

Reporte primer semestre 2023

Programa de Seguimiento de Flora y vegetación de la quebrada de Camar Región de Antofagasta

Reporte primer semestre 2023

GEOB.SQMSL813.INFO13. Rev.00. Programa de Seguimiento de Flora y vegetación de la quebrada de Camar

Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
A	Nombre	YG	CI	IZ	Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar Rev. (A)
	Fecha	09-08-2023	30-08-2023	06-09-2023	
B	Nombre	YG	CI	IZ	Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar Rev. (B)
	Fecha	04-09-2023	05-09-2023	08-09-2023	
C	Nombre	CI-YG	IZ	IZ	Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar Rev. (C)
	Fecha	02-11-2023	03-11-2023	03-11-2023	
D	Nombre	CI-YG	IZ	IZ	Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar Rev. (D)
	Fecha	07-11-2023	07-11-2023	07-11-2023	
E	Nombre	CI-YG	IZ	IZ	Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar Rev. (E)
	Fecha	07-11-2023	07-11-2023	07-11-2023	
F	Nombre	YG-CI	IZ	IZ	Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar Rev. (F)
	Fecha	20-11-2023	20-11-2023	21-11-2023	
O	Nombre	YG-CI	IZ	IZ	Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar Rev. (O)
	Fecha	22-11-2023	22-11-2023	22-11-2023	

Contenido

1	Resumen	10
1.1	Monitoreo de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos).....	10
1.2	Flora y Vegetación	14
1.2.1	Vegetación	14
1.2.2	Flora.....	15
1.3	Parámetros del suelo.....	15
1.3.1	Monitoreo mensual de Contenido de Humedad de suelo (CHS).....	15
1.3.2	Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE.....	15
2	Introducción	16
3	Objetivos.....	20
4	Materiales y métodos.....	21
4.1	Área de estudio.....	21
4.2	Monitoreo de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos).....	23
4.2.1	Ubicación de los individuos.....	23
4.2.2	Parámetros evaluados.....	34
4.2.3	Metodología de muestreo, medición y análisis	38
4.3	Evaluación de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo) con sistema de riego.....	41
4.3.1	Ubicación de los individuos.....	41
4.3.1	Parámetros evaluados.....	42
4.3.2	Metodología de muestreo, medición y análisis	43
4.4	Caracterización de la flora y vegetación	44
4.4.1	Ubicación de los puntos de monitoreo.....	44
4.4.2	Parámetros evaluados.....	47
4.4.3	Metodología de muestreo, medición y análisis	47
4.5	Evaluación de parámetros del suelo	52
4.5.1	Ubicación de los puntos de monitoreo de suelo	52
4.5.2	Parámetros evaluados, metodología de muestreo, medición y análisis	56
4.6	Materiales y equipos utilizados	56

4.7	Fechas de muestreo	57
5	Resultados	60
5.1	Monitoreo de vitalidad de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo)	60
5.1.1	Estado de vitalidad y sanitario.....	60
5.1.2	Copa viva	65
5.1.3	Fenología	70
5.1.4	Etapa de crecimiento	75
5.1.5	Afectación antrópica y/o natural	79
5.1.6	Estado fisiológico de los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo)	81
5.1.7	Estimación biomasa aérea.....	84
5.2	Evaluación de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo) con sistema de riego.....	87
5.2.1	Vitalidad	87
5.2.2	Porcentaje de copa viva.....	89
5.2.3	Estado de los elementos asociados al programa de riego	91
5.3	Caracterización de la flora y vegetación	91
5.3.1	Vegetación	91
5.3.2	Flora.....	98
5.4	Parámetros del suelo.....	100
5.4.1	Monitoreo mensual de CHS	100
5.4.2	Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE	107
6	Discusiones	111
6.1	Monitoreo de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos).....	111
6.1.1	Estado de vitalidad y sanitario.....	111
6.1.2	Copa viva	116
6.1.3	Fenología	121
6.1.4	Etapa de crecimiento	127
6.1.5	Afectación antrópica y/o natural	133
6.1.6	Fisiología de algarrobos.....	135
6.1.7	Biomasa de algarrobos	137
6.2	Evaluación de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos) con sistema de riego.....	139

6.2.1	Vitalidad	139
6.2.2	Porcentaje de copa viva.....	142
6.3	Vegetación.....	145
6.3.1	Superficie	145
6.3.2	Estado de vitalidad y sanitario.....	147
6.3.3	Porcentaje copa viva	148
6.3.4	Estado fenológico	148
6.3.5	Afectación antrópica y/o natural	149
6.4	Flora.....	150
6.4.1	Riqueza florística	150
6.5	Parámetros del suelo.....	155
6.5.1	Monitoreo mensual de CHS.....	155
6.5.2	Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE	158
7	Conclusiones.....	162
7.1	Monitoreo de los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos)	162
7.1.1	Fisiología de algarrobos.....	164
7.1.2	Biomasa de algarrobos	164
7.2	Caracterización de la flora y vegetación	165
7.2.1	Vegetación	165
7.2.2	Flora.....	166
7.2.3	Afectación antrópica y/o natural	166
7.3	Parámetros del suelo.....	166
7.3.1	Monitoreo mensual de CHS.....	166
7.3.2	Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE	167
8	Referencias	168

