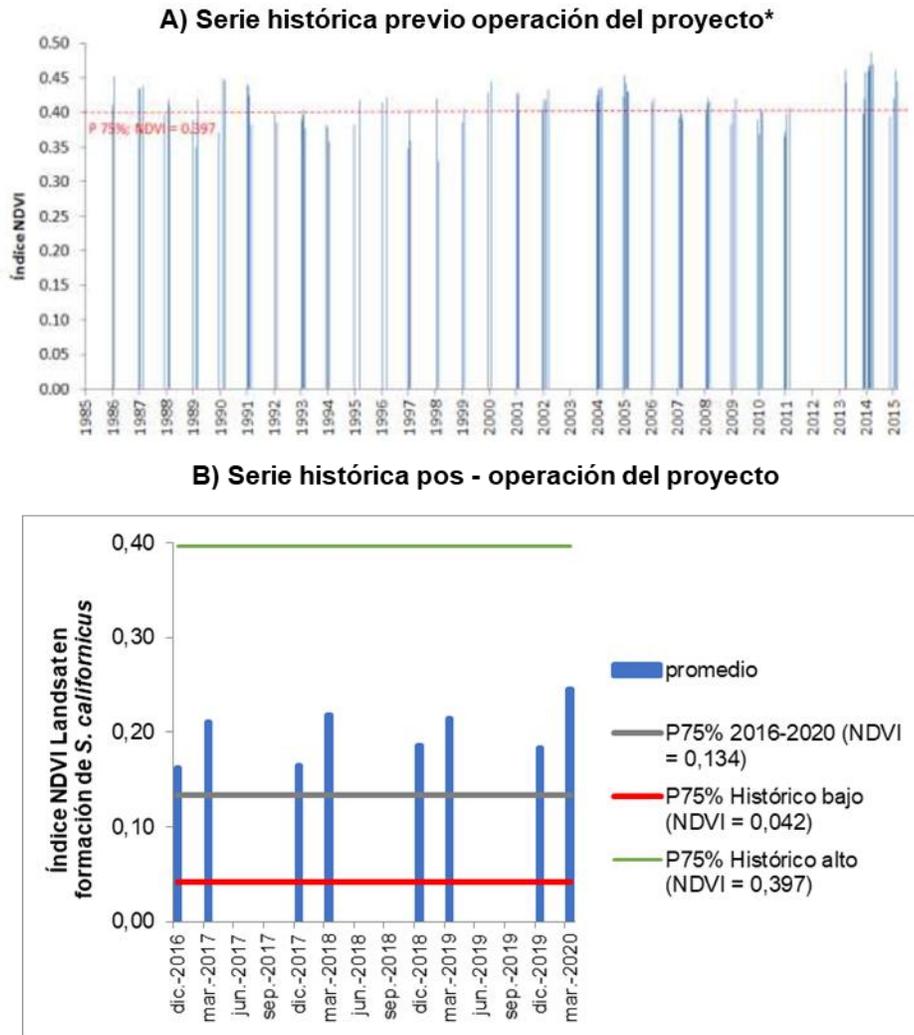
La comparación del NDVI Landsat, para el periodo operación y durante las temporadas post-lluvias 2016-2020, reflejan la mantención del estado ecológico, según el valor del NDVI con probabilidad de excedencia de 75% superior al histórico tanto en la superficie con vegetación del sector como en la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector (**Figura N°12-29 y Figura N°12-30**). Esta tendencia indica una mayor actividad vegetal en el sector para el periodo operacional.

Figura N°12-29. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2020) en la superficie con vegetación del sector Tilopozo- La Punta y La Brava.



Nota: * Valores históricos: de **Figura 4.1.** “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Tilopozo, estimado sobre el Polígono de vegetación Tilopozo (COT). Se indica probabilidad de excedencia NDVI de 75%” y según **Tabla 5.1** “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del **Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).**

Figura N°12-30. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2020) en el sector Tilopozo- La Punta y La Brava.



Nota: * Serie histórica: de **Figura 4.2. Apéndice B: Determinación Espacio Temporal de la Vegetación Azonal y Cuerpos de agua, Anexo 2, Adenda 5** “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Tilopozo, estimado sobre el Polígono Tilopozo Herbazal Muy Denso de *Schoenoplectus*. Se indica probabilidad de excedencia NDVI de 75%.” y ** Valores de comparación histórica en **Tabla 5.1** “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del **Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).**

Asimismo, también de manera complementaria a lo exigido al PMB, se realiza un **análisis de recurrencia de las coberturas de vegetación activa obtenidas a partir del NDVI de imágenes de alta resolución (2017-2020)**³¹, con el objetivo de analizar el comportamiento multitemporal de esta cobertura, utilizando las superficies obtenidas para los cuatro años de monitoreo en el periodo marzo – abril³². Este análisis, tiene como fin determinar las áreas de superposición resultantes que representan el nivel de variabilidad o estabilidad espacial de la actividad vegetal en las formaciones de seguimiento.

La **Figura N° 12-31** presenta una *Fe de Erratas* con una corrección respecto al mapa de recurrencia presentado en el Informe Anual N°3 del PMB (sección 1.2.1.1.2. Cobertura de vegetación activa NDVI, Figura N° 1-14.). En ella se puede apreciar el análisis de recurrencia para los casos representativos, con corrección de la simbología asociada según el rango de recurrencia hasta el tercer seguimiento. Para efecto del análisis entregado en el informe anterior y en el actual, la corrección de la simbología en la figura citada, no implica corrección de los datos y análisis entregados atendiendo sólo a un error visual, producido en el Informe anterior.

En la **Figura N°12-32** se presenta el mapa de áreas de recurrencia (2017-2020) en los casos representativos de formaciones con alta variabilidad o inestabilidad en su cobertura activa, a la fecha. El detalle del análisis de recurrencia del sector se puede revisar en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.**

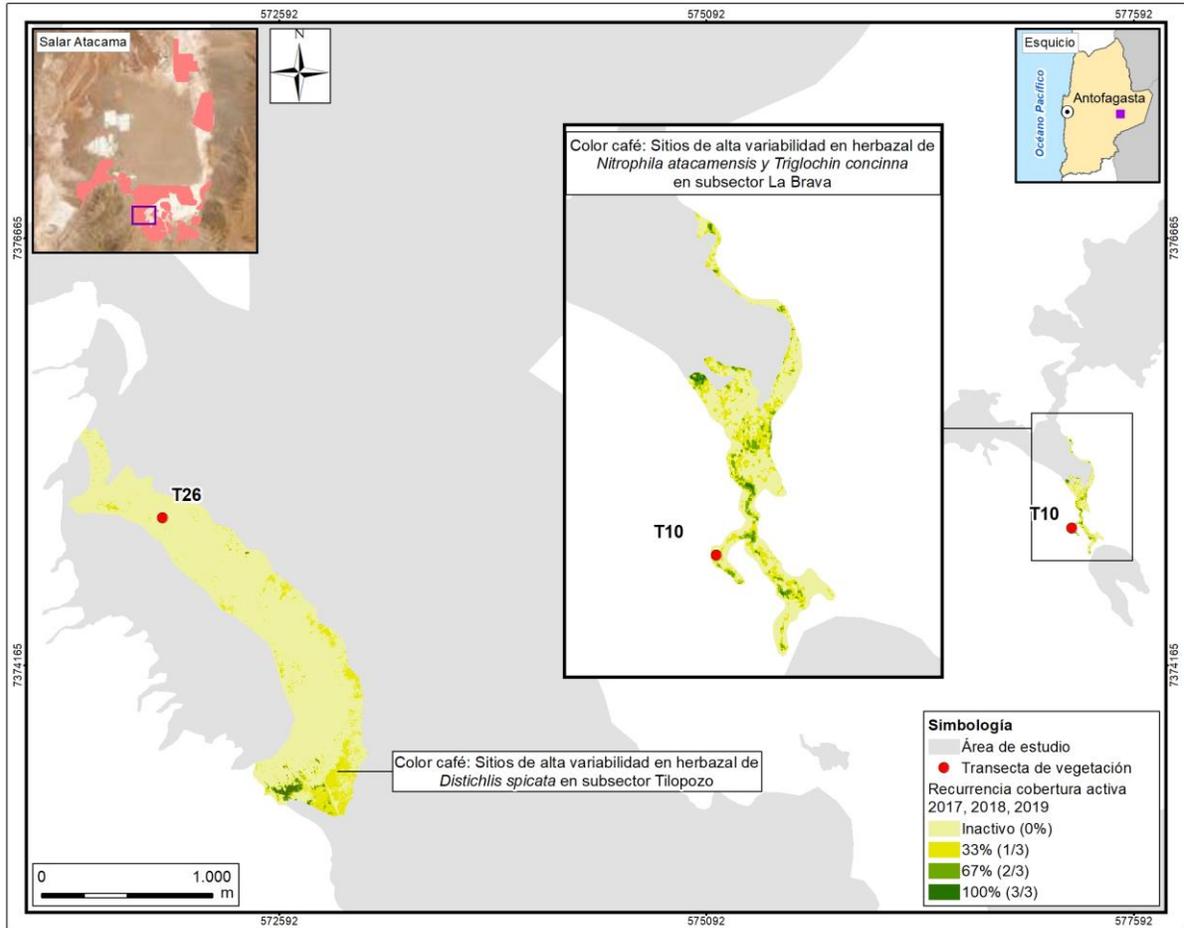
Según análisis de recurrencia de la cobertura activa en las formaciones de seguimiento del sector, la superficie que ha reflejado actividad según el NDVI en alguno de los monitoreos es de 788,2 hectáreas, equivalente a un 37,1% del total de las formaciones de seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava.

Entre las formaciones azonales en seguimiento del sector, aquella con mayor estabilidad en su cobertura activa es el matorral de *Tessaria absinthioides* del subsector Tilopozo, dado que registra la proporción más alta de 66,5 hectáreas (3,13% del total del sector) con superficie en nivel de recurrencia de 100%, indicando actividad en 4 de los 4 monitoreos evaluados. Por el contrario, aquellas con menor nivel de recurrencia de la cobertura activa (recurrencia entre 0% a 25%), lo cual refleja una alta variabilidad o inestabilidad en su actividad o vigor, son: matorral de *T. absinthioides* (que señala una formación de un área muy estable y otra de actividad nula) y herbazal de *D. spicata* en subsector Tilopozo y, herbazal de *Juncus balticus* en subsector La Brava (detalle de análisis de recurrencia del sector en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2; Figura N°12-32** presenta casos representativos de formaciones con alta variabilidad o inestabilidad en su cobertura).

³¹ **Nivel de recurrencia** se refiere al número de superposiciones de una misma condición de análisis, es decir la presencia en seguimientos sucesivos, en este caso de la cobertura vegetal activa obtenida desde el índice NDVI en los monitoreos anuales de verano (post - lluvia) 2017, 2018, 2019 y 2020.

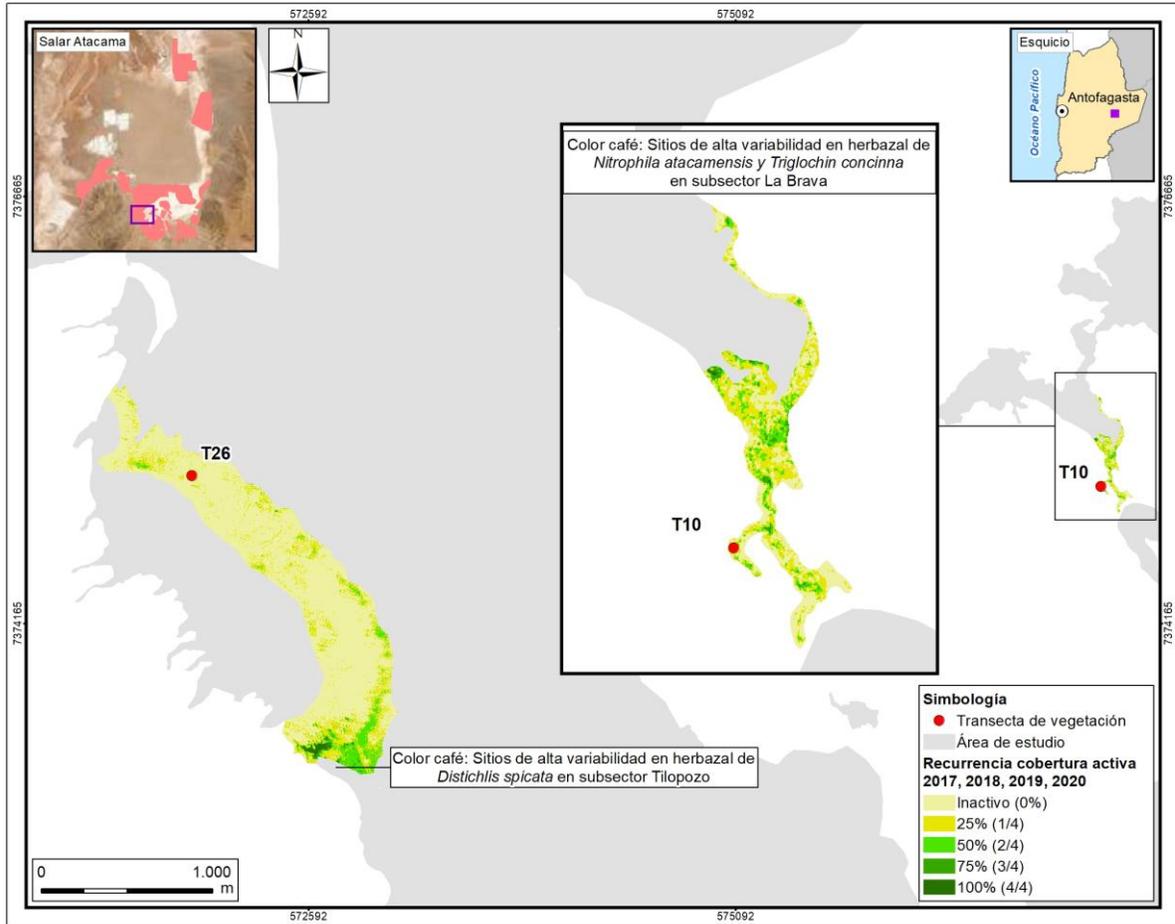
³² Se refiere como **comportamiento multitemporal** a las variaciones espaciales y temporales entre los tres monitoreos, ya que para evaluar una tendencia estadística se requieren de mayor cantidad de datos. Por lo mismo, esto último se analiza posteriormente con los datos provenientes de imágenes Landsat para un periodo de 11 años, 2009-2020.

Figura N° 12-31. Evaluación interanual de la cobertura activa obtenida del índice NDVI en los monitoreos anuales (post - lluvia) 2017 a 2019: análisis del nivel de recurrencia en sitios estables y con variabilidad alta dentro de las formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava.



Fuente: Elaborado en base a coberturas de vegetación activa según monitoreos anuales de verano post - lluvia 2017 a 2020. Reportadas en Informes Anuales del Plan de Manejo Biótico: Albemarle (2017), Albemarle (2018) y Albemarle (2019)

Figura N°12-32. Evaluación interanual de la cobertura activa obtenida del índice NDVI en los monitoreos anuales (post - lluvia) 2017 a 2020: análisis del nivel de recurrencia en sitios estables y con variabilidad alta dentro de las formaciones azonales en seguimiento del sector Tilopozo – La Punta y La Brava.



Fuente: Elaborado en base a coberturas de vegetación activa según monitoreos anuales de verano post - lluvia 2017 a 2020. Reportadas en Informes Anuales del Plan de Manejo Biótico: Albemarle (2017), Albemarle (2018), Albemarle (2019) y Albemarle (2020).

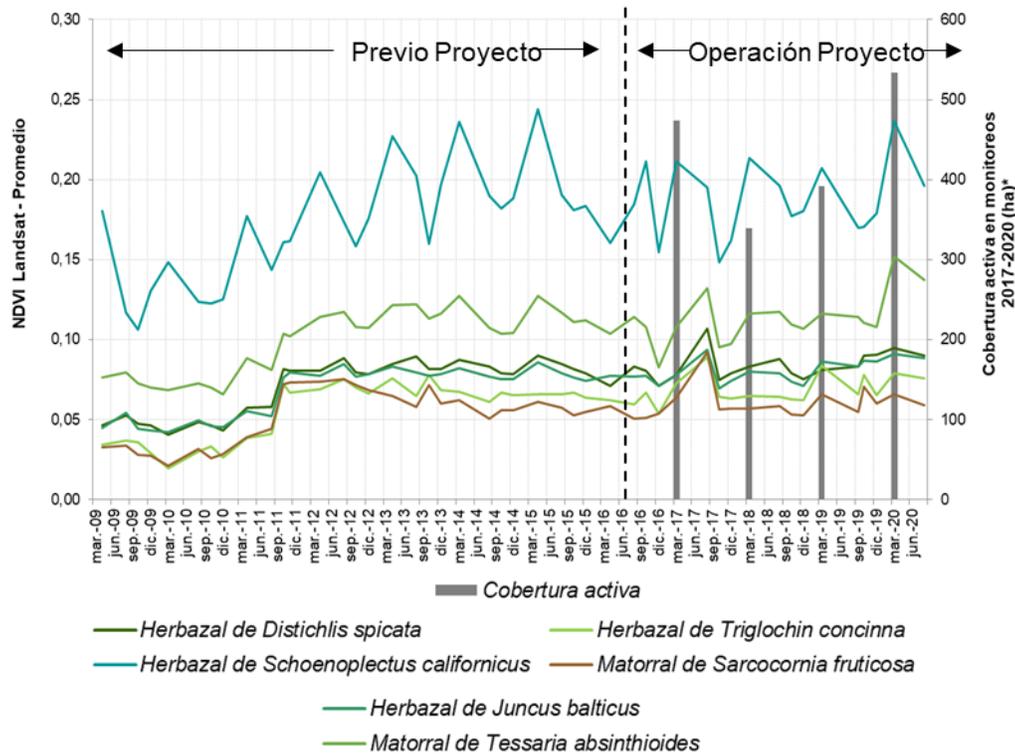
También, se realizó la **comparación de la tendencia a escala interanual del NDVI Landsat** para el periodo pre - operacional (2009-2016) y operacional (2016-2020) en las formaciones azonales de seguimiento en el sector (ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.4**). En la **Figura N°12-33**, se presenta la serie temporal obtenida del NDVI de imágenes Landsat para el período 2009 – 2020. De los datos de NDVI se tiene que para todas las formaciones se presenta una variación que partió con un estado bajo de NDVI promedio, y fue ascendiendo hasta el año 2015. En ese momento se produjo una baja de NDVI la que a partir de fines del año 2016 vuelve a ascender manteniendo su comportamiento observado entre los años 2011 al 2015. Cabe destacar la condición previa al 2011 de NDVI bajos, para todas las formaciones, situación que no se ha dado en los últimos 4 años.

La evaluación de la tendencia interanual del NDVI Landsat, registra un ascenso de actividad en la vegetación en ambos periodos de estudio (pre y post – operación) en todas las formaciones vegetales monitoreadas. Este resultado sugiere una estabilidad en la actividad/vigor de la vegetación, incluso con una leve tendencia al ascenso en las formaciones de monitoreo en el sector (**Figura N°12-33**).

Durante el periodo operacional, el NDVI Landsat registra un periodo de baja en el rango de diciembre 2015 a diciembre 2016, coincidente con la realización de los monitoreos MB0 y M1 de transectas del proyecto, sugiriendo la ocurrencia de un evento anómalo en la actividad de la vegetación en este periodo. Esta menor actividad, principalmente se reflejó en las formaciones de herbazales de *S. californicus* y de *T. concinna* y matorral de *S. fruticosa* del sector (**Figura N°12-33**).

Si bien en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5, se indica que los resultados de la cobertura vegetal se compararán con la *Figura 4.4* de éste mismo. Lo anterior no es comparable ya que el compromiso del monitoreo se realiza mediante imágenes de alta resolución y en el apéndice se expone con imágenes Landsat.

Figura N°12-33. Series de tiempo del NDVI Landsat 2009-2020 y evaluación de tendencias interanuales (test Mann-Kendall) en los periodos histórico (previo al proyecto 2009-2016) y total, en formaciones vegetales monitoreadas del sector Tilopozo- La Punta y La Brava.



Test Mann-Kendall: Evaluación de tendencias interanuales en el NDVI Landsat

Formaciones vegetales monitoreadas	Previo proyecto (2009-2016)			Periodo Total (2009-2020)		
	n	p-value	S	n	p-value	S
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	29	0,000 *	200	46	0,000 *	410
Matorral de <i>Sarcocornia fruticosa</i>	29	0,095	90	46	0,030 *	219
Herbazal de <i>Distichlis spicata</i>	29	0,001 *	172	46	0,000 *	421
Herbazal de <i>Juncus balticus</i>	29	0,002 *	170	46	0,000 *	443
Herbazal de <i>Schoenoplectus californicus</i>	29	0,000 *	188	46	0,001 *	350
Herbazal de <i>Triglochin concinna</i>	29	0,023	122	46	0,005 *	295

Donde: * **p-value < 0,05** indica tendencia significativa con nivel de significancia de 95%.
Parámetro S: un valor positivo del es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo.

Nota: * Superficies de cobertura activa en formaciones monitoreadas, obtenidas durante monitoreos anuales con el NDVI de imágenes de alta resolución 2017, 2018, 2019 y 2020. Formaciones vegetales monitoreadas según homologación de la COT, actualización agosto 2019) en base a monitoreos de transectas.

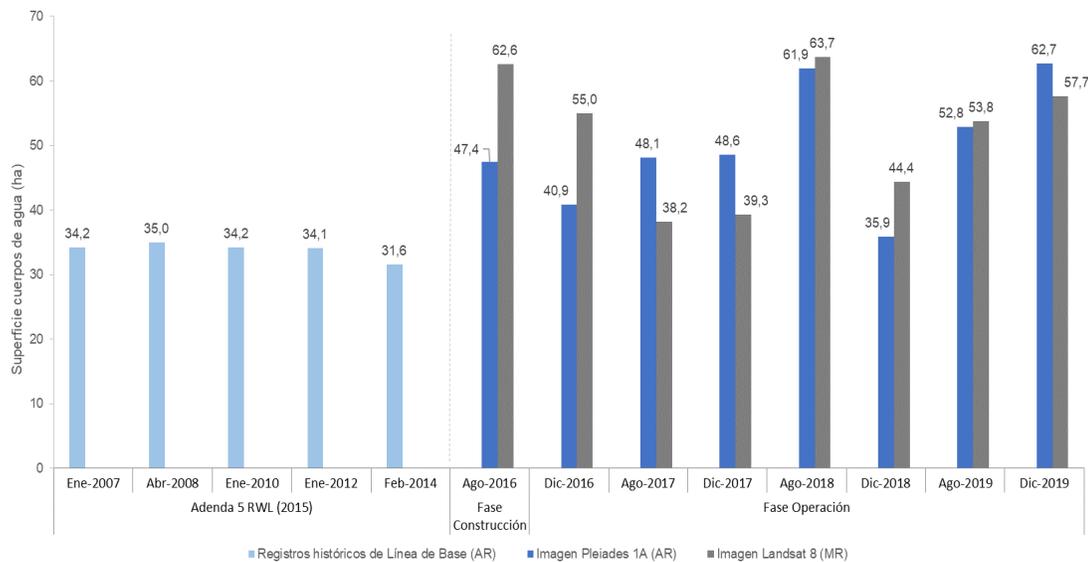
Fuente: Elaboración Propia.

12.5.1.2 Superficie de Lagunas

12.5.1.2.1 Comparación con los registros de línea de base

En el sistema lagunar La Punta y La Brava, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en diciembre de 2019 es de 62,7 ha y en agosto 2019, abarca una superficie de 52,8 ha. La comparación con el registro mínimo histórico de línea de base (31,6 ha), estimado desde este mismo tipo de imágenes satelitales (Adenda 5 RWL, 2015), indica que la cobertura del área de lagunas de diciembre 2019 es mayor en +31,1 ha (98%), y la cobertura de agosto de 2019 es mayor en +21,2 ha (67%). La **Figura N°12-34** muestra la comparación de las superficies calculadas con los registros históricos en este sistema hasta la fecha, en que todas las áreas estimadas entre 2016 y 2019 se encuentran por sobre el mínimo de línea base³³.

Figura N°12-34. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (pixel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (pixel menor a 4m).
 Fuente: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

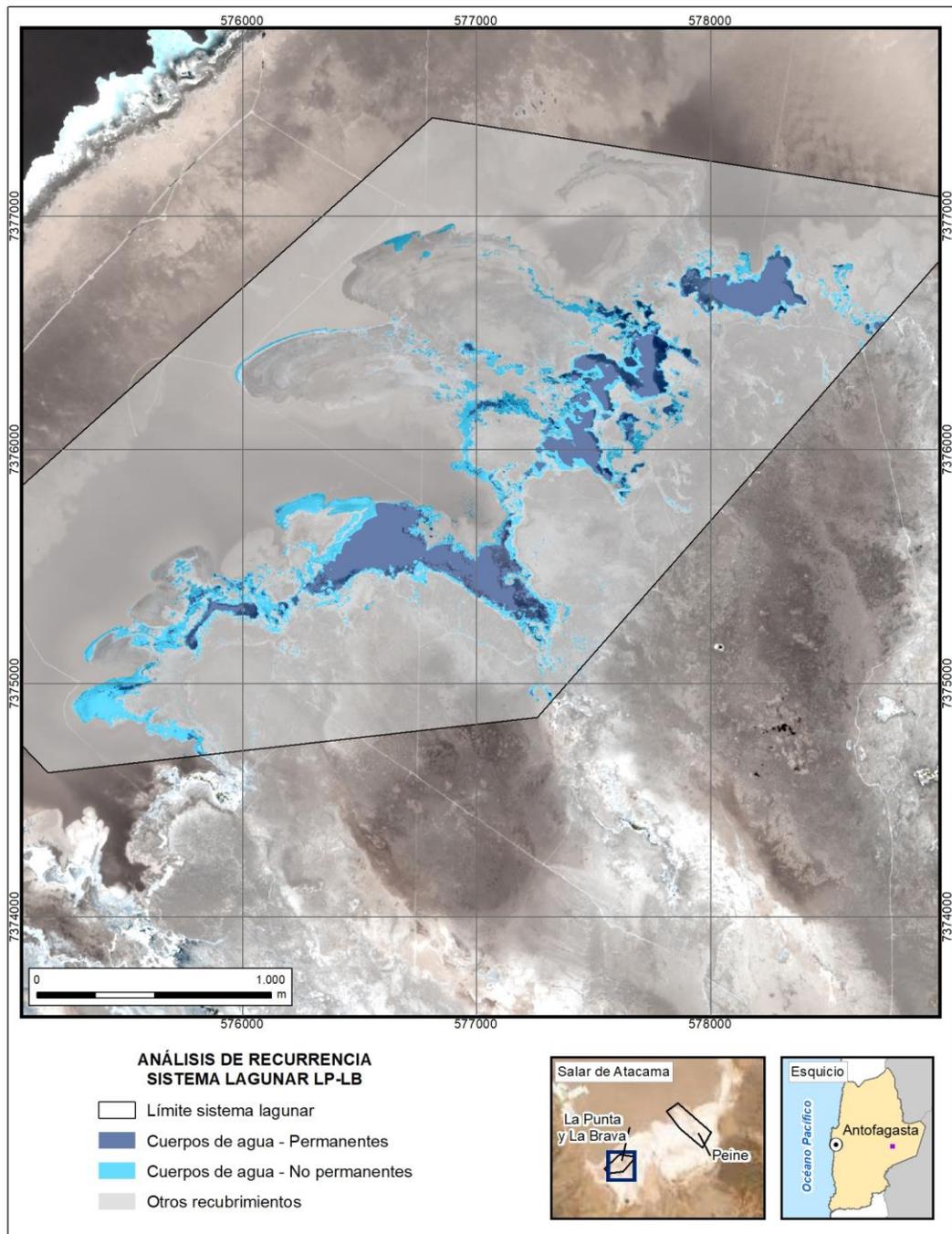
De manera complementaria, se realizó un análisis de recurrencia con el fin de dimensionar el comportamiento temporal de las superficies cubiertas por lagunas y así definir aún mejor la evolución de las superficies lagunares, que en base a esta disgregación las superficies pueden ser clasificadas en estratos *permanentes*, *no permanentes* y *otros recubrimientos* (**Figura N° 12-35; Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.1**). Las superficies fueron clasificadas en estratos para caracterizar lo que corresponde a sectores con presencia

³³ Informe Consolidado Anual N°4 Área de Lagunas – PMB, sección 6.1.1.a

continua, parcial o nula de cuerpos de agua. Para la clasificación, se seleccionaron aquellas superficies poligonales de igual criterio, que coinciden por superposición cuatro o más veces (siendo ocho el número mayor de repeticiones, equivalente al total de monitoreos. El resultado fueron tres estratos temáticos de recurrencia de los cuerpos de agua:

- (i) Permanentes: presencia de lámina de agua entre cinco (5) y ocho (8) de los seguimientos efectuados, equivalente a una recurrencia mayor al 50%.
- (ii) No permanentes: presencia de lámina agua entre uno (1) y cuatro (4) de los seguimientos efectuados, lo que equivale a recurrencia de 1/8 a 4/8, es decir de 13% a 50% (incluido).
- (iii) Otros recubrimientos: presencia nula de agua durante los 8 monitoreos, equivalente a una recurrencia de 0%.

Figura N° 12-35. Clasificación de estratos según análisis de recurrencia, sector La Punta y La Brava.

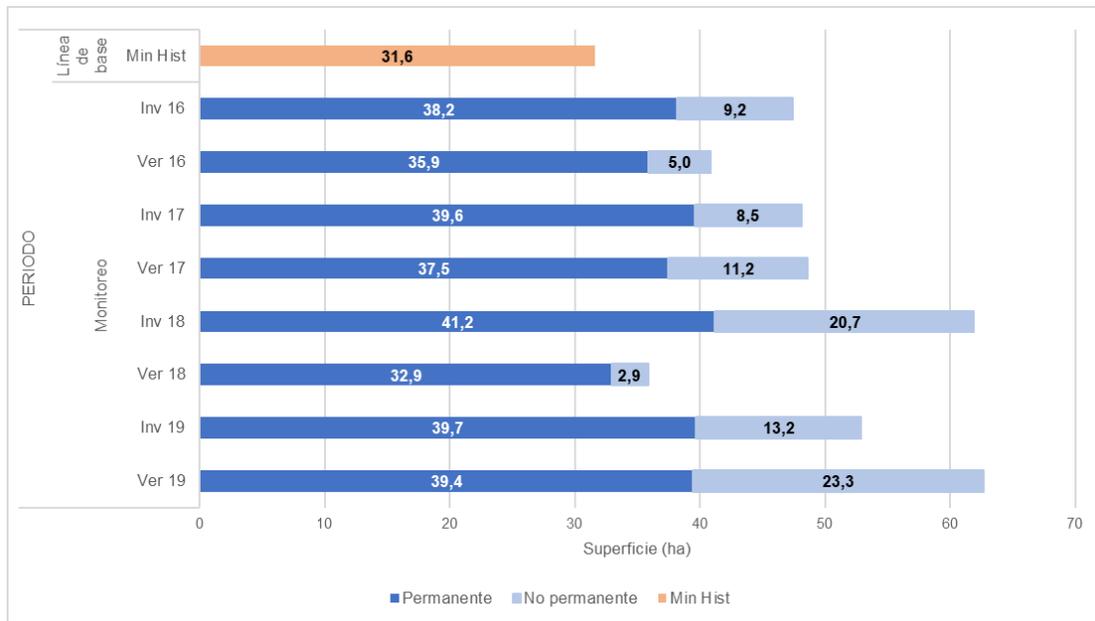


Fuente: Elaboración Propia.

A partir de este análisis se observa que en el sector de La Punta y La Brava la mayor variación se presenta en las superficies *no permanentes*, estrato correspondiente a bordes lagunares y áreas de inundación de aguas libres, poco profundas y en algunos casos asociadas al desarrollo de vegetación; zonas donde las variaciones en la cobertura de agua se dan por el rebalse lagunar y el estancamiento producto de precipitaciones. La naturaleza de la lámina de agua la hace más susceptible a la evaporación, por el efecto de borde, entre otros factores.

Se destaca además que, en suma, las superficies *permanentes* y *no permanentes* están por sobre el mínimo histórico registrado en febrero de 2014 (el cual incluye tanto las áreas permanentes como las áreas no permanentes), e incluso sólo las superficies *permanentes* están por sobre esa cifra. Por otro lado, no se ve reflejada una tendencia en las variaciones interanuales por estrato de recurrencia, donde puede observarse un incremento de los valores *no permanentes* en épocas de invierno como en verano. Sin embargo, sí puede observarse valores poco variables en las superficies *permanentes* en ambas estaciones (**Figura N°12-36**).

Figura N°12-36. Superficies permanentes y no permanentes, en comparación con mínimo histórico, sector La Punta y La Brava.

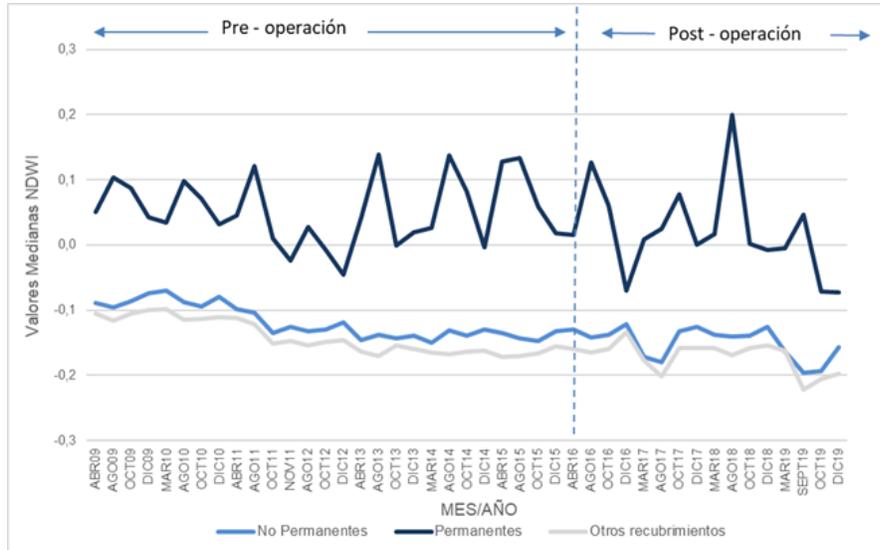


Fuente: Elaboración Propia

Se realizó un análisis multitemporal para el sector de La Punta y La Brava, para definir una condición de referencia y comprender el funcionamiento del ecosistema en estudio, esto dentro de algunos límites específicos que indican un estado determinado de éste, su dinámica y/o trayectoria, a una escala espacial y temporal definida para la observación (Jax, 2010); lo anterior en base a los valores de los índices NDWI y NDVI que pueden detectar cuerpos de agua (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.2**).

En este contexto, la **Figura N°12-37** presenta la serie de tiempo calculada para este sector de La Punta y La Brava, de acuerdo con los valores del NDWI. En ésta, se indica una muy leve trayectoria hacia el descenso, que no es significativa para el estrato *permanente* en el periodo previo a la operación del proyecto. Sin embargo, si es significativa para ambos periodos (previo y posterior al proyecto) para los estratos *no permanentes* y *otros recubrimientos*, la cual muestra una tendencia leve al descenso de los estratos *no permanentes* y *otros recubrimientos*, que podría explicarse por la variación en profundidad de los cuerpos de agua, particularmente en aquellas áreas de aguas someras (bordes) o donde se presenta humedad estacional, lo que se traduce en aumento de valores bajos del índice, asociados a la ausencia de agua. Cabe señalar que este índice presenta una mayor estabilidad en la variación de sus valores en aguas más profundas que en cuerpos de agua más someros y suelos desnudos, por lo que es mejor indicador de cambios en profundidad que el índice NDVI que expresa una mejor correlación con otras variables como vegetación, aguas someras o suelos desnudos (Li, L. *et al*, 2015) (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.2**). Un análisis de la gráfica de comportamiento de los valores de NDWI (**Figura N°12-37**), muestra que las mediciones consecutivas muestran una línea de tendencia con una leve baja, lo que podría indicar una variación en la reflectancia de las aguas profundas, lo que no se traduce en variación de su superficie de ocupación; Sin embargo, estas aún no revelan un patrón o tendencia estadística, por lo que no resulta significativa.

Figura N°12-37. Variación temporal de valores de NDWI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector La Punta y La Brava.



Test Mann - Kendall: Evaluación de tendencias temporales de valores NDWI Landsat

** ESTRATOS DE CUERPOS DE AGUA	Previo al proyecto (2009 - 2016)			Periodo actual (2009 - 2019)		
	n	p - value	S	n	p - value	S
Permanentes	28	0,418	-42	43	*0,021	-221
No Permanentes	28	*0,000	-214	43	*0,000	-477
Otros Recubrimientos	28	*0,000	-252	43	*0,000	-493

Donde: * **p-value < 0,05** indica tendencia significativa y nivel de significancia del 95%. **Parámetro S:** un valor positivo es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo.

** En base al análisis de recurrencia detallado en el **Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 4.1.2.**

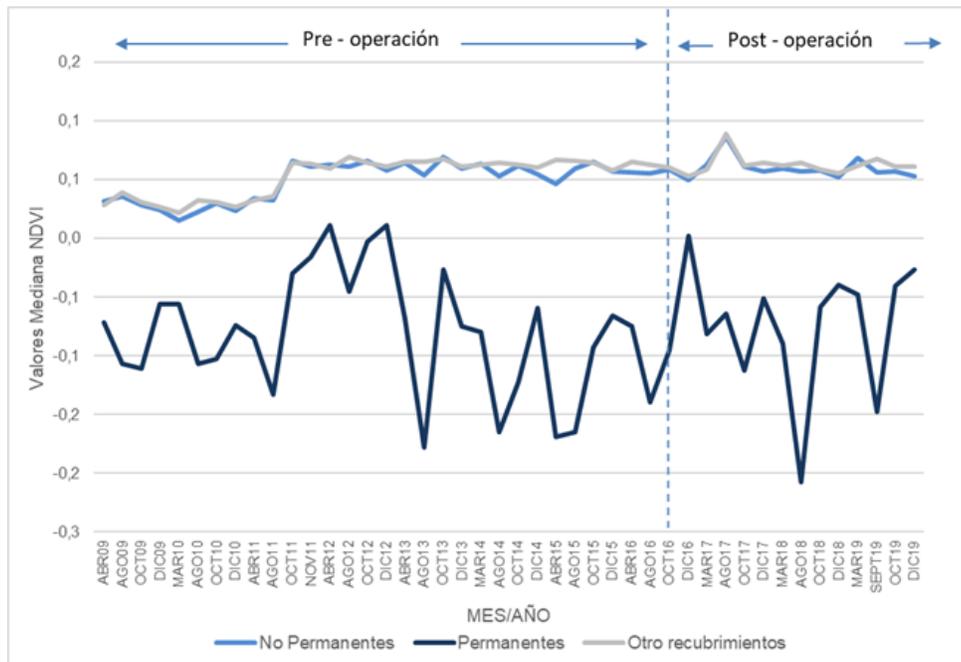
Fuente: Elaboración Propia

También se realizó un análisis con el índice espectral NDVI, dado que permite discriminar entre otros recubrimientos de un suelo sobresaturado y con vegetación, por lo cual valida y complementa los resultados obtenidos con el NDWI. El NDVI en valores negativos de 0 a -1, detecta proporcionalmente suelos secos y/o desnudos, y presencia de cuerpos de agua; es decir valores cercanos a -1 reflejan mayor contenido de humedad típico de un suelo saturado a sobresaturado. Además, en el rango positivo 0 a 1, éste diferencia la detección de vegetación.

En cuanto a los valores del índice NDVI para este sector, éstos presentan una dinámica y trayectorias similares al índice descrito anteriormente, salvo que las tendencias ocurren en sentido positivo, indicando una situación pre - operacional equivalente a la situación post - operacional (**Figura N°12-38**). Cabe señalar que este índice presenta una mayor estabilidad en la variación de sus valores en aguas someras y suelos desnudos (**Anexo II de Estado**

Ecológico del Sistema, sección 3.1.2). Las variaciones del estrato *permanente* no se consideran estadísticamente significativas, aunque gráficamente se puede establecer una muy leve tendencia al alza de los valores de NDVI, lo que no expresa una variación de las superficies de este estrato. Los estratos *no permanentes* y *otros recubrimientos* presentan la misma tendencia, acentuando la presencia de suelos secos y/o desnudos, sin presencia de cuerpos de agua, y áreas de mayor detección de vegetación ribereña asociada a inundación.

Figura N°12-38. Variación temporal de valores de NDVI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector La Punta y La Brava.



Test Mann - Kendall: Evaluación de tendencias temporales de valores NDVI Landsat

** ESTRATOS DE CUERPOS DE AGUA	Previo al proyecto (2009 - 2016)			Periodo actual (2009 - 2019)		
	n	p - value	S	n	p - value	S
Permanentes	28	0,536	-34	44	0,895	14
No Permanentes	28	*0,011	136	44	*0,035	210
Otros Recubrimientos	28	*0,000	200	44	*0,017	238

Donde: * **p-value < 0,05** indica tendencia significativa y nivel de significancia del 95%. **Parámetro S:** un valor positivo es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo.

** En base al análisis de recurrencia detallado en la **Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 4.1.2.**

Fuente: Elaboración Propia

Respecto a las mayores variaciones espaciales, o bien en qué lugares se producen dichas variaciones, en la serie de tiempo total para el sector de La Punta y La Brava y desde el índice NDWI, se verifica que éstas se presentan principalmente en los estratos *no permanentes* de los cuerpos lagunares o zonas de transición húmeda, principalmente en las lagunas de La Brava y otros sectores de La Punta. Por otro lado, las variaciones asociadas a cuerpos de agua *permanente* pueden observarse en el sector de La Punta. Al oeste del sector La Brava,

las áreas cercanas muestran un gradiente de variaciones coincidentes a los estratos *no permanente* hasta el estrato *otros recubrimientos*, lo que se traduce en variaciones temporales en grandes inundaciones de aguas someras (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.3 y 3.1.4**).

En cuanto al mismo análisis para el índice NDVI para este sector, el índice se estabiliza mostrando una menor superficie de variación predictiva con un mayor efecto de gradiente, lo que está relacionado a que el NDVI expresa una muy buena correlación con valores de profundidad y otras variables en cuerpos de agua someros, con humedad y suelo desnudo (Li, L. *et al*, 2015).

Los sectores puntuales de variación se verifican en el sector La Brava; es aquí donde el índice muestra las fluctuaciones más significativas, considerando el resto del sistema con baja o muy baja variación. Para ambos índices, el estrato *otros recubrimientos* es el más constante, ya que describe suelos desnudos cubiertos de sal bastante estables en el tiempo (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.1.3 y 3.1.4**).

12.5.1.3 Niveles Freáticos Sector La Punta-La Brava

Para el Sector La Punta-La Brava (LP-LB) se utilizan como datos de referencia los valores de línea base presentados en Anexo 2 de Adenda 5, que corresponden a los pozos BA-05, BA-07 y BA-16. Con los valores registrados y monitoreados a 4 años de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado para la variable: “*que los valores medidos anualmente en promedio se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.*”

Los valores de línea base para este Sector LP-LB, corresponden a los registrados desde abril 2013 hasta agosto del año 2015. Se incluye monitoreo desde agosto 2015 hasta marzo 2016, bajo la condición sin proyecto, de manera de darle continuidad al monitoreo. A este período más extenso se le ha denominado Período Histórico.

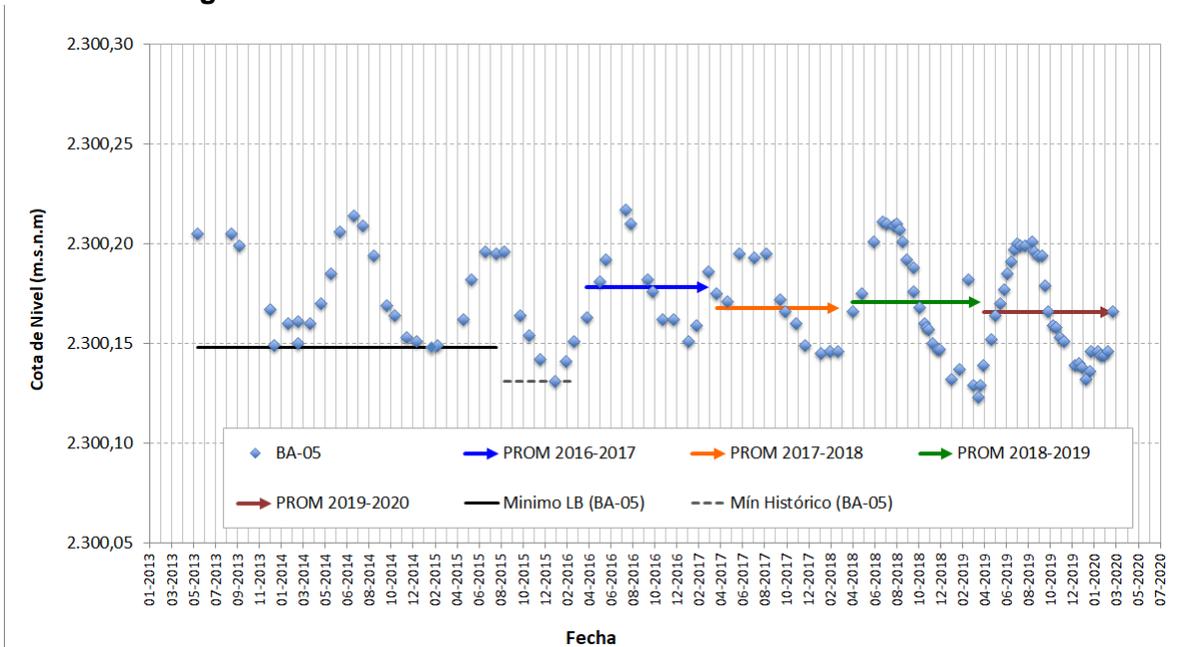
En la **Tabla N° 12-11**, se presentan los estadígrafos para los períodos considerados y en las **Figura N° 12-39, Figura N° 12-40 y Figura N° 12-41**, se presentan las gráficas temporales y los promedios anuales de los niveles para cada período respectivamente.

Tabla N° 12-11. Valores³⁴ Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector LP-LB

Punto	Período LB (m s.n.m) (Abril 2013 – Agosto 2015) Período Histórico (Abril 2013-Marzo 2016)		Abril 2016- Mar 2017 (m s.n.m)	Abril 2017- Mar 2018 (m s.n.m)	Abril 2018- Mar 2019 (m s.n.m)	Abril 2019- Mar 2020 (m s.n.m)
	Mínimo LB	Mínimo Histórico	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual
BA-05	2.300,148	2.300,131	2300,178	2300,168	2.300,172	2300,166
BA-07	2.299,990	2.299,990	2300,036	2300,024	2.300,022	2300,044
BA-16	2.300,845	2.300,836	2300,876	2300,863	2.300,865	2300,848

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-39. Variación Niveles Pozo BA-05 – Sector LP-LB.



³⁴ Ver todos los datos y registros en “Anexo Niveles Freáticos” de este Informe Anual N°4 PMB.

Figura N° 12-40. Variación Niveles Pozo BA-07 – Sector LP-LB.

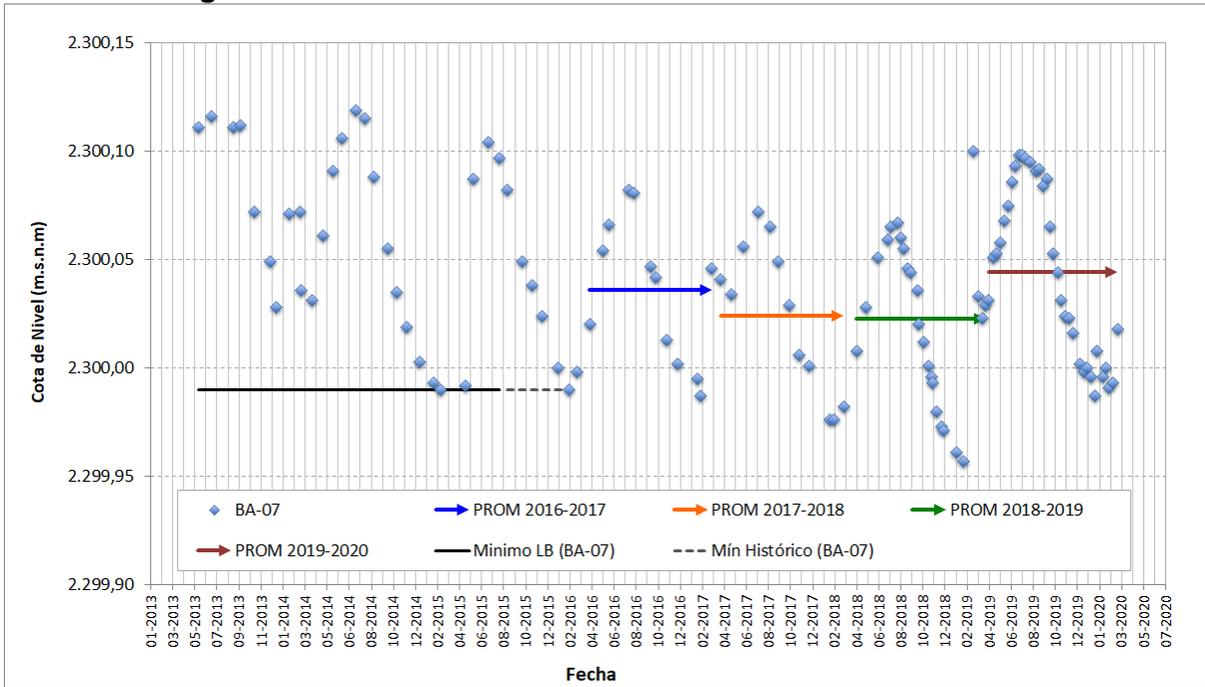
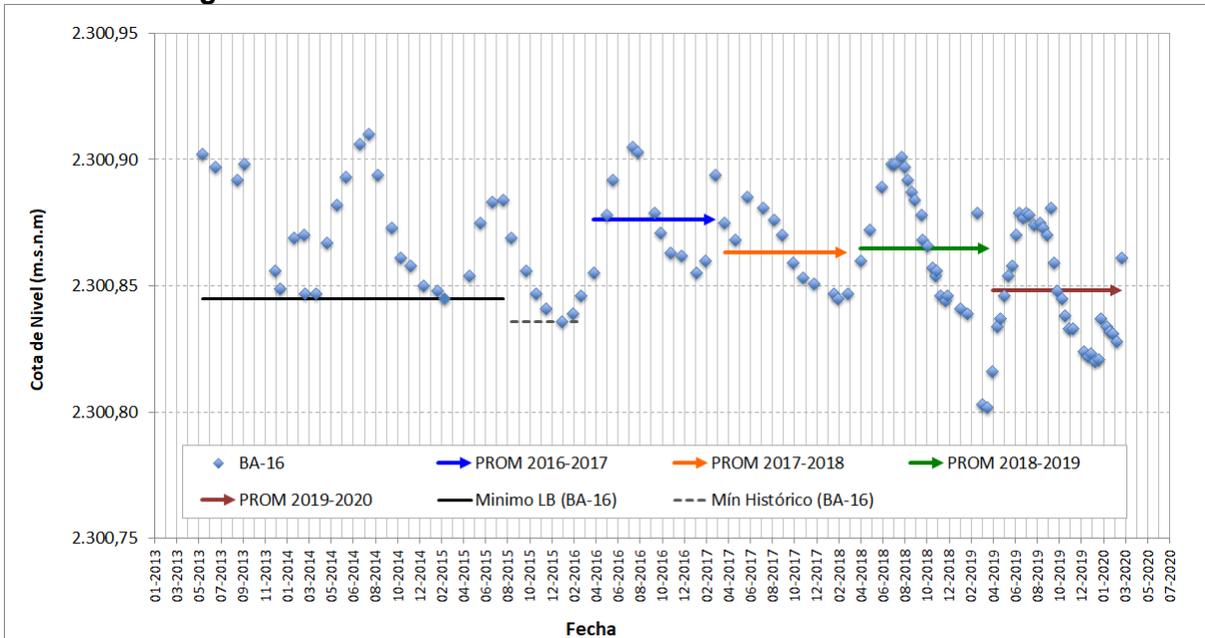


Figura N° 12-41. Variación Niveles Pozo BA-16 – Sector LP-LB.



Considerando todas las mediciones a la fecha y en especial para el análisis de tendencia los últimos 3 últimos años de monitoreo, se tiene en general que los niveles freáticos se presentan estables, donde los 3 pozos de este Sector LP-LB presentan promedios anuales dentro del rango histórico y por sobre el mínimo histórico.

Para el pozo BA-05, se observa para cada año un promedio anual estable y similar uno del otro, marcando para este último año 2019-2020 un promedio de 2300,166 m s.n.m.

Para el pozo BA-07, se observa en este último año una tendencia al ascenso de sus niveles marcado por un promedio anual de 2300,044 m s.n.m.

Para el pozo BA-16, se observa sólo este último año un promedio anual de 2300,848 m s.n.m, menor a años previos, pero aun así por sobre mínimo histórico.

12.5.2 Sistema Peine

12.5.2.1 Vegetación azonal

12.5.2.1.1 Vegetación y Flora (Transectas)

A continuación, se presenta la evaluación de la condición del estado ecológico del componente de vegetación y flora, de acuerdo al seguimiento de transectas de vegetación en relación a las variaciones en su cobertura, en la estructura comunitaria o composición y del sustrato salino, en conjunto con los análisis de salinidad del componente suelo en los sectores de estudio, y el análisis sobre de la distribución y cobertura de la vegetación mediante el *proxy* NDVI.

a. Variación de la cobertura vegetal en sector y transectas

En la **Figura N°12-42**, se puede observar la cobertura promedio de la vegetación en el sector de Peine, junto a la evolución de las coberturas de rastrojos, la cobertura de otros recubrimientos y la riqueza en los monitoreos M1 a M7, en referencia al **Monitoreo “0” realizado en Julio de 2016 (MB0)**.

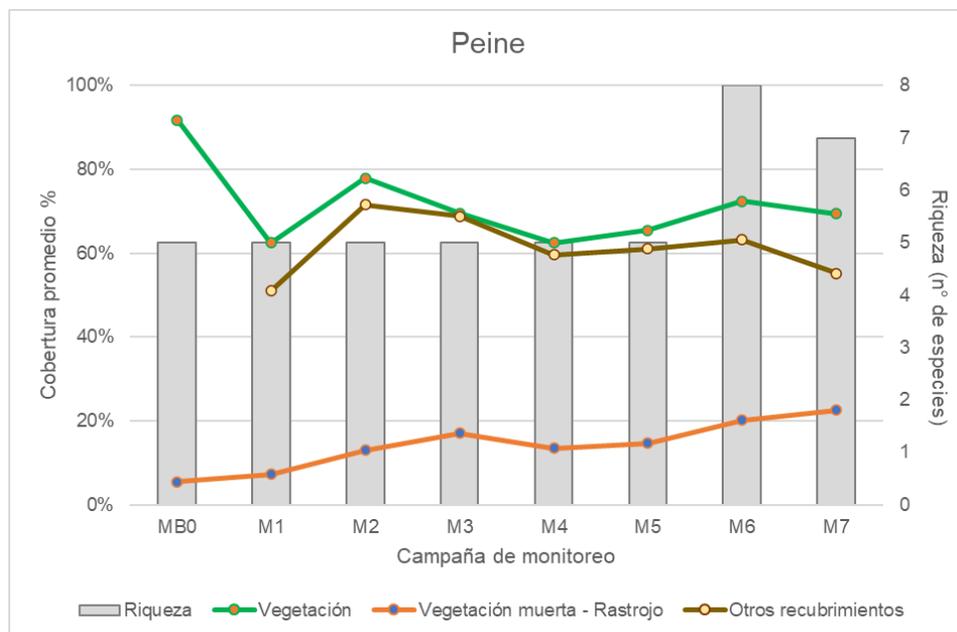
En términos generales, el sector Peine presenta mayor cobertura vegetal promedio que el sector Tilopozo – La Punta y La Brava (**Figura N°12-42**); con una vegetación base en MB0 de 91,8%, presenta coberturas que van desde 77,9% en M2 hasta 62,5% en M1 y M4, menores a la cobertura absoluta base, y con variaciones con una diferencia máxima de 15%.

En cuanto a la cobertura de otros recubrimientos, este sector presenta variaciones moderadas, con un aumento inicial hasta M2 con 71,6% y luego una leve baja hasta M4 con 59,6%, desde donde se observa un aumento hasta llegar a 63,2% en M6, con una baja posterior en M7 con 55,2%. Presenta heterogeneidad de tipos de recubrimientos, destacando la superficie terrosa en matorrales de *T. absinthioides*, y la ausencia de costra salina en la T07.

Con respecto a la riqueza, se observa un número estable de especies identificadas para el sector, desde la condición base en MB0 hasta M5, es en M6 y M7 donde se reporta un aumento de la riqueza con 8 y 7 especies respectivamente, las cuales no habían sido registradas en los monitoreos anteriores.

Este aumento ocurrido en verano 2019 (M6) se trata de un registro puntual en una transecta de matorral de *T. absinthioides* en T07, y que probablemente la regeneración y aparición espontánea de estos elementos florísticos nuevos en la formación fue asociado al evento de mayor precipitación ocurrido en el verano de 2019. El matorral donde se registraron estas especies es de características más zonales, con una superficie de suelos más terrosos en la zona más sur del área de estudio del Salar, zona donde a nivel general se observó mayor aparición de una cobertura de especies herbáceas producto de las lluvias estivales. Estas especies no son observadas en el monitoreo de invierno 2019 (M7).

Figura N°12-42. Cobertura vegetal promedio, cobertura promedio de rastrojo, cobertura promedio de otros recubrimientos y riqueza en sector Peine.



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019 y M7 monitoreo invierno 2019. Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura N°12-43** se aprecian las coberturas absolutas de las transectas en el sector Peine, ordenadas por formación vegetal. Con respecto a la variación de la cobertura en las transectas seguimientos M1 a M7, se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos desde MB0 a M7.

El herbazal de *S. californicus*, presenta la mayor cobertura vegetal del sector (**Figura N°12-43**). Si bien registra variaciones entre monitoreos, en general registran una cobertura absoluta

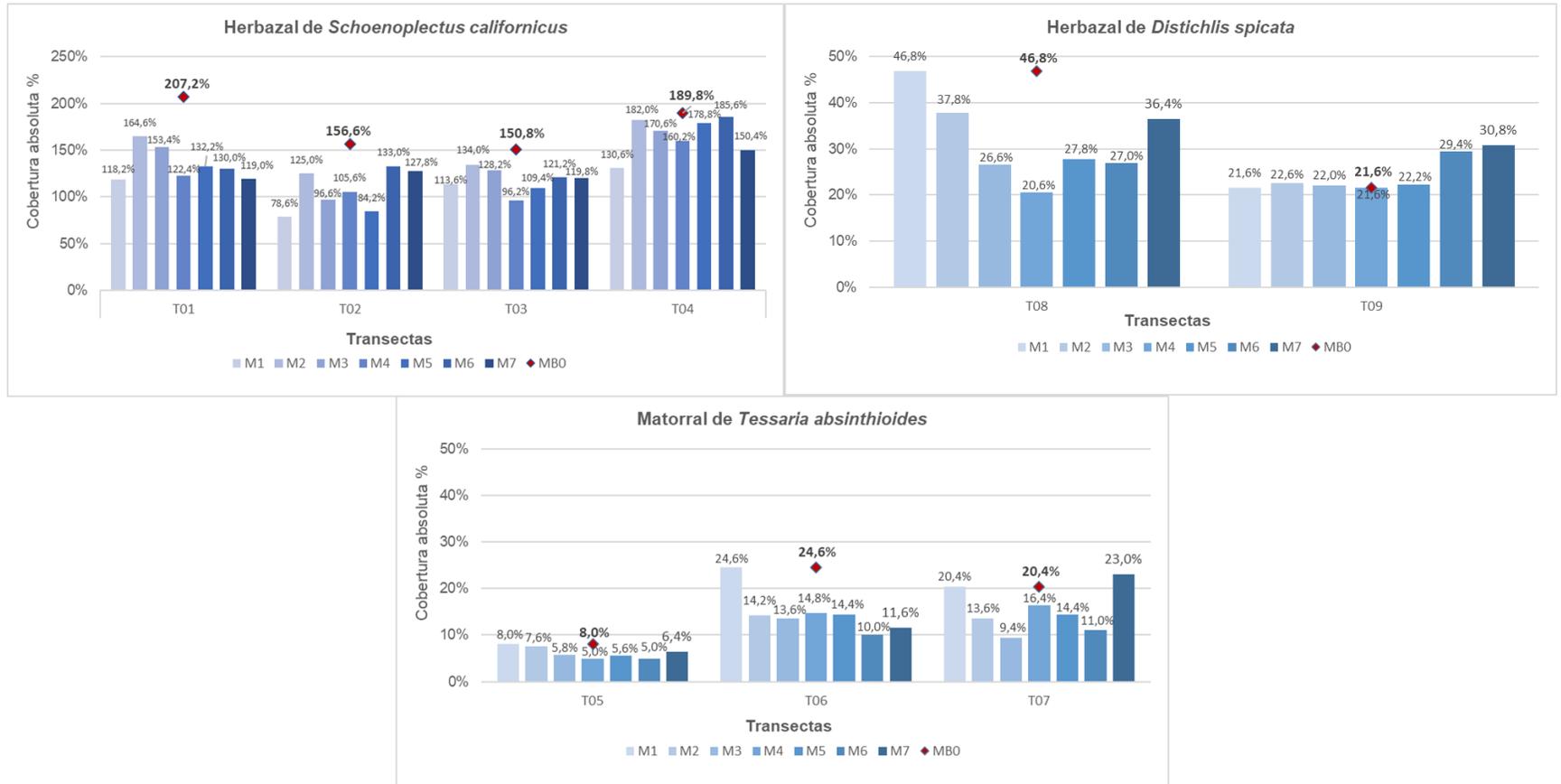
cercana o sobre el 100%, aunque en la transecta T02 se observan disminuciones en los monitoreos M1 y M5 menores al 80%); se observa que para M1, la cobertura es muy inferior a la registrada en MB0, a pesar de que corresponden ambas fechas a invierno del mismo año (2016), esto puede deberse a la latencia de las especies que pudieran haber afectado el valor de cobertura vegetal en esta formación, sin embargo, en monitoreo siguiente (M2; verano pos - lluvia 2017) se observa el ascenso pronunciado de la cobertura. Desde M1 a M7 en ningún monitoreo se observa una cobertura similar o superior a la de MB0, siendo M7 la segunda mayor cobertura registrada en T02 (127,8%) coincidiendo con un aumento leve en los últimos monitoreos. Para T04 se observa una cobertura más estable entre M2 y M7, con un leve descenso en M7 que no alcanza los niveles reportados en M1.

El herbazal de *D. spicata*, presenta dos situaciones (**Figura N°12-43**). La transecta T08 muestra una menor cobertura desde M2 a M6 con respecto a MB0, mostrando un aumento desde los seguimientos M5, M6 y M7, siendo este último un aumento sustancial en comparación a los últimos cuatro seguimientos. La transecta T09, muestra mayor estabilidad, con coberturas similares entre MB0 y M5, y presentando un aumento en M6 y M7, superior a lo registrado en MB0, siendo M7 el aumento más significativo del total de monitoreos (30,8%).

En el matorral de *T. absinthioides*, también se observa una variación dinámica de la cobertura vegetal entre monitoreos, con leve tendencia al descenso respecto a la condición base MB0. Para la transecta T05 se observa variaciones mínimas entre seguimientos, con M7 (6,4%) por sobre lo registrado desde M3 a M6. En T06, se observa una variación significativa desde M2 con respecto a MB0, valores que se han mantenido con variaciones leves, siendo M6 el seguimiento de cobertura más baja con respecto a sus antecesores y M7. Finalmente en la transecta T07 se observa un alza significativa de la cobertura absoluta registrada en M7 con respecto a sus antecesores, estando por sobre el MB0 base (**Figura N°12-43**).

En resumen, en las coberturas absolutas de las transectas en el sector Peine, se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos desde MB0 a M7 (2016-inv 2017), que no se traducen en una tendencia marcada al descenso o alza de tales coberturas; donde se destacan las formaciones de herbazal de *S. californicus*, que registra una cobertura absoluta cercana o sobre el 100%, que en general no ha registrado variaciones significativas (a excepción de la transecta T01 en comparación a su condición base, pero que se ha mantenido estable en el rango de los valores entre monitoreos). En general, el resto de las formaciones presentan valores dentro del rango de variación en comparación a MB0.

Figura N°12-43. Cobertura vegetal absoluta de las transectas en Monitoreo Base 0 (MB0), M1, M2, M3, M4, M5, M6 y M7 en el sector Peine.



Donde: MB0 monitoreo base 2016, M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019 y M7 monitoreo invierno 2019. Fuente: Coberturas absolutas de Tabla N° 1-6, Anexo I Vegetación y Flora.

b. Análisis de la estructura comunitaria (composición de especies)

A continuación, se presenta el análisis de tendencia, a partir de la variación de la cobertura vegetal de las especies y la variación en la composición de las especies en referencia al número de intercepciones en la transecta (frecuencia), para determinar cambios en la estructura comunitaria de la vegetación azonal.

En relación a **la variación de la cobertura vegetal de las especies**, por una parte se analiza la cobertura promedio anual de las especies en relación al periodo inicial (MB0; invierno 2016) en **Figura N° 12-44**, y seguidamente, se analiza la variación de estas coberturas entre periodos, MB0-Año 1, Año 1-Año 2, Año 2-Año 3 y entre Año 3-Año 4³⁵, detallando el análisis por formación vegetal para una mejor comprensión.

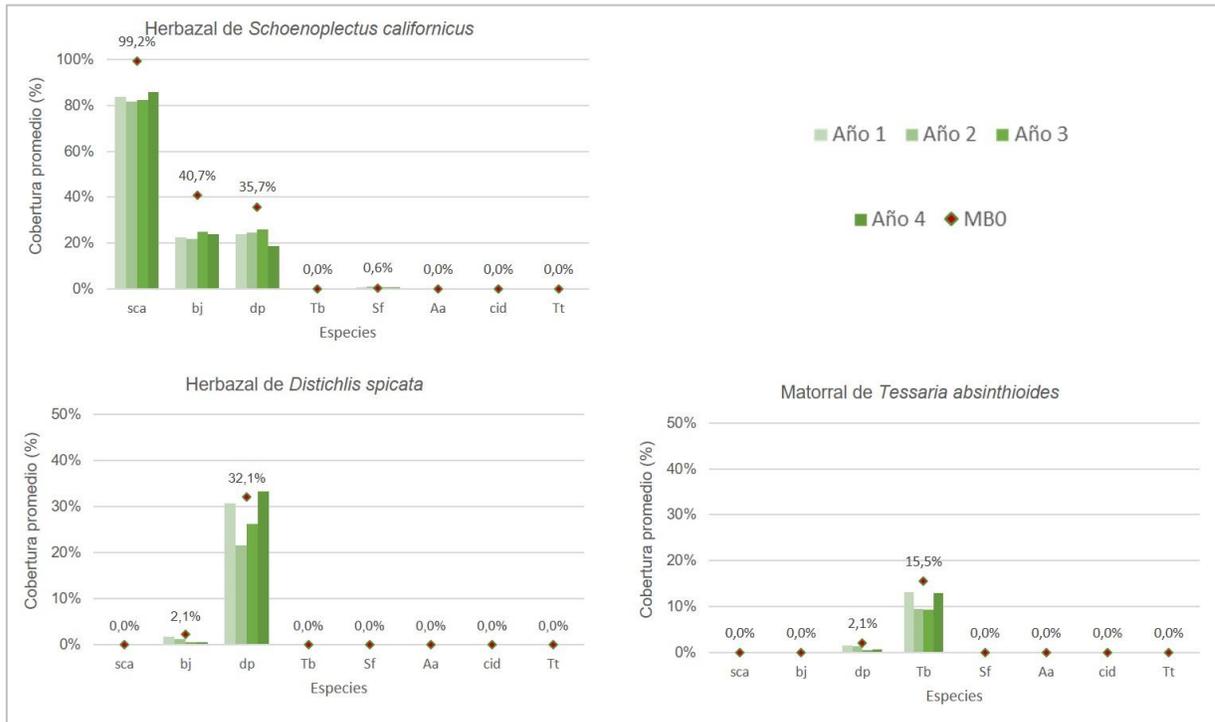
En el sector Peine, se registran ocho especies entre las formaciones vegetales en seguimiento, de las cuales tres especies son dominantes en cada una de las formaciones, las herbáceas *Schoenoplectus californicus* y *Distichlis spicata*, y el arbusto *Tessaria absinthioides*. En la **Figura N° 12-44** se presenta el promedio de la cobertura anual para estas ocho especies en las tres formaciones, ordenadas de mayor a menor cobertura en relación al sector, observando que *S. californicus* presenta la mayor cobertura promedio en los cuatro años, con una disminución de la cobertura promedio anual desde el primer año respecto a MB0, aunque se mantiene en una alta cobertura sobre un 80% en los cuatro años de seguimiento, mostrando una ligera tendencia de recuperación en el tercer y, sobre todo, cuarto año (de -17,5% entre MB0-año 2 a -13,4% entre MB0-año 4).

Para las otras especies, en general se observa una variación entre los años de monitoreo (**Figura N° 12-44**), observando que *D. spicata* presenta el mayor descenso en el año 2, representado por una variación de -9,1% desde el año 1, y disminuyendo un total de -10,6% respecto al valor inicial de MB0 en la formación donde domina; aunque, sin embargo, la especie muestra una tendencia de recuperación en el año 3 y en el año 4, llegando a recuperar y superar levemente en este último el promedio inicial de MB0 (+1,1%). El comportamiento es variable en el resto de las especies: o bien se observa un descenso continuo hacia el último año en algunas, su cobertura promedio se encuentra cercana al valor inicial de MB0, representando variaciones negativas menores al 5% entre periodos de seguimiento (ej. *Baccharis juncea* en el herbazal de *D. spicata* con -1,7% y *D. spicata* en el matorral con -1,5%); o bien muestran una mayor variación respecto a la cobertura inicial MB0, en el año 2 o 3, aunque mostrando una tendencia de recuperación luego (ej. *T. absinthioides* en el matorral que domina; *B. juncea* en el herbazal de *S. californicus*). *D. spicata* en el herbazal de *S. californicus* muestra el descenso más pronunciado (-17,1% entre MB0-año 4), mientras que, en la misma

³⁵ Esta comparación se realiza con la cobertura promedio entre los monitoreos de cada año: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 4: M7 y MB0: condición basal, invierno 2016. Para el Año 4 sólo se pudo realizar un monitoreo semestral, el de invierno 2019 (M7), por los que los valores para este año corresponden a dicha estación. Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I, sección 2.2**.

formación, *Sarcocornia fruticosa* presenta un ligero aumento en los cuatro años, respecto a la condición inicial (entre +0,1 y +0,4%).

Figura N° 12-44. Promedio de cobertura anual y monitoreo inicial por especie en las formaciones vegetales del sector Peine.



Donde: Especies: sca: *Schoenoplectus californicus*, bj: *Baccharis juncea*, dp: *Distichlis spicata*, Tb: *Tessaria absinthioides*, Sf: *Sarcocornia fruticosa*, Aa: *Atriplex atacamensis*, cid: *Cistanthe densiflora*, Tt: *Tiquilia atacamensis*.

Promedio anual de coberturas: Año 1: M1 y M2; Año 2: M3 y M4; Año 3: M5 y M6; Año 4: M7 y MBO-M1: condición basal, invierno 2016.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la **variación de la composición de especies a través de la frecuencia en la transecta**, en los cuatro años de seguimiento M1 a M7 en relación al registro inicial en MBO, se observa una estabilidad en la composición de especies en las formaciones vegetales, manteniendo una similar riqueza florística entre monitoreos, donde las variaciones se observan en el número de registros (frecuencia a través del n° de intercepciones en las transectas³⁶), denotando algunas variaciones en tramos específicos de las transectas entre monitoreos.

En el herbazal de *Schoenoplectus californicus*, si bien se registran valores menores en los monitoreos con respecto a MBO para la especie dominante, se observa una estabilidad entre monitoreos con una variabilidad, pero dentro de un rango similar de registros por tramo que se mantiene hasta M7 (**Figura N° 12-45**). Para las especies acompañantes se observa que el

³⁶ Esta frecuencia en la transecta se realiza a través del número de intercepciones en cada una, entendiendo que una transecta de 50 metros tiene 500 intercepciones posibles, en las cuales puede haber más de una especie en cada intercepción. A su vez, la transecta se dividió en tres tramos: Tramo 1= 0-10 m (100 intercepciones posibles); Tramo 2= 10,1 – 40 m (300 intercepciones posibles); Tramo 3= 40,1 – 50 m (100 intercepciones posibles). Para mayor detalle revisar metodología en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema**.

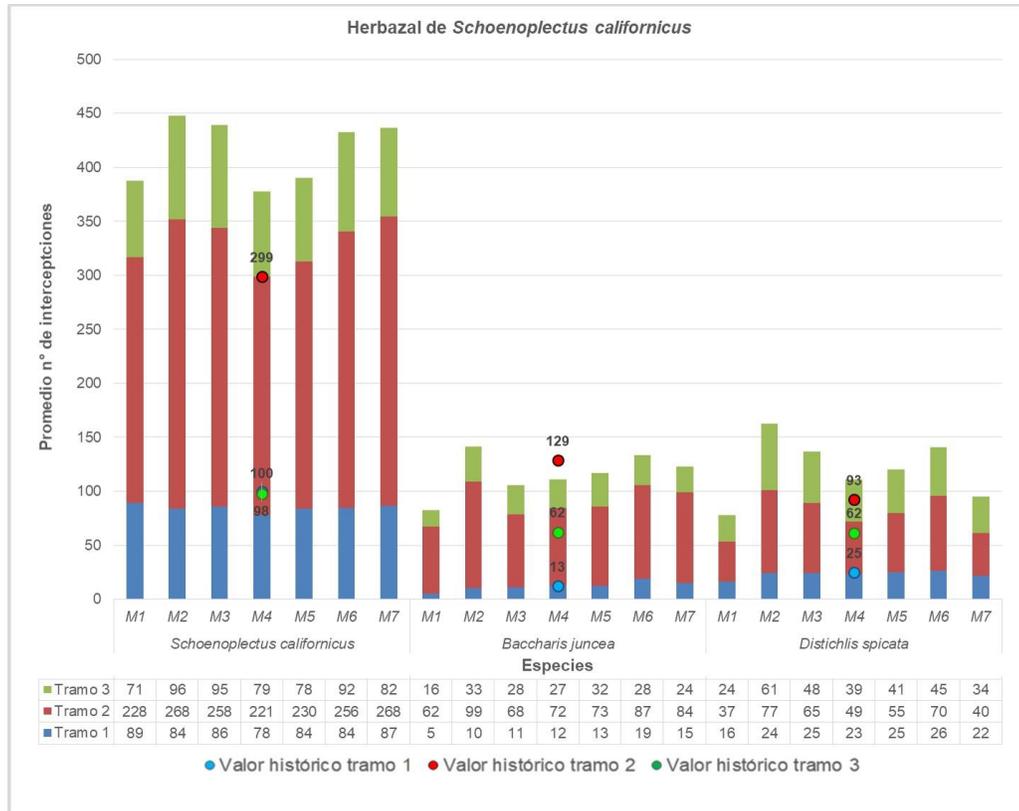
tramo 1 es el más estable y el que está dentro del rango histórico de MB0; para T2 se observan valores bajo el histórico con descenso de *D. spicata* en M7 y con *B. juncea* más estable entre monitoreos.

En el herbazal de *Distichlis spicata*, la especie dominante (*D. spicata*) presentaba disminución de sus registros entre M3 y M4, observados en los tramos 2 y 3 principalmente, en relación a MB0 y M1, registrando posteriormente una mayor presencia de la especie en M5, M6 y M7, superando al valor histórico de MB0 en M7 (**Figura N° 12-46**). En el caso de la acompañante *B. juncea* se observa una disminución, principalmente en el tramo 2, donde se había registrado en M1 y M3 y no vuelve a registrarse, aunque históricamente presentó bajos registros se presenta estable en el tramo 1.

En el matorral de *Tessaria absinthioides*, se observa una baja de los registros para la especie dominante, entre M2, M3, M5 y M6 con alzas en M4 y M7, en este último, y para el tramo 2, se supera el valor histórico con un alza significativa en comparación con los otros seguimientos (**Figura N° 12-47**). La especie acompañante *D. spicata* presenta valores dentro de rango entre monitoreos, manteniéndose bajo el nivel histórico de base.

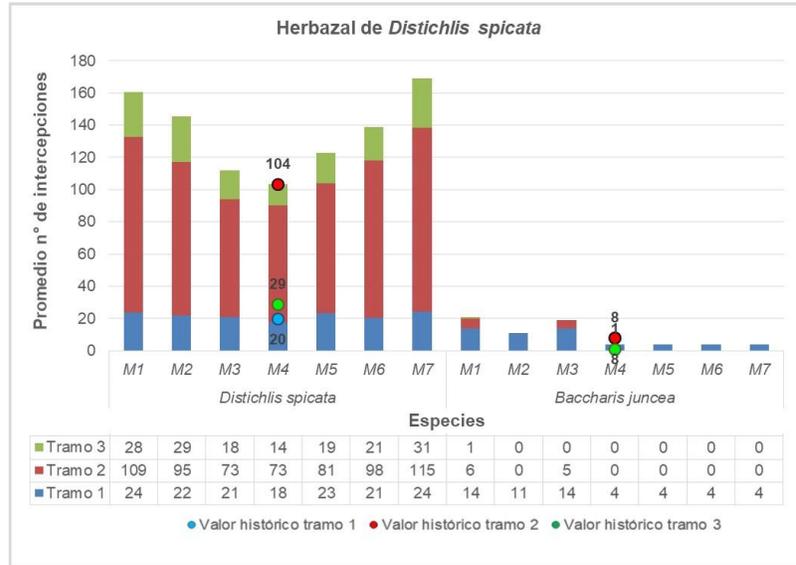
En términos generales, tanto las variaciones determinadas en la cobertura vegetal como en la estructura comunitaria de algunas transectas, no constituirían cambios significativos, y los descensos estimados se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar. Esto se deduce del análisis complementario que se realizó con el NDVI de imágenes Landsat para el periodo de estudio 2009-2020 (ver resultados para el sector en **sección 0**), y la validación de dicho análisis según correlaciones significativas obtenidas entre las coberturas determinadas en transectas y el NDVI (ver análisis de correlaciones en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5.1**)

Figura N° 12-45. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Schoenoplectus californicus* en sector Peine.



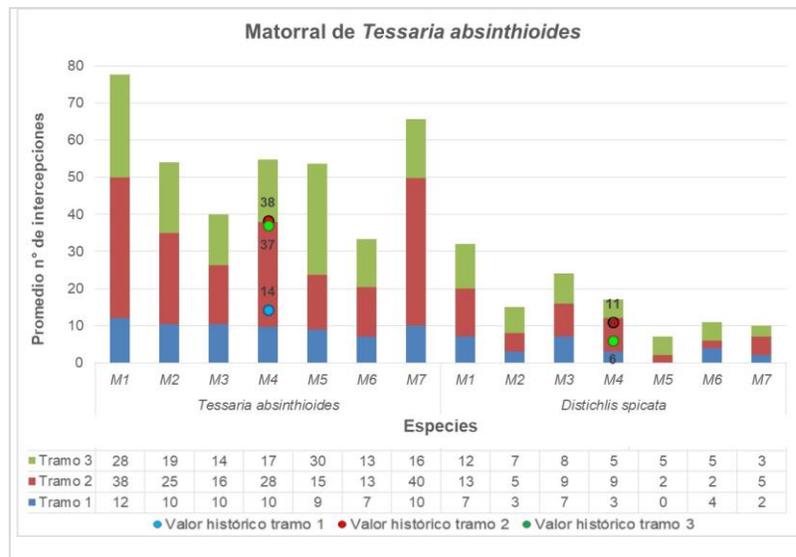
Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m;
 Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018,
 M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; Valores históricos: registros por tramo en
 MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 12-46. Número promedio de intercepciones por especie en monitoreos, en herbazal de *Distichlis spicata* en sector Peine.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 12-47. Número promedio de intercepciones por especie y monitoreos, en matorral de *Tessaria absinthioides* en sector Peine.



Donde: Tramos transecta 50 metros (500 interceptos): Tramo 1= 0-10 m; Tramo 2= 10,1 – 40 m; Tramo 3= 40,1 – 50 m; Monitoreos: M1 monitoreo invierno 2016, M2 monitoreo verano 2017, M3 monitoreo invierno 2017, M4 monitoreo verano 2018, M5 monitoreo invierno 2018, M6 monitoreo verano 2019, M7 monitoreo invierno 2019; Valores históricos: registros por tramo en MB0, monitoreo base en invierno 2016. Fuente: Elaboración propia.

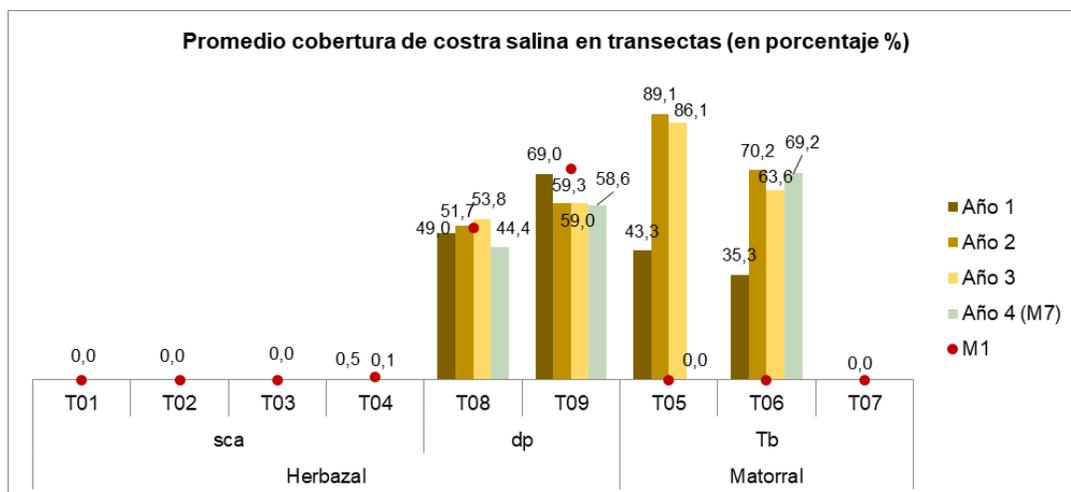
c. Variación de la salinidad en transectas

La **Figura N° 12-48** presenta la variación del promedio anual de las coberturas absolutas de afloramientos salinos registradas durante monitoreos semestrales para el periodo 2016 a 2019 (M1 a M7), en las nueve transectas en tres formaciones de seguimiento del sector. En este reporte, y debido a que no se pudo desarrollar la campaña post – lluvias 2020 y con ello la obtención de datos *in situ* para transectas, se utilizan sin promediar los valores de coberturas absolutas del seguimiento M7, correspondientes al cuarto año de seguimiento.

En el sector, el herbazal de *S. californicus*, no registra cobertura salina (0%); mientras que el herbazal *D. spicata* y el matorral de *T. absinthioides* (T08 y T09) registran rangos entre 44% a 69% y de 35% a 89%, respectivamente (el último exceptuando la T07 que registra ausencia de recubrimiento salino; **Figura N° 12-48**).

Seis de las nueve transectas de monitoreo del sector, registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento, con ausencia de la cobertura en todos los monitoreos; mientras la transecta T06 muestra un aumento en comparación con M1 de +43%, +89%, +86%, en el Año 1, 2, y 3 respectivamente; sin embargo, no presenta cobertura salina al Año 4 (M7) coincidente con la condición base en M1. La transecta T06 de la misma formación zonal de *T. absinthioides* presenta una baja cobertura en el año 1, que se incrementa y mantiene en los siguientes monitoreos.

Figura N° 12-48. Promedio anual de la cobertura de afloramientos salinos en transectas de vegetación durante los monitoreos del proyecto en el sector Peine.



Especies dominantes en formaciones monitoreadas: **sca:** *Schoenoplectus californicus*; **dp:** *Distichlis spicata*; **Tb:** *Tessaria absinthioides*. Promedio anual de coberturas **Año 1:** M1 y M2; **Año 2:** M3 y M4; **Año 3:** M5 y M6; **Año 3:** M7.

Fuente: Elaboración propia.

Los factores que pueden explicar el ascenso de la cobertura salina en el matorral de *T. absinthioides* del sector (en T05 y T06), pueden relacionarse con los siguientes factores, son:

- La amplia variación de la concentración de sales en el suelo, según valores registrados en esta formación durante monitoreos de suelo (S12), con un rango registrado en la conductividad eléctrica de ligeramente salino a extremadamente salino, entre 3.970 y 23.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- La variación de la cobertura vegetal por un periodo de baja entre diciembre 2015 a diciembre 2016, sugiriendo la ocurrencia de un evento anómalo en este periodo, el cual conllevó al posible descenso en esta formación dentro del sector.
- El efecto por variaciones hidroclimáticas existentes en el sistema, las cuales determinan la disponibilidad de agua para la actividad y cobertura vegetal cuya baja repercute en una mayor superficie de costra salina (ver detalle de análisis de correlaciones con variables hidroclimáticas en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.5**).

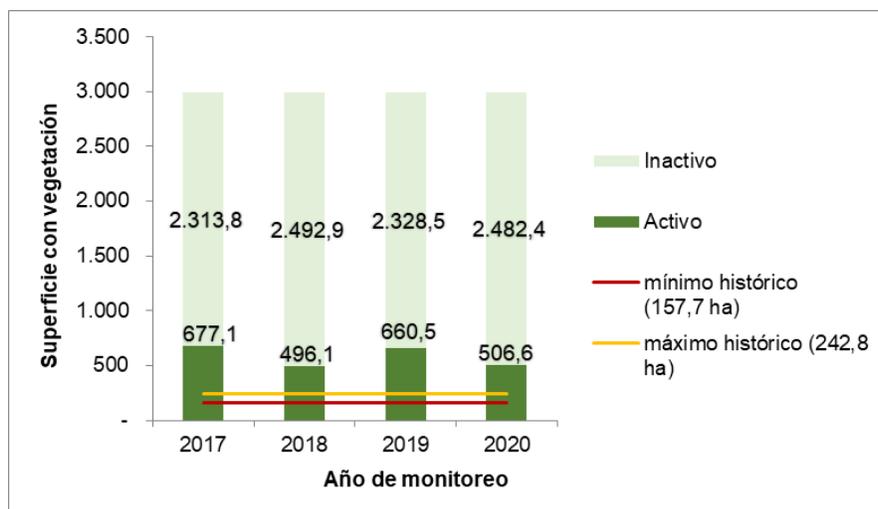
El caso de descenso en la cobertura salina de la T09 (herbazal de *D. spicata*), registraba hasta el monitoreo M6, una relación proporcional significativa entre la cobertura vegetal y la salinidad del suelo (signo positivo); sin embargo a M7 esta relación no se establece, por lo que se requiere más datos para concluir si existe tal relación (detalle de análisis de correlaciones entre coberturas en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.3** y análisis de evolución de la cobertura vegetal en transectas en **sección 12.5.2.1.1.a** de este documento).

12.5.2.1.2 Cobertura de vegetación activa (NDVI)

La evaluación comparativa de la **cobertura vegetal activa obtenida con el NDVI de imágenes alta resolución** de post-lluvias estivales 2017-2020, entre los valores de línea de base y de monitoreos, se presenta gráficamente en la **Figura N°12-49**, y de los datos de NDVI se observa para el Sector Peine la mantención del estado ecológico, con mayores coberturas en relación al rango histórico para el sector general. Por otro lado, en particular para la formación de herbazal de *S. californicus* dentro del sector, **Figura N°12-50**, este año 2020 se observa un aumento respecto del año anterior 2019, lo que produce un quiebre en la tendencia al descenso que se venía observando desde el 2017, valores por debajo del rango histórico obtenidos desde imágenes de resolución media (ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.1**).

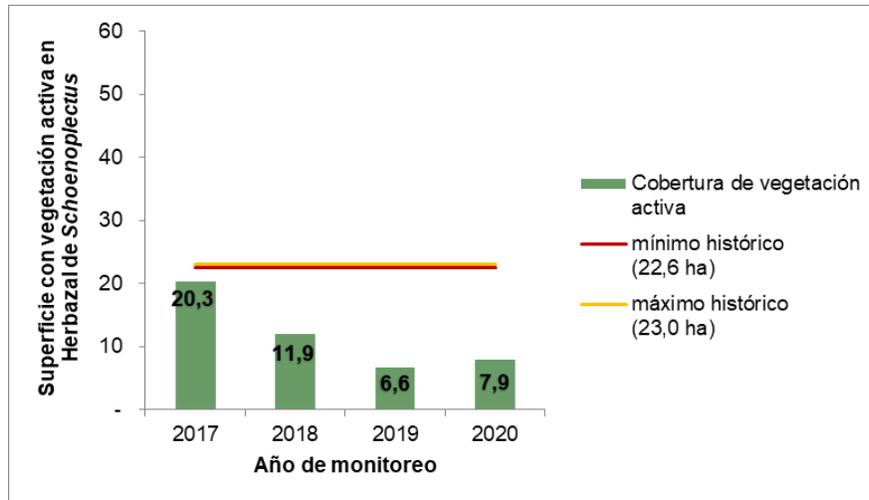
La superficie vegetal inactiva en el sector registra valores entre rango mínimo y máximo de 2.313,8 (2017) y 2.492,9 (2018) hectáreas, esto equivale entre un 77,4% a 83,4% de la superficie COT con vegetación (**Figura N°12-49**; detalle de evaluación interanual entre monitoreos mediante el análisis de recurrencia en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.2.b**). El sector tiene un rango de actividad que va desde 16,6 % al 22,6%, con un porcentaje máximo del 22,6% (677,1 hectáreas) en 2017; en general, se verifica una leve fluctuación entre 2017 – 2018 y 2019 – 2020 donde existe una variación porcentual de 7% a 3% mostrando un ciclo de baja y alta actividad, a la fecha, cada dos años.

Figura N°12-49. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2020, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine en superficie con vegetación del sector.



Fuente: Superficies de vegetación activa (NDVI) en relación a los registros históricos de Landsat y alta resolución por sector, Informe Anual No 4. Monitoreo invierno 2018 – Verano 2020 Plan de Manejo Biótico.

Figura N°12-50. Formación de herbazal de *S. californicus*. Comparación de la cobertura de vegetación durante monitoreos anuales en verano 2017-2020, con valores históricos obtenidos del NDVI de imágenes de alta resolución en el sector Peine



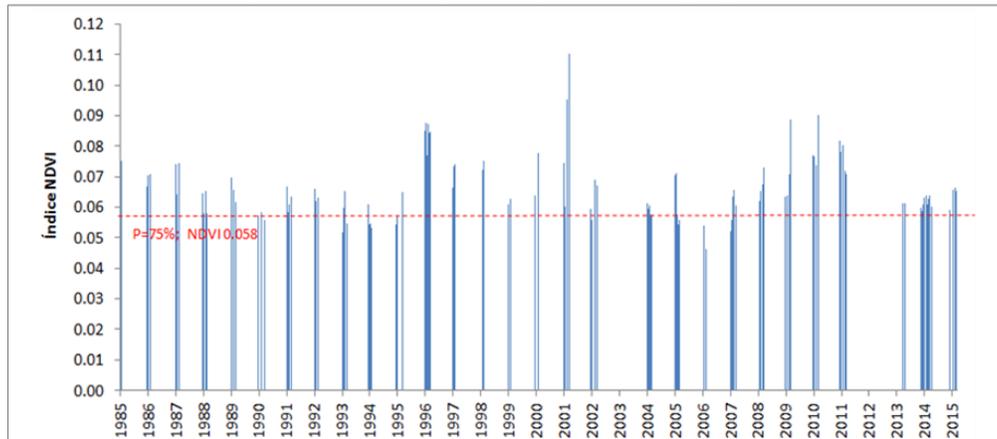
Fuente: Informes anuales de seguimiento PMB Albemarle (2017, 2018, 2019 y 2020) y valores históricos de línea de base según Tabla 5.3 "Resumen de registros máximos y mínimos propuestos para monitoreo de vegetación y cuerpos acuáticos, mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana", del Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).

De manera adicional, pero que permite el análisis comparativo con registros históricos, se compararon los **valores del NDVI de imágenes Landsat con probabilidad de excedencia de 75%** (Figura N°12-51) según lo señalado en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5, éste corresponde al valor que es superado un 75% de las veces, como el límite para detectar si el sistema presenta una vigorosidad relativamente baja respecto a su comportamiento histórico (ver detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.3**).

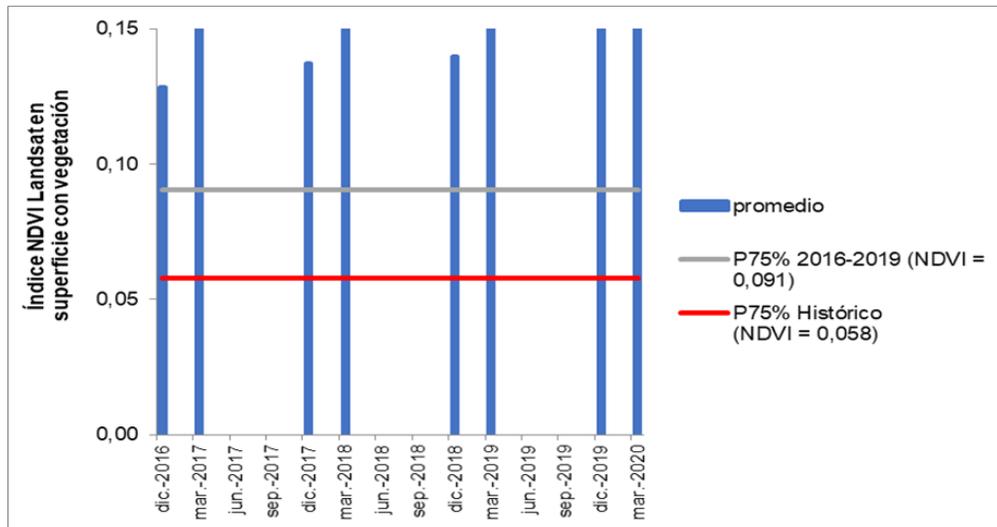
La comparación con valores históricos de línea de base del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo de operación y durante las temporadas estivales (diciembre-marzo) 2016-2020, reflejan el mismo resultado obtenido con el NDVI de imágenes de alta resolución: la mantención del estado ecológico para las superficies con vegetación del sector (Figura N°12-51), y en particular para la formación de herbazal de *S. californicus*, se muestra sobre el histórico de los valores del NDVI de imágenes Landsat con probabilidad de excedencia de 75% , y con una recuperación al ascenso en 2019 en comparación a la serie histórica previa operación del proyecto, según lo señalado en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5 (Figura N°12-52).

Figura N°12-51. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2020) en la superficie con vegetación del sector Peine.

A) Serie histórica previo operación del proyecto*

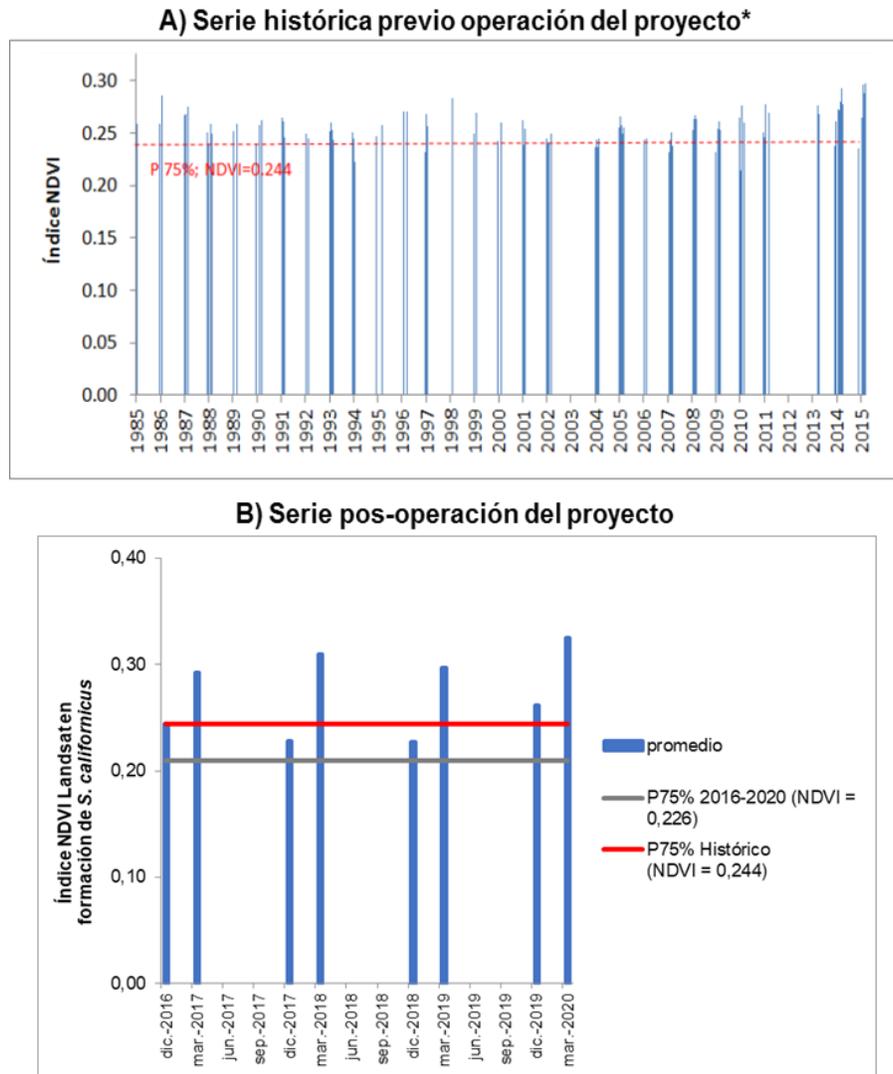


B) Serie pos-operación del proyecto



Nota: * Valores históricos: de **Figura 4.6.** “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Peine, estimado sobre el Polígono de vegetación Peine (COT). Se indica probabilidad de excedencia NDVI de 75%.” y según **Tabla 5.1** “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del **Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).**

Figura N°12-52. Formación de herbazal de *Schoenoplectus californicus*. Comparación con valores históricos del NDVI obtenido de imágenes Landsat, para el periodo operación del proyecto durante las temporadas pre y post lluvias estivales (diciembre 2016 – marzo 2020) en el sector Peine.

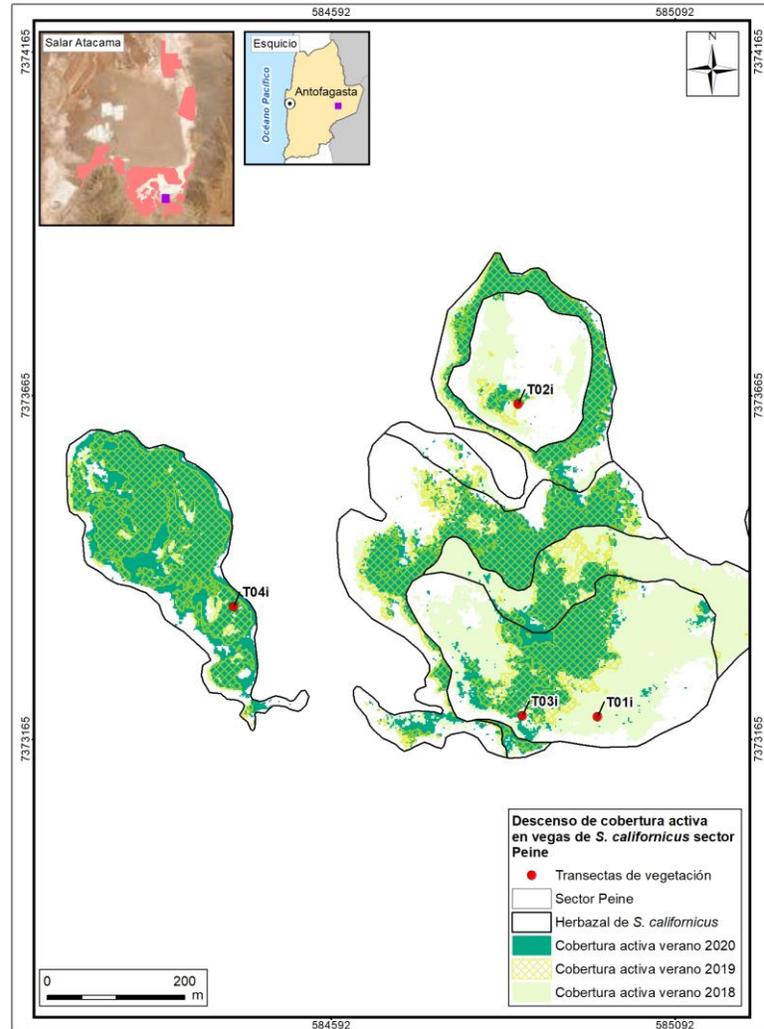


Nota: * Valores históricos: de **Figura 4.7.** “Serie de índice NDVI obtenida mediante imágenes LANDSAT en sector Peine, estimado sobre el Polígono Peine Herbazal Muy Denso de *Schoenoplectus*. Se indica probabilidad de excedencia NDVI de 75%.” y según **Tabla 5.1** “Resumen de registros NDVI de probabilidad de excedencia de 75% propuestos para monitoreo de Vegetación mediante herramientas de teledetección para sectores Tilopozo, Peine, Soncor y Quelana”, del **Apéndice B, Anexo N°2 (Adenda N°5 – RWL, 2015).**

En particular, para las formaciones de herbazal de *S. californicus* del sector, las variaciones en el registro de la cobertura activa se pueden relacionar con varios factores:

- La afectación antrópica por quemas registradas durante la primavera 2018 en la unidad de mayor superficie (8,15 hectáreas) con esta formación en el sector (incendios sucedidos entre los monitoreos 2018 y 2019. Este evento, ha conllevado a un descenso importante de la cobertura activa estimada en el monitoreo de verano de 2019 (**Figura N°12-53**).
- La condición de mayor variabilidad de la actividad vegetal en comparación con otras formaciones del sector (ver comparación interanual de la tendencia interanual con el NDVI Landsat), lo que sugiere una relación más estrecha con variables hidroclimáticas del Salar, las cuales a su vez determinan la disponibilidad de hídrica para la actividad vegetal (análisis de relaciones con variables hidroclimáticas en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.6.1** - respuesta herbazales).

Figura N°12-53. Variación de distribución de la cobertura de vegetación activa* (AR) durante monitoreos de verano 2018 y 2020 en unidades de herbazal de *S. californicus* en el sector Peine.



* Cobertura vegetal activa obtenida desde NDVI de imágenes de alta resolución.
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, también de manera complementaria a lo exigido al PMB, se realiza un **análisis de recurrencia de las coberturas de vegetación activa obtenidas a partir del NDVI de imágenes de alta resolución (2017-2020)**³⁷, con el objetivo de analizar el comportamiento multitemporal de esta cobertura, utilizando las superficies obtenidas para los cuatro años de monitoreo en el periodo marzo – abril³⁸. Este análisis, tiene como fin determinar las áreas de

³⁷ **Nivel de recurrencia** se refiere al número de superposiciones de una misma condición de análisis, es decir la presencia en seguimientos sucesivos, en este caso de la cobertura vegetal activa obtenida desde el índice NDVI en los monitoreos anuales de verano (post - lluvia) 2017, 2018, 2019 y 2020.

³⁸ Se refiere como **comportamiento multitemporal** a las variaciones espaciales y temporales entre los cuatro monitoreos, ya que para evaluar una tendencia estadística se requieren de mayor cantidad de datos. Por lo mismo,

superposición resultantes que representan el nivel variabilidad o estabilidad espacial de la actividad vegetal en las formaciones de seguimiento (detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.2**).

En base al análisis de recurrencia, **Figura N°12-54**, la superficie que ha reflejado actividad según el NDVI durante los monitoreos asciende a una cobertura activa acumulada de 897,6 hectáreas (**Tabla N°2-4. sección 2.2. Análisis de recurrencia de la cobertura activa, Anexo I de Estado Ecológico del Sistema**), equivalente a un 40,3% del total en el sector Peine (2.228,2 hectáreas, actividad acumulada). Entre las formaciones azonales en seguimiento del sector, aquella con mayor estabilidad en su cobertura activa es el matorral de *T. absinthioides*, dado que registra la proporción más alta de 3,8% (84,3 hectáreas) con superficie en nivel de recurrencia de 100%, indicando actividad en 4 de los 4 monitoreos evaluados; y es el mismo matorral de *T. absinthioides* el que presenta menor nivel de recurrencia de la cobertura activa (recurrencia entre 0% a 25%), el que refleja en su superficie restante una alta variabilidad o inestabilidad en su actividad o vigor. El detalle del análisis de recurrencia del sector en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.2.b**.

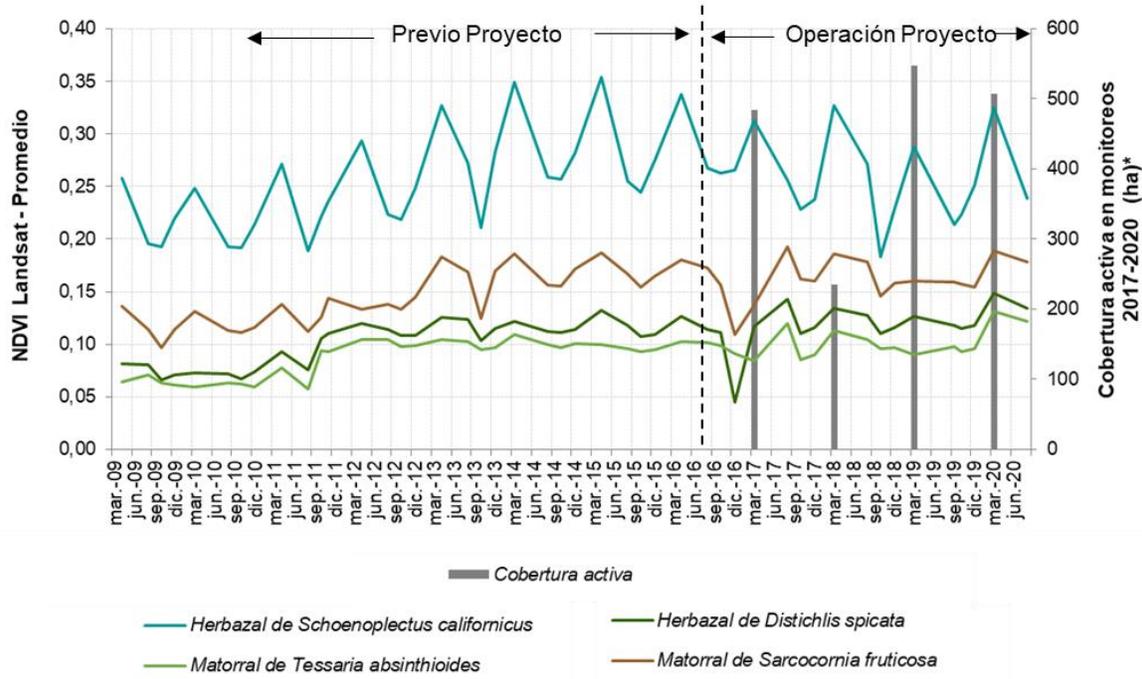
También, se realizó la **comparación de la tendencia a escala interanual del NDVI Landsat** para el periodo pre - operacional (2009-2016) y operacional (2016-2020) en las formaciones de seguimiento en el sector (detalle metodológico en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 2.4**). En la **Figura N°12-54**, la evaluación de la tendencia interanual del NDVI Landsat, registra un ascenso en ambos periodos de estudio, indicando esto una estabilidad en la actividad/vigor de la vegetación, incluso con una leve tendencia al ascenso en todas las formaciones vegetales monitoreadas.

Particularmente, en la formación de **herbazal de *S. californicus***, el análisis de la tendencia a escala interanual del NDVI Landsat muestra un ascenso de los valores de NDVI promedio en su evaluación del periodo total 2009 – 2020, mostrando variaciones intranuales con veranos de menor actividad de la especie y alzas de comportamiento post - lluvias. Según el análisis de serie Mann Kendall, esta formación junto a las formaciones zonales y azonales, en seguimiento, presentan una tendencia significativa al alza (**Figura N°12-54**).

Si bien en el Apéndice B, Anexo 2 de la Adenda 5, se indica que los resultados de la cobertura vegetal se compararán con la **Figura 4.4** de éste mismo, lo anterior no es comparable ya que el compromiso del monitoreo se realiza mediante imágenes de alta resolución a diferencia del Apéndice que se representa con imágenes Landsat.

esto último se analiza posteriormente con los datos provenientes de imágenes Landsat para un periodo de 11 años, 2009-2020.

Figura N°12-54. Series de tiempo del NDVI Landsat 2009-2020 y evaluación de tendencias interanuales (test Mann-Kendall) en los periodos histórico (previo al proyecto 2009-2016) y total, en formaciones vegetales monitoreadas del sector Peine.



Test Mann-Kendall: Evaluación de tendencias interanuales en el NDVI Landsat

Formaciones vegetales monitoreadas	Previo proyecto (2009-2016)			Periodo Total (2009-2020)		
	n	p-value	S	n	p-value	S
<i>Matorral de Tessaria absinthioides</i>	46	0,003 *	317	29	0,000 *	164
<i>Matorral de Sarcocornia fruticosa</i>	46	0,000 *	449	29	0,000 *	234
<i>Herbazal de Distichlis spicata</i>	46	0,000 *	523	29	0,000 *	222
<i>Herbazal de Schoenoplectus californicus</i>	46	0,058	201	29	0,002 *	170

Donde: * p-value < 0,05 indica tendencia significativa con nivel de significancia de 95%.
Parámetro S: un valor positivo del es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo.

Nota: * Superficies de cobertura activa en formaciones monitoreadas, obtenidas durante monitoreos anuales con el NDVI de imágenes de alta resolución 2017, 2018, 2019 y 2020. Formaciones vegetales monitoreadas según homologación de la COT en base a monitoreos de transectas (detalle en **Anexo I de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2**).

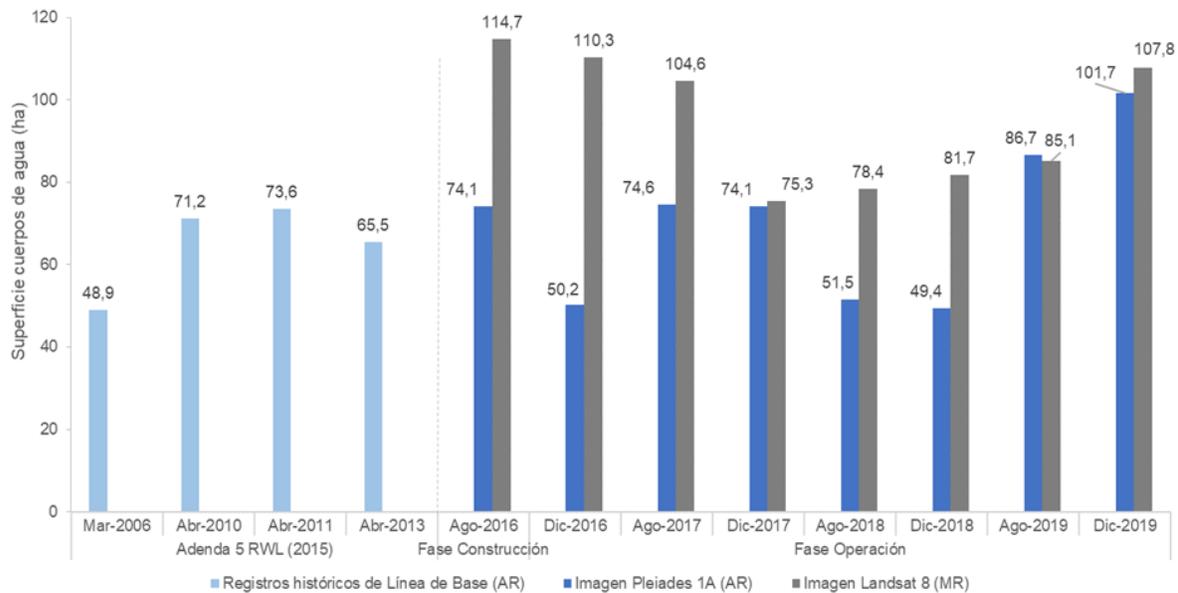
Fuente: Elaboración propia.

12.5.2.2 Superficie de Lagunas

12.5.2.2.1 Comparación con los registros de línea de base

En el sistema lagunar Peine, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en diciembre 2019 abarca una superficie de 101,7 ha y en agosto de 2019 es de 86,7 ha. La comparación con el registro mínimo histórico de línea de base (48,9 ha), estimado desde este mismo tipo de imágenes satelitales (Adenda 5 RWL, 2015), indica que la cobertura de diciembre 2019 es mayor en +52,8 ha (108%) y la de agosto de 2019 es mayor en +37,8 ha (77%). La **Figura N°12-55** muestra la comparación de las superficies calculadas con los registros históricos en este sistema hasta la fecha, en que todas las áreas estimadas entre 2016 a 2019 se encuentran por sobre el mínimo de línea base.

Figura N°12-55. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.

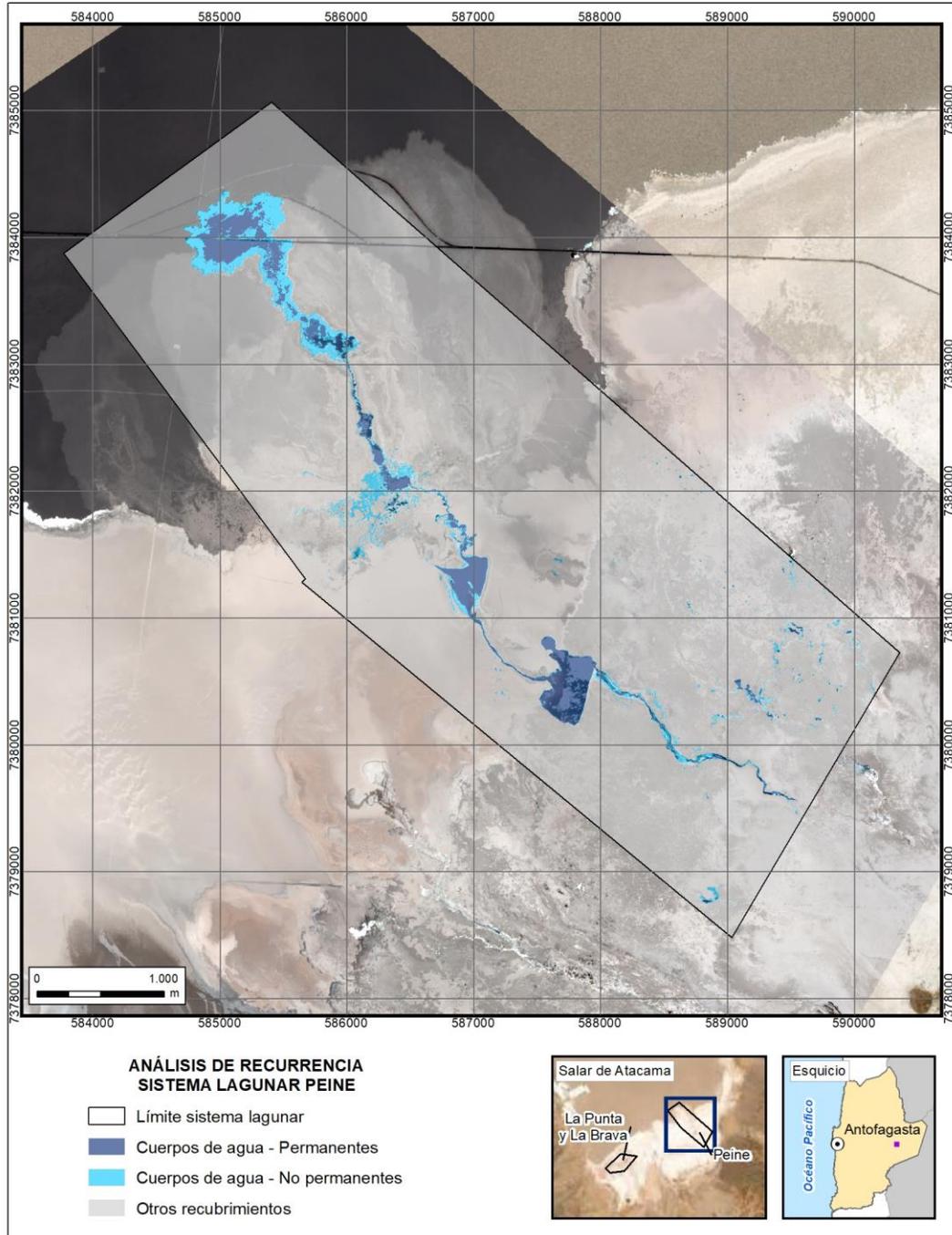


Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (pixel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (pixel menor a 4m).

Fuente: Elaboración Propia a partir de modelo de clasificación supervisada.

De manera complementaria, se realizó un análisis de recurrencia con el fin de dimensionar el comportamiento temporal de las superficies cubiertas por lagunas y, así, definir aún mejor la evolución de las superficies lagunares, que en base a esta disgregación pueden ser también clasificadas en estratos *permanentes*, *no permanentes* y *otros recubrimientos* del sistema lagunar de Peine (**Figura N° 12-56; Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.1**).

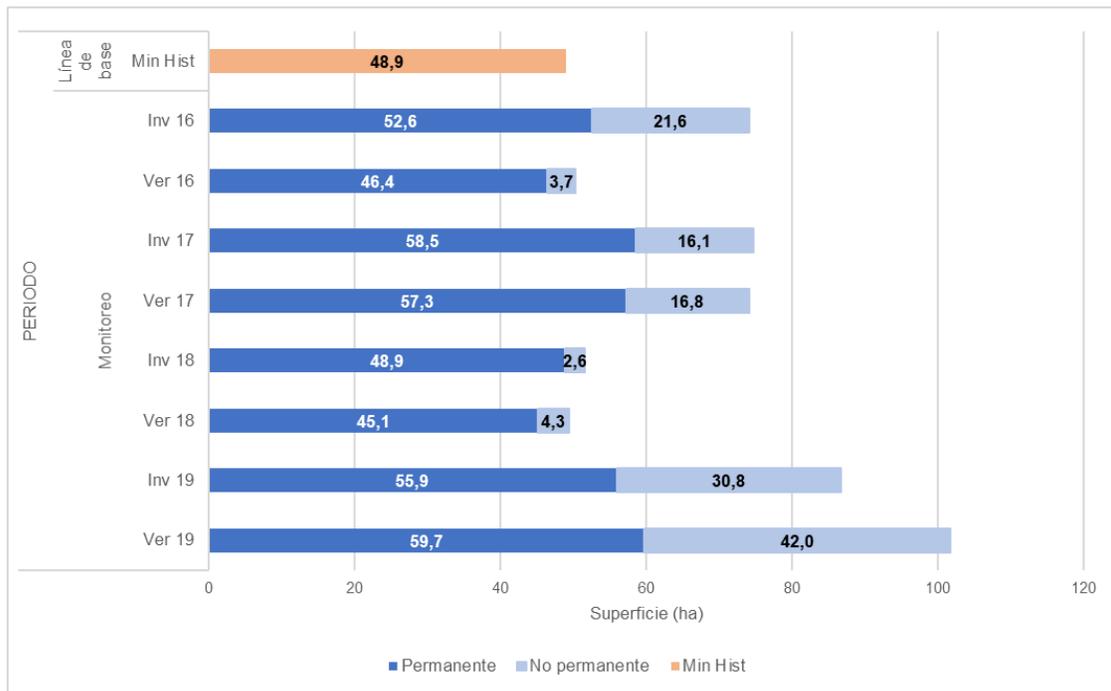
Figura N° 12-56. Clasificación de estratos según análisis de recurrencia, sector La Punta y La Brava.



Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto al sector de Peine, la variación de las superficies *no permanentes* muestra una fuerte influencia en base a la dinámica de laguna Interna, que tiene una amplia superficie de inundación cíclica, asociada a eventos interanuales e intranuales asociado a precipitaciones (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2**) (**Figura N° 12-56**). En la **Figura N°12-57**, el área de línea base incluye tanto las áreas *permanentes* como las áreas *no permanentes* y en comparación con las superficies de los 4 años posteriores, se tiene que la suma de estos estratos para todos los años está por sobre el mínimo histórico durante todos los monitoreos. Por otro lado, se ve reflejada una tendencia en las variaciones interanuales por estrato de recurrencia, donde puede observarse un incremento de los valores *no permanentes* en épocas de verano sobre la época de invierno, a excepción de invierno 2016 que presenta una gran variación con respecto al mes de verano 2016 (**Figura N°12-57**).

Figura N°12-57. Superficies permanentes y no permanentes, en comparación con mínimo histórico, sector Peine.

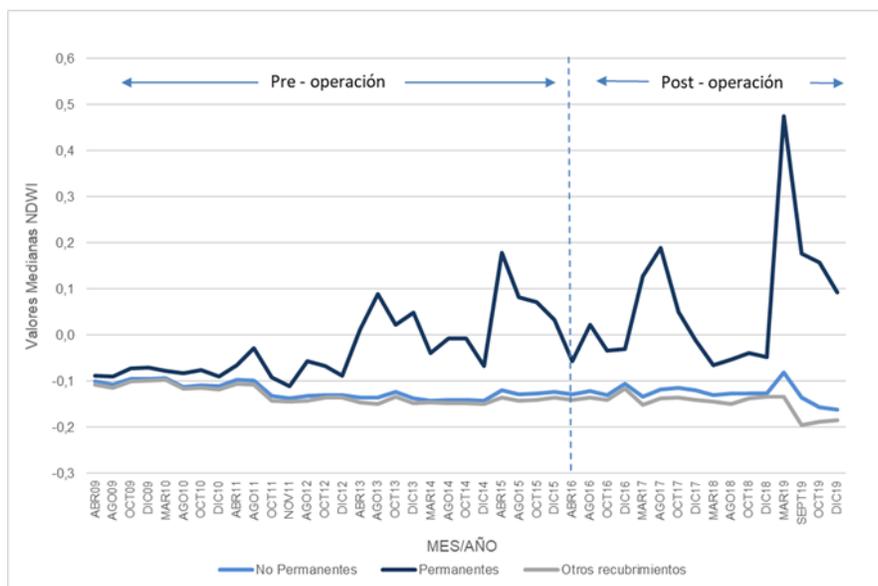


Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó también un análisis multitemporal para el sector de Peine, con el fin de definir una condición de referencia y comprender el funcionamiento del ecosistema en estudio, esto dentro de algunos límites específicos que indican un estado determinado de éste, su dinámica y/o trayectoria, a una escala espacial y temporal definida para la observación (Jax, 2010); lo anterior en base a los valores de los índices NDWI y NDVI que pueden detectar cuerpos de agua (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.2**).

La serie de tiempo calculada para el sector Peine de acuerdo con los valores del NDWI, previo y posterior al inicio de operación del proyecto, muestra en ambos casos un aumento en la tendencia de los valores de NDWI en el estrato *permanente*, y una leve disminución en la tendencia de los valores en los estratos *no permanentes* y *otros recubrimientos*. La variación temporal del índice NDWI que presenta un aumento en sus valores (aumento de valores positivos) en su estrato *permanente*, puede relacionarse con la estabilización de las áreas de ocupación de este estrato cuyas características están más asociadas a lagunas y sus corredores, que a cuerpos de agua con reflectancia superficial. Por otro lado, los cuerpos de agua *no permanentes* presentan una leve variabilidad en su evolución, lo que señala una disminución de ecotonos húmedos (zonas de alta humedad o rebalse lagunar), lo que también se sustenta con el leve aumento de valores de NDWI del estrato *otros recubrimientos* lo que señala su permanencia como zonas de suelos desnudos de baja humedad superficial (**Figura N°12-58**) (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.2**).

Figura N°12-58. Variación temporal de valores de NDWI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector Peine.



Test Mann - Kendall: Evaluación de tendencias temporales de valores NDWI Landsat

** ESTRATOS DE CUERPOS DE AGUA	Previo al proyecto (2009 - 2016)			Periodo actual (2009 - 2019)		
	n	p - value	S	n	p - value	S
Permanentes	28	*0,000	184	43	*0,000	149
No Permanentes	28	*0,001	-164	43	*0,019	-255
Otros Recubrimientos	28	*0,000	-182	43	*0,000	-333

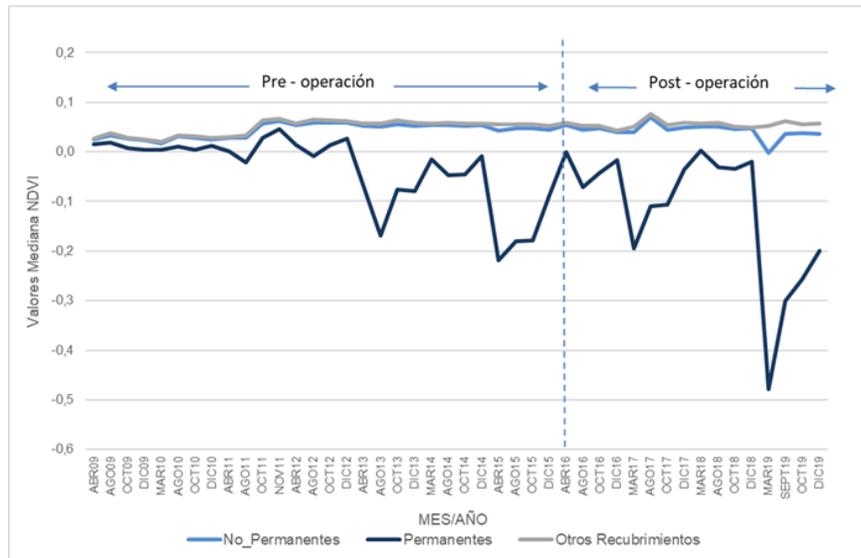
Donde: * **p-value < 0,05** indica tendencia significativa y nivel de significancia del 95%. **Parámetro S:** un valor positivo es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo. ** En base al análisis de recurrencia detallado en la

Anexo II, sección 3.2.2. Fuente: Elaboración Propia.

También, se realizó un análisis con el índice espectral NDVI, dado que permite discriminar entre recubrimientos de un suelo sobresaturado y con vegetación, con lo cual se valida y complementa los resultados obtenidos con el NDWI. El NDVI en valores negativos de 0 a -1, detecta proporcionalmente suelos secos y/o desnudos, y presencia de cuerpos de agua; es decir, valores cercanos a -1 reflejan mayor contenido de humedad típico de un suelo saturado a sobresaturado. Además, en el rango positivo 0 a 1, éste diferencia la detección de vegetación.

En relación a los valores del índice NDVI para el sector de Peine, se evidencia una tendencia a la baja en los valores para el estrato *permanente*, y un muy leve aumento en los valores de los estratos *no permanentes* y *otros recubrimientos*; sin embargo, estos últimos no presentan una significancia estadística. El estrato *permanente* mediante los valores de NDVI, se presenta como un estrato estable en sus áreas de ocupación y con características generales asociadas a cuerpos de agua de profundidad (Figura N°12-59)(Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.2).

Figura N°12-59. Variación temporal de valores de NDVI Landsat 2009 – 2019 según estrato de recurrencia y evaluación de tendencias (test Mann-Kendall) en escenarios pre operación (2009 – 2016) y periodo total (2009 – 2019), sector Peine.



Test Mann - Kendall: Evaluación de tendencias temporales de valores NDVI Landsat

** ESTRATOS DE CUERPOS DE AGUA	Previo al proyecto (2009 - 2016)			Periodo actual (2009 - 2019)		
	n	p - value	S	n	p - value	S
Permanentes	28	*0,000	-34	44	*0,000	14
No Permanentes	28	*0,045	136	44	0,879	210
Otros Recubrimientos	28	0,095	200	44	0,213	238

Donde: * **p-value < 0,05** indica tendencia significativa y nivel de significancia del 95%. **Parámetro S:** un valor positivo es indicador de una tendencia ascendente, lo contrario con signo negativo.

** En base al análisis de recurrencia detallado en la **Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.2.**

Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto a las mayores variaciones espaciales del NDWI para el sector de Peine, o bien en qué lugares se producen dichas variaciones, éstas se presentan al interior de los estratos *permanentes* y *no permanentes* de los cuerpos lagunares del sector Laguna Interna, denotando una dinámica general de presencia/ausencia (bordes) y de expansión/retroceso (centro), siendo en estos sectores donde el NDWI muestra una muy buena correlación con valores principalmente de profundidad (Li, L. *et al*, 2015) (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.3 y 3.2.4**). El resto del sistema presenta una variación baja a muy baja.

El mismo análisis de variación espacial para el índice NDVI en este sector, describe las mismas características por estratos que las presentes en el análisis con el índice NDWI, donde la zona de Laguna Interna arroja mayor variabilidad, esta vez en una superficie más amplia. En este sector, ambos índices presentan un estrato *otros recubrimientos* más estables (**Anexo II de Estado Ecológico del Sistema, sección 3.2.3 y 3.2.4**).

12.5.2.3 Niveles Freáticos Sector Peine

Para el Sector Peine, se utilizan como datos de referencia los valores de línea base presentados en Anexo 2 de Adenda 5, que corresponden a los pozos BA-21, y BA-22. Con los valores registrados y monitoreados en los años que van de seguimiento de frecuencia mensual, se presenta el análisis de tendencia de acuerdo a lo estipulado para la variable: “*que los valores medidos anualmente en promedio se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector.*”

Los valores de línea base para este Sector Peine, corresponden a los registrados desde abril 2013 hasta agosto del año 2015. Se incluye monitoreo desde agosto 2015 hasta marzo 2016, bajo la condición sin proyecto, de manera de darle continuidad al monitoreo. A este período más extenso se le ha denominado Período Histórico.

En la **Tabla N° 12-12**, se presentan los estadígrafos para los períodos considerados y en las **Figura N° 12-60** y **Figura N° 12-61**, se presentan las gráficas temporales y los promedios anuales de los niveles para cada período respectivamente.

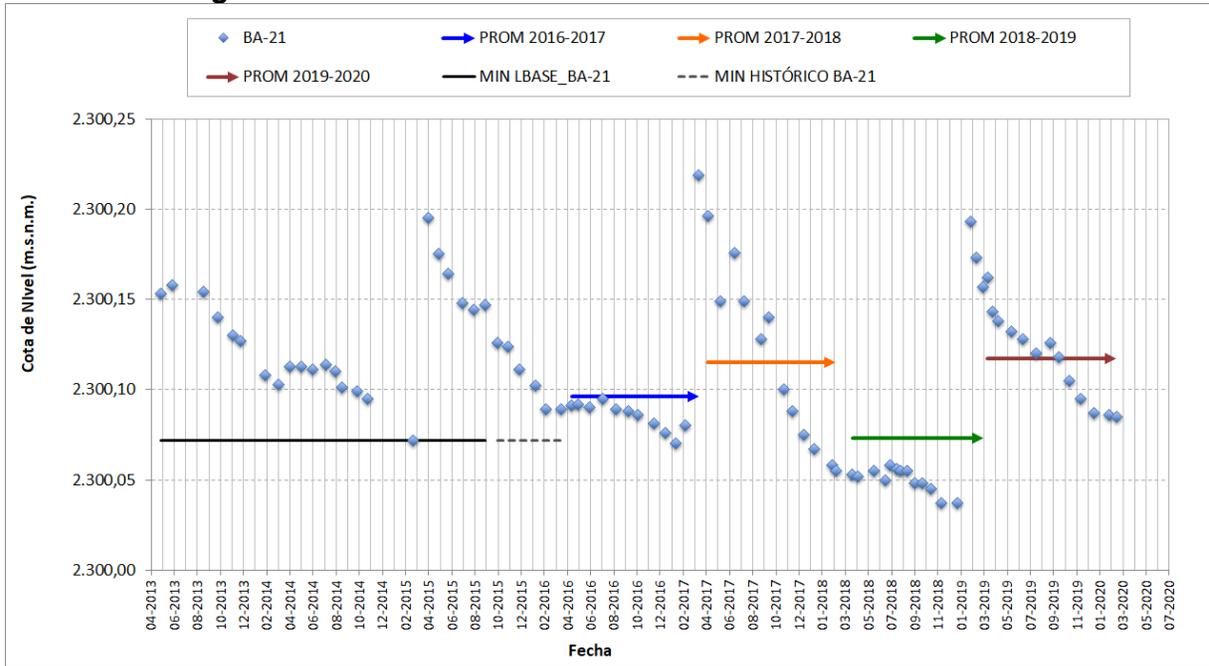
Tabla N° 12-12. Valores³⁹ Mínimos y Promedio Niveles Freáticos Sector Peine

Punto	Período LB (m s.n.m) (Abril 2013 – Agosto 2015) Período Histórico (Abril 2013-Marzo 2016)		Abril 2016- Mar 2017 (m s.n.m)	Abril 2017- Mar 2018 (m s.n.m)	Abril 2018- Mar 2019 (m s.n.m)	Abril 2019- Mar 2020 (m s.n.m)
	Mínimo LB	Mínimo Histórico	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual	Promedio anual
BA-21	2.300,072	2.300,072	2300,096	2.300,115	2300,073	2300,117
BA-22	2.300,274	2.300,268	2300,295	2.300,280	2300,279	2.300,280

Fuente: Elaboración propia

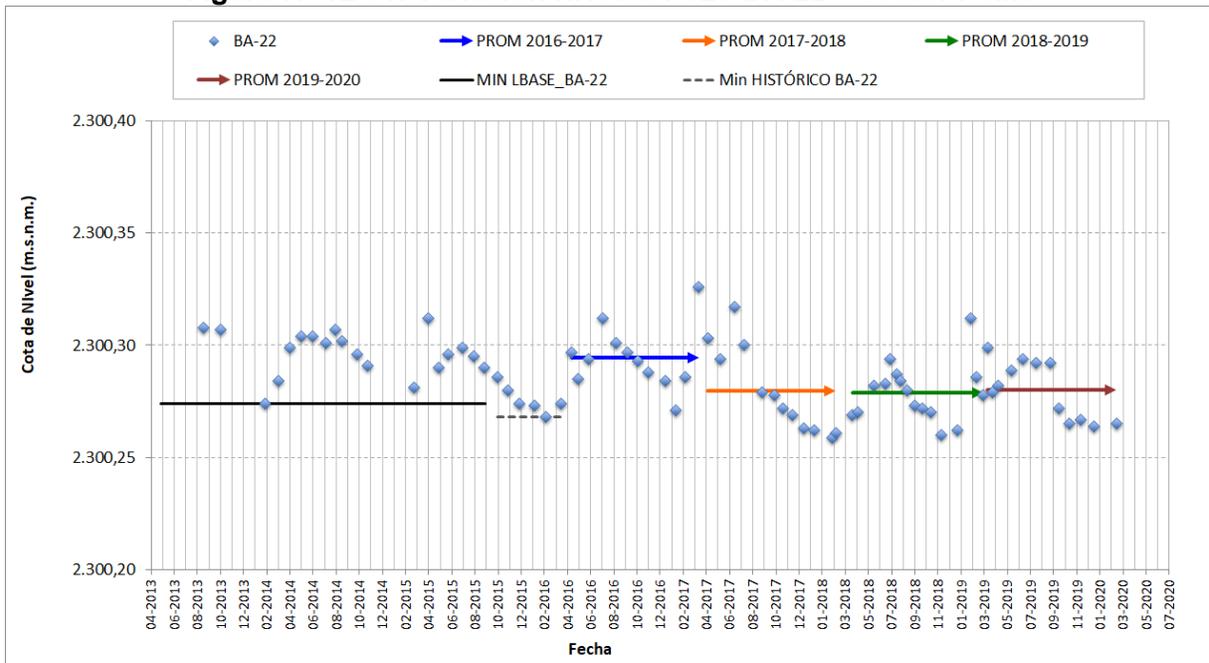
³⁹ Ver todos los datos y registros en “Anexo Niveles Freáticos” de este Informe Anual N°4 PMB.

Figura N° 12-60. Variación Niveles Pozo BA-21 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12-61. Variación Niveles Pozo BA-22 – Sector Peine



Fuente: Elaboración propia

Del análisis de tendencia de niveles para el Sector de Peine, se tiene que en ambos pozos, se observan promedios anuales por sobre el mínimo histórico.

Para el pozo BA-21 se presenta una tendencia de los últimos 3 años con promedios anuales variables, pero dentro de un cierto rango estable a lo largo de los años, con promedios que subieron en los períodos 2017-2018 y 2019-2020; y con descensos en los períodos 2016-2017 y 2018-2019. Este último año (período abril 2019 – marzo 2020) se presenta con un promedio 2300,117 m s.n.m., muy similar al del período 2017-2018.

El pozo BA-22 se presenta con una variación de niveles muy estable a lo largo de los últimos 3 años, con sus promedios anuales muy similares en donde para este último período abril 2019 – marzo 2020, es de 2.300,280 m s.n.m., por sobre y en el rango de los valores registrados históricamente en el sector.

13 CONCLUSIONES.

13.1 En relación con Flora y Vegetación

En relación con el monitoreo y caracterización de la flora y vegetación del área de estudio, y los fundamentos expuestos en este Informe Anual, se señala que no fue posible llevar a cabo el seguimiento de la variable “Flora y Vegetación” en sus acápite: seguimiento a la carta ocupación de tierras (COT), y el seguimiento de transectas de vegetación con el método de intercepto de puntos, correspondiente al monitoreo post-lluvias 2020, dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19. Por lo tanto, bajo estas condiciones, se presentan los resultados de COT y transectas de vegetación azonal de invierno 2019, y el análisis de la cobertura de vegetación activa (según el índice NDVI), realizado durante la temporada de crecimiento de la vegetación, en periodo posterior a las precipitaciones estivales 2020, de acuerdo a los objetivos planteados en el Plan de Manejo Biótico.

En cuanto a la Carta de Ocupación de Tierras (COT), correspondiente al monitoreo de invierno 2019, ésta describe 34 formaciones vegetales, registro similar respecto a lo observado en invierno de 2018 (34), correspondientes a las formaciones del PMB.

En general la vegetación se presenta estable en su composición, estructura y superficies en el total del área de estudio en relación a monitoreos anteriores. Las principales diferencias se observan en el sector de Peine, en la composición de especies dominantes de una vega de *Distichlis spicata* la cual se describió en este monitoreo como vega de *Schoenoplectus californicus* y *Baccharis juncea*, y por otro lado un Matorral hídrico - Vega de *Sarcocornia fruticosa* y *Distichlis spicata*, formación dentro de la cual se delimitó un área afectada por quema la cual se determinó como Vega de *Distichlis spicata*.

Las variaciones registradas se observan en la cobertura y composición de especies dentro de las formaciones, y el cambio en la dominancia de especies en otros, que representan diferencias no biológicas y que sólo reorganizan la configuración de las unidades en estudio.

Las conclusiones en cuanto a las condiciones generales de la vegetación, en relación a los resultados en las Transectas, indican una similitud entre los resultados de monitoreos de invierno (M1, M3 y M5) con el monitoreo actual de invierno 2019 (M7). Las comunidades con mayor contenido de humedad del suelo, son las que desarrollan mayor cobertura vegetal: principalmente la formación dominada por *Schoenoplectus californicus*, con coberturas absolutas sobre el 100% en todas sus transectas, y, además transectas con coberturas sobre un 40%, correspondientes a las transectas de herbazales en el subsector La Punta en las formaciones de *Juncus balticus* (T13) y herbazal de *Triglochin concinna* (T11), y unas transectas en Aguas de Quelana en matorrales de *Sarcocornia fruticosa* (T15 y T17).

Por otro lado, en M7 las formaciones que continúan presentando menor cobertura vegetal (menor al 10%), son las transectas localizadas principalmente en el sector de Tilopozo, en

formaciones de herbazal de *Distichlis spicata* (T21, T26 y T27), las que tenían también las coberturas más bajas en MB0, además en matorrales de *Tessaria absinthioides* (T05 en Peine y T23 en Tilopozo), en el herbazal de *Juncus balticus* (T31) y la transecta T10 en un herbazal de *Triglochin concinna*, la cual es un parche de vegetación en el borde de una laguna con escasa cobertura vegetal que registra un 1,2% de cobertura absoluta en M7. En general, estas transectas presentan un sustrato con menor contenido de humedad (no saturado) y se desarrollan muchas veces en sustratos altamente salinos (T21, T31 y T10), o bien, en sustratos de textura terrosa (T27 y T05) o costra salina terrosa (T26), localizados más al borde del salar de Atacama.

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

En relación a la cobertura muerta, los mayores valores se registran en el herbazal de *S. californicus* (T01, T02 y T03 en Peine) y en un herbazal de *D. spicata* (T20 en Tilopozo). No obstante, esta cobertura muerta no afecta a la cobertura absoluta vegetal en la formación, registrando igualmente coberturas sobre el 100% en los herbazales de *S. californicus* y la formación de *D. spicata* corresponde a una de las transectas con menor variación de cobertura vegetal desde MB0 con los monitoreos de invierno. Por otro lado, el máximo de cobertura que fue registrado, es en la transecta T03 con una cobertura de rastrojos de 84,8%, valor que se asocia principalmente a cobertura de rastrojos por quema producto del incendio/quema ocurrido en el segundo semestre de 2018.

En relación a la riqueza de especies, en general no presenta variaciones importantes entre los monitoreos de invierno o con MB0, manteniéndose el registro de una a cuatro especies por transecta. La mayor variación se registra en la transecta T12 en el subsector La Punta, que registraba tres especies en MB0 y M1, pero ya desde M3, en M5 y M7 solo se ha registrado la especie dominante *S. fruticosa*.

Considerando el método de análisis de distribución y cobertura de la vegetación azonal con el NDVI de imágenes de alta resolución, y considerando todas las áreas de los 4 sectores (LP-LB, Peine, Tilopozo, Soncor y Quelana), el cálculo de la vegetación activa para esta superficie con vegetación representa un 18,2% (1.320,1 hectáreas) de la COT, y en base a la evolución en el tiempo, se concluye que existiría una mantención general de las superficies de vegetación activa, dentro del rango de los registros históricos de línea de base en los sectores de estudio en que se encuentran.

En cuanto a los valores históricos mínimos (Tabla 5.3 del Apéndice B del Anexo 2, Adenda 5 RWL, 2015) desde imágenes de alta resolución, las superficies de vegetación activa en los

sectores de **Tilopozo – La Punta y La Brava y Peine**, en los cuatro años de monitoreo se encuentran dentro del rango histórico definido, superando incluso los valores máximos. Cabe recordar, que para el sector de Peine, se había observado una disminución de la cobertura activa entre el monitoreo de 2017 al 2018, sin embargo, en el verano de 2019 la cobertura activa aumentó a una superficie similar a la registrada en 2017. Los registros actuales consideran una disminución con respecto al año anterior, pero no alcanzan los valores mínimos registrados durante 2018.

En el sector de **Aguas de Quelana**, el valor de superficie de vegetación activa, está por sobre el rango mínimo histórico, superando incluso el valor máximo histórico en los cuatro períodos (2017-2020), diferencia que se debe al aumento de la superficie del área de muestreo para el monitoreo. En cambio, para el sector **Soncor**, el resultado de superficie de vegetación activa (para las formaciones particulares de seguimiento), es menor en los cuatro años de monitoreos a la superficie mínima histórica definida. No obstante, esto se debe al mayor detalle definido por la COT en las campañas posteriores a la RCA, en los ajustes y precisiones realizadas a este instrumento en el contexto del PMB. Para este sector, la superficie de vegetación activa NDVI en verano 2017, 2018, 2019 y 2020, se ha observado relativamente estable, evidenciándose una leve baja de los valores registrados durante 2020 en referencia a los años anteriores.

Las formaciones de seguimiento según el Plan de Manejo Biológico, vega de *Schoenoplectus californicus*, vega de *Juncus balticus*, vega de *Distichlis spicata*, vega de *Triglochin concinna*, matorral de *Sarcocornia fruticosa* y matorral de *Tessaria absinthioides* (con la incorporación, tras la homologación de la COT, de las formaciones matorral hídrico - vega con dominancia de *Lycium humile* y vega de *Nitrophila atacamensis* y *Triglochin concinna*); representan en conjunto el 81,4% de la vegetación activa total descrita para la superficie con vegetación, a partir de la Carta de ocupación de tierras (COT- agosto 2019). Dentro de las formaciones con mayor superficie de vegetación activa en relación con su cobertura total, se destacan matorral hídrico - vega con dominancia de *Sarcocornia fruticosa*, vega con dominancia de *Distichlis spicata* y vega con dominancia de *Schoenoplectus californicus*. Dentro de las formaciones con menor actividad en relación a su cobertura están las formaciones; vega con dominancia de *Triglochin concinna*, matorral con dominancia de *Tessaria absinthioides* y matorral - vega de *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*.

El sector que presenta mejor relación entre las coberturas totales de sus formaciones de seguimiento y su vegetación activa, es el sector Tilopozo (considerando la superficie de ocupación total de las formaciones vegetales), el cual tiene un 19,7% de vegetación activa (381,6 hectáreas), compuesta tanto de vegetación azonal tipo vega, matorral - vega y matorral hídrico – vega, como de formaciones zonales como el matorral con dominancia de *Tessaria absinthioides*; por lo tanto considera un área mayor a la determinada originalmente según el PMB.

Respecto a la formación vegetal de *Schoenoplectus californicus*, para el sector de La Punta y La Brava y Tilopozo, ésta supera la superficie mínima en los cuatro años de monitoreo, encontrándose dentro del rango de los registros históricos. En tanto, el sector de Peine muestra un valor menor al mínimo histórico en los cuatro periodos y en orden decreciente desde el 2017 al 2019, con un leve aumento en 2020. Se incorpora un análisis en particular para la formación vegetal de *Schoenoplectus californicus*, con el objeto de realizar un seguimiento con mayor detenimiento en la evolución de esta formación vegetal, especialmente en el sector de Peine, dado que es el sector donde mayormente se ha observado a lo largo de los monitoreos, una disminución en la superficie de cobertura activa de esta formación.

Cabe recordar que los descensos en la superficie de vegetación activa de esta formación están asociados a procesos de alteración sostenida de su estructura, por manejo tradicional de la vegetación a través de quemadas controladas que realizan las comunidades atacameñas para obtención de forraje para sus animales. Este proceso fue observado en los monitoreos de 2018 y 2019, tal como fue documentado en el Informe Anual N°3 del PMB para el período Invierno 2018 – Verano 2019 de monitoreos, para la componente vegetación. Se ha observado no obstante una regeneración y recuperación de la cobertura vegetal en este sector.

13.2 En relación con Área Lagunas

De acuerdo con los resultados obtenidos en el invierno de 2019 en base a las imágenes de alta resolución, se calcularon superficies lagunares correspondientes a 52,8 ha para el sector de La Punta y La Brava y 86,7 ha para el sector Peine. Así mismo, desde imágenes de media resolución para invierno de 2019, se calculó una superficie de 53,8 ha para La Punta y La Brava y de 85,1 ha para Peine.

Se agrega a lo anterior que, desde imágenes de alta resolución, el sector de La Punta y La Brava presenta en este invierno 2019 una menor superficie que el invierno de 2018 y mayor que los inviernos de 2017 y 2016, este último correspondiente a la fase de construcción. Respecto del sector de Peine, éste presenta en invierno 2019 la mayor superficie registrada de todo el monitoreo, lo que va en directa relación con el llenado esporádico de laguna Interna como efecto del recién pasado invierno altiplánico.

Desde imágenes de media resolución, en el sector La Punta y La Brava, la superficie de invierno de 2019 es mayor a invierno 2017 y menor a los inviernos 2016 y 2018. En tanto, el sector Peine, en invierno de 2019 presenta una superficie menor a invierno 2016 y agosto 2017, pero mayor al invierno de 2018.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el verano de 2019 en base a las imágenes de alta resolución, se calcularon superficies lagunares correspondientes a 62,7 ha para el sector de La Punta y La Brava y 101,7 ha para el sector Peine. Así mismo, desde imágenes de media

resolución para invierno de 2019, se calculó una superficie de 57,7 ha para La Punta y La Brava y de 107,8 ha para Peine.

Se agrega a lo anterior que, desde imágenes de alta resolución, el sector de La Punta y La Brava presenta en este verano 2019 una mayor superficie que el invierno de 2019 y mayor que los veranos de 2018, 2017 y 2016. Lo mismo ocurre en el sector de Peine, lo que va en directa relación principalmente con el llenado esporádico de laguna Interna. Estos eventos, representan una condición de permanencia del superávit hídrico como efecto de las altas precipitaciones durante el último invierno altiplánico.

Desde imágenes de media resolución, en el sector La Punta y La Brava, la superficie de verano de 2019 es la mayor superficie registrada durante los monitoreos estivales en la fase de operación del proyecto. En tanto, el sector Peine, en verano de 2019 presenta una superficie superior a verano 2018 y 2017, y superior al invierno de 2019. Para este sector, solo en verano 2016 se observa puntualmente una mayor superficie, respecto en verano 2019 para imágenes de media resolución.

De acuerdo con lo anterior, las superficies resultantes del monitoreo 2019 se encuentran dentro de los límites de seguimiento establecidos, y por sobre los registros mínimos históricos, considerando el criterio indicado en la RCA N°21/2016, donde se señala que *“durante la fase de operación y cierre del proyecto la superficie cubierta por lagunas debe mantener sus límites sobre el mínimo histórico”*.

En cuanto a la validación del modelo, los mayores ajustes se presentan en los valores Kappa de verano para el sector de La Punta y La Brava debido a que los sectores con humedad y cuerpos de agua someros son menores, por lo tanto la precisión de la validación de terreno respecto del modelo aumentan su concordancia; mientras que para el Sector de Peine este efecto ocurre en invierno, lo que se relaciona con que este sistema presenta bordes muy definidos que se llenan en invierno, dependiendo de la intensidad de los efectos del invierno altiplánico, y en verano que esta también la “temporada seca”, la dinámica del sistema presenta más zonas húmedas y cuerpos de agua más someros aunque dentro de estos bordes, disminuyendo así la concordancia de los valores de validación de terreno en relación al modelo.

13.3 En relación con Nivel Freático en Lagunas

Del monitoreo de niveles en los 5 puntos comprometidos como parte del PMB, en los Sistemas de Lagunas: 3 puntos La Punta-La Brava, y 2 puntos en Peine, se puede concluir que de los valores registrados para el período abril 2019 a marzo 2020, para cada uno de los puntos de monitoreo, los valores promedios anuales de los niveles del período analizado se encuentran dentro del rango histórico.

En ambos sectores, se presentan pozos de variabilidad histórica estable, como es el caso de los pozos BA-05 (en La Punta-La Brava) y BA-22 (Peine); en otros, los datos del último año muestran quiebres (parciales a lo menos) con tendencias a la baja, como es el caso de BA-07 (La Punta-La Brava) y BA-21 (Peine), aun cuando el comportamiento de este último es distinto a los demás, como ya se señaló previamente.

Al igual que en años anteriores, para el verano 2020 (diciembre 2019 a febrero 2020) todos los pozos presentan sus niveles más bajos del periodo correspondiente, ya que es previo a las lluvias altiplánicas. Luego, en marzo 2020 para los pozos del sector LP-LB se tienen aumentos del nivel entre 2 y 3,3 cm, efecto que no se ve en la misma magnitud en los niveles del Sector Peine, a diferencia de lo ocurrido el año anterior. Esto vuelve a constatar una mayor sensibilidad de los niveles freáticos en las lagunas de LP-LB, respecto de la ubicación de los puntos en Sector Peine, en relación a los efectos que provoca la precipitación del sector.

Para los pozos del Sector la Punta-La Brava, se tiene que:

Se puede observar para el presente año de monitoreo (abril 2019 a marzo 2020) que los pozos del Sector presentan una variabilidad natural cíclica, con valores de niveles más altos (agua mas somera) en invierno (junio – agosto) y más profundos en verano (diciembre a marzo), ajustándose al rango histórico. Esta variabilidad se presenta con ciclos anuales bien definidos, salvo algunas excepciones, como las que se indican a continuación:

- El pozo BA-05 no presentó ningún valor bajo los mínimos históricos en el periodo analizado (abril 2019 – marzo 2020).
- El pozo BA-07 mostró un quiebre con la tendencia a la baja de los niveles constatada hasta el verano de 2019. Después del peak observado en febrero 2019, se tienen niveles que comparados mes a mes, en el periodo analizado son más elevados. De todas formas, en enero 2020 se registra un nivel de 2.299,987 m s.n.m., ligeramente por debajo del mínimo histórico medido en el pozo igual a 2.299,99 m s.n.m. No obstante lo anterior, este valor es superior a los valores mínimos de 2018 y 2019.
- El pozo BA-16 para el período en análisis (abril 2019 a marzo 2020), comienza su ciclo en una condición más baja, sin embargo comienzan a subir sus niveles a medida que avanza el invierno, llegando a su máximo nivel en septiembre 2019, con un valor de 2300,881 m s.n.m. Luego, para el siguiente período (verano), los valores comienzan a descender, en donde los niveles mínimos (en su mayoría entre diciembre 2019 y enero 2020), si bien son valores bajos llegando en enero hasta una cota de 2300,821 m s.n.m., éstos se encuentran por sobre los valores de cota del año anterior, llegando a un peak en marzo 2020 de 2300,861 m s.n.m. Al respecto se debe señalar que dicho registro de marzo de 2020 es superior al de marzo 2015, 2016, 2018 y 2019 por lo que depara una buena condición para el período que comienza. Es importante mencionar

que el promedio anual para BA-16 (2.300,848 m s.n.m.) es superior al valor de mínimo histórico y por encima también del de la Línea Base.

Los niveles de BA-05 y BA-16, si se consideran todos los registros a la fecha, presentan en general tendencias estables de sus niveles. BA-07 es ligeramente distinto, ya que hasta el verano de 2019 mostraba una tendencia al descenso. Considerando los datos del último año, se ve que BA-05 en general mantiene la misma tendencia cíclica, en tanto que BA-07 revierte la tendencia a la baja con un notable ascenso de sus cotas (aumentó el promedio anual) y para BA-16 se muestran niveles más bajos que los visto anteriormente hasta febrero 2020, ya que en marzo se observa una cota superior a las cota de marzo de los anteriores.

En general, los 3 pozos del sector LP-LB muestran un nivel más elevado para la condición de verano 2020 y el pozo BA-16 presenta una condición distinta, sin embargo, los tres puntos **siguen presentando un promedio anual por encima de los valores mínimos de línea base e histórico.**

Para los pozos del Sector Peine, se tiene que:

Los niveles en el pozo BA-21 presentan ciclos (entre un valor alto y uno bajo) distintos tanto de BA-22 como también de los pozos del sector La Punta-La Brava. En abril 2015, marzo 2017 y febrero 2019, se observan los ascensos de nivel de aguas subterráneas, como respuesta directa a eventos de precipitaciones ocurridas en los períodos de invierno boliviano, lluvias que generalmente acontecen en febrero.

El pozo BA-21, luego de mostrar niveles bajo el mínimo histórico en 2018 y hasta enero 2019, luego del referido ascenso de nivel de febrero 2019 muestra niveles en general similares a los observados en años anteriores. Cabe recordar que, hasta ahora, los ciclos de niveles en el pozo han sido de 2 años, por lo que el presente periodo analizado finaliza a la mitad de un nuevo ciclo de 2 años. De todas formas, **el nivel promedio anual está por encima tanto del mínimo histórico como del promedio anual del año anterior.**

Para BA-21, hasta el verano de 2019 los registros de la serie indicaban una tendencia al descenso de los valores mínimos de la serie, y un ascenso de los valores máximos. En febrero del 2019, el máximo llegó hasta 2.300,193 ms.n.m. siendo éste muy similar a la cota de abril 2015. El máximo fue menos elevado, mientras que el mínimo de este período hasta marzo 2020 está por sobre el mínimo de años anteriores, reduciendo el rango en el que se mueven los niveles en el pozo.

Para el pozo BA-22, la serie presenta oscilaciones de nivel dentro de una variación estable de sus niveles, con comportamiento de aumento de los niveles en los meses de invierno (junio a agosto) y descensos en la temporada de verano (enero-febrero). Entre los meses de noviembre 2019 y marzo 2020 se registraron niveles bajo el mínimo histórico (mínimo en el pozo corresponde a 2.300,268 m s.n.m., los niveles registrados en el periodo referido están entre 2.300,264 y 2.300,267 m s.n.m.), sin embargo son valores mayores a los mínimos de los años

2018 y 2019; y el promedio de los niveles el último año (abril 2019 a marzo 2020), se encuentra por sobre el mínimo histórico y de línea base.

13.4 En relación con el Estado Ecológico del Sistema

Respecto al análisis de cambios en la cobertura vegetal de los sectores, en la estructura comunitaria de la vegetación mediante transectas, y a la variación de la salinidad en las transectas de monitoreo, como fuera señalado no fue posible llevar a cabo el monitoreo de las variables señaladas en campaña post-lluvias estivales 2020, dadas las condiciones excepcionales del presente año, en el marco de la Pandemia Covid-19. Las medidas de restricción de movilidad (consecuentes a las medidas adoptadas en el control sanitario), no permitieron el traslado y acceso a los subsectores de estudio, reduciendo las posibilidades de seguimiento a acciones remotas. Por tanto, bajo estas condiciones, sólo se realizó el análisis de cobertura de vegetación activa (según el índice NDVI) de acuerdo con los objetivos planteados en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Manejo Biótico, en las fechas propuestas (frecuencia anual, periodo post – lluvias estivales 2020). Los análisis restantes de cobertura de vegetación, estructura comunitaria y variación de salinidad se realizan hasta su actualización de invierno 2019 (M7), correspondiente al primer monitoreo semestral del Año 4 del PMB.

De los resultados de la cobertura vegetal, se observa una estabilidad en la cobertura y composición de las especies durante el periodo de seguimiento a nivel de los sectores de evaluación, con cambios específicos en la cobertura y estructura de ciertas transectas por variaciones estacionales, con coberturas absolutas de la vegetación estables en ambos sectores. En términos generales, estas variaciones no constituirían cambios significativos y los descensos estimados se enmarcan probablemente en un ciclo de variación histórica de la vegetación del Salar, que no inciden mayormente en la composición o riqueza de las formaciones.

Con respecto a la variación de la cobertura en las transectas en los cuatro años de monitoreo (2016 a Invierno 2019), se observa una variabilidad intermitente de las coberturas vegetales entre monitoreos, sin mostrar una tendencia sostenida desde MB0 a M7; sin perjuicio que en M7 se observa un ascenso (o mantención) de las coberturas vegetales.

En términos generales, para la formación de *S. californicus* que sería la formación con la condición más sensible para la detección de alteraciones en el suministro hídrico (en especial las formaciones del sector Peine), los análisis en relación a las variaciones de la estructura comunitaria indican una estabilidad en las coberturas de la formación y de la especie, sin observar cambios en la composición o coberturas significativas o importantes en los últimos 3 años de seguimiento; manteniendo un rango similar de registros.

Respecto a la variación de la salinidad en las transectas de monitoreo, la comparación de la cobertura absoluta de afloramientos salinos registrada en las transectas de vegetación, en general se observa estable durante el periodo de seguimiento en los sectores de estudio.

Salvo dos casos específicos con ascenso de la salinidad superiores a un 10% (esto respecto al primer registro existente, siendo éste el M1): la T18 de Herbazal de *J. balticus* en Tilopozo, con incremento promedio de 13,9% (que se mantiene desde el año 2) y por otra parte, se registra un ascenso de la cobertura salina en la T27 de herbazal *D. spicata* (zona borde núcleo) relacionado principalmente con una baja en la salinidad del suelo durante los monitoreos de verano 2017 a invierno 2019; no obstante, se registra estabilidad de su cobertura vegetal, dado que la cobertura salina se modifica principalmente con la cobertura del recubrimiento terroso (no salino). Para el **sector Peine**, seis de las nueve transectas de monitoreo del sector registran estabilidad en la cobertura de la costra salina durante el periodo de seguimiento; mientras la transecta T06 (Peine) muestra un aumento en comparación con M1 en todos los monitoreos, pero recuperando la condición base en M7. El caso de descenso en la cobertura salina de la T09 (herbazal de *D. spicata*), registraba hasta el monitoreo M6, una relación proporcional significativa entre la cobertura vegetal y la salinidad del suelo (signo positivo); sin embargo a M7 esta relación no se establece, por lo que se requiere más datos para concluir si existe tal relación.

En conclusión, considerando la variable de transectas, de acuerdo a la evaluación del estado ecológico en las transectas de vegetación en base a lo establecido PMB “*se entenderá como un cambio en tendencia si después de 3 años consecutivos (periodos), se observa una disminución sostenida de la cobertura de especies, aumento de sustrato salino (medición adquirida en el monitoreo del suelo) o cambios en la estructura comunitaria (composición de especies)*”, se concluye la mantención del estado ecológico en la cobertura, la composición de las especies y el sustrato salino durante el periodo de seguimiento a nivel de los sectores de evaluación, con cambios específicos en la cobertura y estructura de ciertas transectas.

En cuanto al análisis de distribución y cobertura de la vegetación azonal mediante el método de extracción de valores de NDVI, respecto del estado ecológico que indica esta variable, se concluye la mantención general del estado ecológico, con una variabilidad dentro del rango histórico en la actividad vegetal según la cobertura y los valores del NDVI obtenidos tanto de imágenes de alta resolución, como de Landsat, en los sectores de estudio Tilopozo-La Punta y La Brava y Peine.

En el caso específico de las formaciones de vega (herbazal) de *Schoenoplectus californicus*, el sector de Tilopozo – La Punta y La Brava se encuentra dentro del rango de los registros históricos en el periodo de operación del proyecto, tanto en las evaluaciones desde imágenes de alta resolución como de resolución media (Landsat). En el sector de Peine, la formación de *Schoenoplectus californicus* registra una cobertura activa desde imágenes de alta resolución con una tendencia al descenso por debajo del rango histórico desde el inicio de los monitoreos anuales de cobertura activa de vegetación (2017), con una recuperación parcial en la superficie del monitoreo de 2020. La evaluación desde imágenes Landsat, muestra a la formación sobre el histórico de los valores del NDVI con probabilidad de excedencia de 75%, y con una recuperación al ascenso en 2019 en comparación a la serie histórica previa operación del proyecto. Cabe recordar que los descensos en la superficie de vegetación activa de esta

formación vegetal están asociados a procesos de alteración sostenida de su estructura, por manejo tradicional de la vegetación a través de quemadas controladas que realizan las comunidades atacameñas para obtención de forraje para sus animales. Este proceso fue observado en los monitoreos de 2018 y 2019, tal como fue documentado en el Informe Anual N°3 del PMB para el período de monitoreos invierno 2018 – verano 2019, para la componente vegetación. Se ha observado no obstante una regeneración y recuperación parcial de la cobertura vegetal en este sector.

Por su parte, la evaluación de la tendencia interanual del NDVI Landsat, registra un ascenso de actividad en la vegetación en ambos periodos de estudio (pre y post – operación) en todas las formaciones vegetales monitoreadas. Este resultado sugiere una estabilidad en la actividad/vigor de la vegetación, incluso con una leve tendencia al ascenso en todas las formaciones vegetales de monitoreo del salar en el periodo operacional del proyecto (2016-2020).

En conclusión, respecto a la evaluación de cobertura de vegetación activa mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución (NDVI), según lo establecido por el PMB respecto a que *“se entenderá un cambio de tendencia sí después de 3 años consecutivos, se observa una disminución sostenida de la cobertura, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)”*, se observa para los últimos 3 años de monitoreo (2018-2020), una mantención del estado ecológico de la cobertura activa a nivel de los sectores de evaluación.

En cuanto a Superficies Lagunares, el análisis comparativo de las superficies calculadas durante la etapa de monitoreo con la línea de base, señala que las superficies de los cuerpos de agua se encuentran dentro de los límites de seguimiento establecidos. En ambos sistemas lagunares, las coberturas están por sobre los registros mínimos de línea de base, donde las diferencias porcentuales se refieren a la distribución de los estratos *permanentes* y *no permanentes*, y sus variaciones estacionales intranuales e interanuales.

Según lo establecido en el PMB, Anexo 2 de la Adenda 5, para este componente se indicaba: *“se entenderá un cambio de tendencia sí después de 3 años consecutivos, se observa una disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)”*. En base al análisis de tendencia del comportamiento temporal de los sistemas lagunares de La Punta y La Brava y Peine presentado en este informe, se puede concluir que transcurrido 4 años de seguimiento, se mantiene el estado ecológico y las superficies lagunares se encuentran en equilibrio.

En relación con Niveles Freáticos, se puede señalar que, del análisis de tendencia para los 3 últimos años de monitoreo, en general, los niveles freáticos se presentan estables para ambos Sectores. En particular, para el Sector La Punta-La Brava los 3 pozos del Sector (BA-05, BA-07 y BA-16) presentan sus promedios anuales dentro del rango histórico y por sobre el mínimo histórico. Para el Barreno BA-07, se observa en este último año una tendencia al

ascenso de sus niveles marcado por un promedio anual de 2300,044 m s.n.m. y para el caso del BA-16, se observa en este último año una tendencia al descenso de sus niveles marcado por un promedio anual de 2300,848 m s.n.m, menor a años previos, pero aun así por sobre mínimo histórico.

Para el Sector Peine, se observa en ambos pozos, promedios anuales por sobre el mínimo histórico. Para el pozo BA-21 se presenta una tendencia de los últimos 3 años con promedios anuales variables pero dentro de un cierto rango estable a lo largo de los años, con promedios que subieron en los períodos 2017-2018 y 2019-2020; y con descensos en los períodos 2016-2017 y 2018-2019. Para el caso del pozo BA-22 se presenta con una variación de niveles muy estable a lo largo de los últimos 3 años, con sus promedios anuales muy similares en donde para este último período abril 2019 – marzo 2020, es de 2.300,280 m s.n.m., por sobre y en el rango de los valores registrados históricamente en el sector.

A partir de lo anterior, para los niveles freáticos se puede concluir que se mantiene el estado ecológico del sistema, dado que los promedios anuales de los 3 años de monitoreo se encuentran por sobre el mínimo histórico.

De acuerdo con lo anterior y a partir del comportamiento de las 3 variables de estado (Vegetación Azonal, Superficie lagunar y Niveles Freáticos en lagunas), durante estos 3 últimos años consecutivos de monitoreo (período 2018-2020), se observa la mantención del estado ecológico del sistema, por cuanto no se han registrado cambios en su dinámica, permaneciendo dentro de los rangos de línea de base registrados históricamente por sector.

14 REFERENCIAS

14.1 Flora y Vegetación

ANEXO 2, ADENDA 5 EIA, APÉNDICE B. DEL PROYECTO RWL 2015. “*Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua*”. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada. Región de Antofagasta, 10-2015.

AHUMADA, M. y L. Faúndez. Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la ecorregión Altiplánica (SVAHT). Santiago, Chile: Unidad de Asuntos Públicos Corporativos, Servicio Agrícola y Ganadero, 2009.

BLACKMAN, G. E. (1935). *A study by statistical methods of the distribution of species in grassland associations*. Annals of Botany, 49(196), 749-777.

CEDREM Consultores & RWL. Informe ejecutivo. Monitoreo de flora y vegetación: Seguimiento de transectas de vegetación azonal en el salar de Atacama para el Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium. Santiago, Chile, 2016a.

CEDREM Consultores & RWL. Informe ejecutivo. Determinación espacio temporal de cuerpos de agua en Salar de Atacama para el Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium. Santiago, Chile, 2016b.

CHANDER G., B. Markham, D. Helder. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment, Volume 113, Issue 5, 893-903 pp. 2009.

CHUVIECO E. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. España: Ariel Ciencia. 594 pp. 2002.

CONAF, Corporación Nacional Forestal, Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), Universidad Austral de Chile (UACH), Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) y Universidad Católica de Temuco (UCT). Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Santiago, Chile. 1999.

CONAF, Corporación Nacional Forestal. Guía de Evaluación Ambiental. Criterios para la participación de CONAF en el SEIA. Santiago, Chile. 2014.

- DEGANO, C. (1999). Respuestas morfológicas y anatómicas de *Tessaria absinthioides* (Hook. et Arn.) DC. a la salinidad. Rev. Brasil. Bot. Sao Paulo, 22, 357-363.
- ETIENNE, M. & Prado, C. Descripción de la vegetación mediante la Cartografía de Ocupación de Tierras (COT). Conceptos y Manual de uso práctico. [Publicaciones Misceláneas N° 10]. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, Escuela de Agronomía. 1982
- FONT QUER, P. Diccionario de Botánica. Barcelona-Buenos Aires, España-Argentina. 1965.
- GAJARDO, R. Vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile. Editorial Universitaria, 1994.
- GODRON, M., P. Daget & L. Emberger. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Paris, France: Centre National de la recherche scientifique. 1968.
- GONZAGA, C. (2014). Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador. Universidad Nacional de La Plata, Ecuador.
- GOODALL, D. W. (1952). Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. Australian Journal of Biological Sciences, 5(1), 1-41.
- GREIG-SMITH, P. (1983). *Quantitative plant ecology* (Vol. 9). Univ of California Press.
- JULIÁ, C., Montecinos, S. y Maldonado, A. Características climáticas de la región de Atacama, Capítulo 3 en Libro Rojo de flora nativa y de los sitios prioritarios para la conservación: Región de Atacama. Eds. F.A. Squeo, G. Arancia y J.R. Gutierrez. Ediciones Universidad de la Serena, La Serena Chile. 2008. 3: 25-42.
- KENDALL, M.G., Rank correlation methods. 3 ed. Ed. Hafner Publishing Company. New York, 1962.
- KRIGE, D. G. A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand: By DG Krige (Doctoral dissertation, University of the Witwatersrand). 1951.
- LAMOLDA H. Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes Landsat ETM+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales. Tesis de pregrado para optar a la titulación en ingeniero técnico en topografía. Universidad Politécnica de Madrid. 124 pp. 2008.
- LUEBERT, F y P. Pliscoff. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago. 2006. 316 pp.

- LUEBERT, F y P. Pliscoff. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago, Chile: Universitaria. 2017.
- MANN. H.B., Non-parametric tests against trend, *Econometría*, 13, pp. 245–259, 1945. [22]
- MMA, Ministerio de Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y Dirección General de Aguas (DGA). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Santiago, 2011.
- MUELLER-DUMBOIS, D y H. Ellemberg. Aims and methods of vegetation ecology. John Willey, Nueva York, 1974. 547 p.
- MUÑOZ Marín, C. M. Análisis de la variabilidad en series hidrometeorológicas en una cuenca de cabecera del Río Segura. 2008.
- RAHMAN, M y A. Islam. *NDVI derived sugarcane area identification and crop condition assessment*. University of Rajshahi Bangladesh, Dept. of Geography and Environmental Studies, 1995.
- RAMSAR. Documento informativo Ramsar No. 1. Ramsar, Iran, 1971. Consultado en septiembre de 2016 del sitio web: <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007sp-01.pdf>
- SATELLITE IMAGING Corporation. Características espaciales y espectrales del satélite Pleiades – 1A. Consultado en agosto de 2016 del sitio web: <http://www.satimagingcorp.com>
- TUCKER, J. *Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation*. *Remote Sensing of the Environment* 8 (2), 127-150 pp. 1979.
- WOENSBY, C. E. (1973). Modified step-point system for botanical composition and basal cover estimates. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 26(4), 302-303.

14.2 Área de las Lagunas

Anexo 2, Adenda 5 EIA, Apéndice B, Proyecto Rockwood Lithium 2015. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada. Región de Antofagasta, 10-2015.

- Anexo 3, Adenda 5 EIA, Proyecto Rockwood Lithium 2015. Plan de seguimiento ambiental y Plan de alerta temprana de los recursos hídricos. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama". Rockwood Lithium – SGA. Region de Antofagasta.
- CHANDER G., B. Markham, D. Helder, 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment, Volume 113, Issue 5, 893-903 pp.
- CHUVIECO, E. 2006. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Editorial Ariel, Barcelona, España.
- CONGALTON, R. G., ODERWALD, R. G. & MEAD, R. A. 1983. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 49: 1671-1678.
- CONGALTON, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 37: 35-46.
- CORNELLÀ, O., SALAS, J., ARAVENA, R., GUZMÁN, E., GUIMERÁ, J., TORE, C., VON IGEL, W., HENRÍQUEZ, A, FOCK, A. Hidrogeología de los sistemas lagunares del margen E del Salar de Atacama. XII Congreso Geológico Chileno. Santiago, 22-26 de noviembre, 2009.
- CRIST, E. P. AND CICONE R.C. 1984. Application of the Tasseled Cap concept to simulated Thematic Mapper data, Photogrammetric, Eng. Remote Sens Vol. 50(3), 343-352.
- CRIST, E. P., LAURIN, R. AND CICONE, R.C. 1986. Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data. In Proceedings of IGARSS' 86 Symposium, 1465- 70.
- DGA, Dirección General de Aguas. 2014. División de Estudios y Planificación. Análisis de los mecanismos de evaporación y evaluación de los recursos hídricos del Salar de Atacama. Santiago, 2014.
- FLORES CARTAGENA, D. 2002. Identificación y Análisis de Cambios en Bofedales de la Cordillera Occidental y del Altiplano de Bolivia. Tesis Maestría en Ciencias, Conservación de Cuencas.

- HERNÁNDEZ, H. J. Apuntes de clases de SIG y Percepción Remota. Magíster en áreas silvestres y conservación de la naturaleza. Universidad de Chile. 2005.
- HUDSON, W. D. & RAMM, C. W. 1987. Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 53: 421-422.
- JAX, K., 2010. *Ecosystem Functioning*. Cambridge University Press, 272 pp
- KAUTH, R. J., & THOMAS, G. S. (1976). The tasseled cap a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. In *Proceedings of the symposium on machine processing of remotely sensed data*, LARS, Purdue University, West Lafayette, IN (pp. 441 - 451).
- LANDIS J & KOCH G, 1977: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977; 33:159-74.
- LAMOLDA H. Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes Landsat ETM+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales. Tesis de pregrado para optar a la titulación en ingeniero técnico en topografía. Universidad Politécnica de Madrid. 124 pp. 2008.
- LI, L., VRIELING, A., SKIDMORE, A., WANG, T., ROMAN-MUÑOZ, A. & TURAK, E., 2015. Evaluation of MODIS Spectral Indices for Monitoring Hydrological Dynamics of a Small, Seasonally-Flooded Wetland in Southern Spain. *Original Research. Wetlands* 35: 851-864.
- LI, Y., ZHU, X., PAN, Y., GU, J., ZHAO, A. & LIU, X. (2014). A Comparison of Model-Assisted Estimators to Infer Land Cover/Use Class Area Using Satellite Imagery. *Remote Sensing*. 6. 8904-8922.
- MMA, Ministerio de Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y Dirección General de Aguas (DGA). *Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos*. Santiago, 2011.
- ORTIZ, C., ARAVENA, R., BRIONES, E., SUAREZ, F., TORE, C. & MUÑOZ, J.F., 2014. Sources of surface water for the Soncor ecosystem, Salar de Atacama basin, northern Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 59 (2), 336 – 350.

-
- RCA N°21/2016. Resolución exenta N°21, Antofagasta, 2016. Calificación ambiental del Proyecto “EIA Modificaciones y Mejoramientos de Sistema de Pozas de Evaporación Solar, en el Salar de Atacama”.
- RWL, Rockwood Lithium. 2016a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año I, agosto de 2016.
- RWL, Rockwood Lithium. 2016b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año I, diciembre de 2016.
- RWL, Rockwood Lithium. 2017a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año II, agosto de 2017.
- RWL, Rockwood Lithium. 2017b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año II, diciembre de 2017.
- RWL, Rockwood Lithium. 2018a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año III, agosto de 2018.
- RWL, Rockwood Lithium. 2018b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año III, diciembre de 2018.
- Rockwood Lithium. 2019a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año IV, agosto de 2019.

RWL, Rockwood Lithium. 2019b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año IV, diciembre de 2019.

WANG, Q., LI, P., CHEN, X., 2012. Retrieval of soil salt content from an integrated approach of combining inversed reflectance model and regressions: an experimental study. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. 50, 3950–3957.

XU, HANQIU, 2007. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, 27:14, 3025-3033.

14.3 Nivel Freático en Lagunas

PMB, 2015. Anexo 2, Adenda 5 RWL. Plan de Manejo Biótico,. Informe consolidado de Líneas bases. Ecosistemas Terrestres y Ecosistemas Acuáticos Continentales. Proyecto: “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta”, Rockwood Lithium - CEA. Santiago, Chile, octubre 2015.

PSAH, 2020. Seguimiento Ambiental Hídrico, a través del Informe Anual N°4 del Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico, comprobante SMA Cód. 93715 de fecha 30 marzo 2020.

15 ANEXOS

El conjunto de Anexos asociados al Informe Anual N°4 del Plan de Manejo Biótico, se entregan separados y de forma individual al presente documento.