Tablas

Tabla 2-1. Parámetros establecidos, responsables de la ejecución y medición de las variables 17

Tabla 4-1 Ubicación de los individuos de <i>N. alba</i> monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).	23
Tabla 4-2. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 19S).	30
Tabla 4-3 Ubicación de los individuos de <i>N. alba</i> monitoreados en la quebrada de Camar	31
Tabla 4-4. Parámetros y metodologías utilizadas para la caracterización de la flora y vegetación	34
Tabla 4-5. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas	35
Tabla 4-6. Escalas utilizadas para clasificar la copa viva de las plantas	35
Tabla 4-7. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico	35
Tabla 4-8. Categorías utilizadas para la descripción de la altura del ejemplar.....	35
Tabla 4-9. Categorías utilizadas para la etapa de crecimiento	36
Tabla 4-10. Ubicación georreferenciada de ejemplares de algarrobos con riego.....	41
Tabla 4-11. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas	42
Tabla 4-12. Escalas utilizadas para clasificar la copa viva de las plantas.....	43
Tabla 4-13. Ubicación de las estaciones de monitoreo de vegetación y flora en la quebrada de Camar	44
Tabla 4-14. Esfuerzo de muestreo campañas primer semestre 2023	47
Tabla 4-15. Parámetros y metodologías utilizadas para la caracterización de la flora y vegetación ..	47
Tabla 4-16. Rangos y códigos de cobertura.....	48
Tabla 4-17. Rangos de altura por tipo biológico	48
Tabla 4-18. Categorías utilizadas para describir la vitalidad y estado sanitario de la vegetación	49
Tabla 4-19. Ubicación de los puntos de monitoreo mensual de contenido de humedad del suelo ...	52
Tabla 4-20. Ubicación de los puntos de monitoreo de suelo de la quebrada de Camar	54
Tabla 4-21. Métodos de ensayo utilizados en análisis de suelo	56
Tabla 4-22. Materiales y equipos utilizados.....	56
Tabla 4-23. Fechas de muestreo monitoreo de algarrobos	57
Tabla 4-24. Fechas de muestreo monitoreo de algarrobos bajo sistema de riego	58
Tabla 4-25. Fechas de muestreo potencial hídrico y conductancia estomática	58
Tabla 4-26. Fechas de muestreo medición de variables dendrométricas	58
Tabla 4-27. Fechas de muestreo monitoreo de flora y vegetación	58
Tabla 4-28. Fechas de muestreo de monitoreo de suelo	58

Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2023 en algarrobos de la Quebrada de Camar.....	81
Tabla 5-2. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs)	83
Tabla 5-3. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) para individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería de agua superficial	84
Tabla 5-4. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género <i>Neltuma</i> para ejemplares de algarrobo – enero 2023	85
Tabla 5-5. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género <i>Neltuma</i> para ejemplares de algarrobo – abril 2023	86
Tabla 5-6. Principales desperfectos detectados en los componentes del sistema de riego.....	91
Tabla 5-7. Formaciones vegetales y otras superficies presentes en la quebrada de Camar.....	92
Tabla 5-8. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio	98
Tabla 5-9. Cobertura de las especies en transectos durante primer semestre 2023	100
Tabla 5-10. CHS en individuos de <i>Neltuma alba</i> con y sin sistema de riego	105
Tabla 5-11. Resultados de pH del suelo	108
Tabla 5-12. Resultados de conductividad eléctrica del suelo.....	110
Tabla 6-1. Variación histórica de superficie de matorrales en la quebrada.....	145
Tabla 6-2. Variación histórica en la riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio	151
Tabla 6-3. Variación histórica de la cobertura de las especies en transectos	154

Figuras

Figura 4-1. Ubicación del área de estudio.....	22
Figura 4-2. Ubicación de los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> monitoreados	29
Figura 4-3. Distribución de los individuos de Algarrobo con mediciones de potencial hídrico y conductancia estomática.....	31
Figura 4-4. Distribución de los individuos de Algarrobo con mediciones de biomasa	34
Figura 4-5. Distribución espacial de algarrobos con riego dentro de la Quebrada de Camar.....	42

Figura 4-6. Esfuerzo de muestreo de vegetación.....	46
Figura 4-7. Ubicación de los puntos de medición humedad de suelo CHS mensual	53
Figura 4-8. Esfuerzo de muestreo de suelo	55
Figura 5-1. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie A.....	61
Figura 5-2. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie B	62
Figura 5-3. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C.....	63
Figura 5-4. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie D	64
Figura 5-5. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie E.....	65
Figura 5-6. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie A	66
Figura 5-7. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie B	67
Figura 5-8. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie C	68
Figura 5-9. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie D	69
Figura 5-10. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie E.....	70
Figura 5-11. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie A	71
Figura 5-12. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie B	72
Figura 5-13. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie C	73
Figura 5-14. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie D.....	74
Figura 5-15. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie E	75
Figura 5-16. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A	76
Figura 5-17. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie B	76
Figura 5-18. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie C	77
Figura 5-19. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie D.....	78
Figura 5-20. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie E	79

Figura 5-21. Variación mensual afectación animal en individuos de <i>Neltuma alba</i> por serie.....	80
Figura 5-22. Variación mensual de la afectación antrópica en individuos de <i>Neltuma alba</i> por serie.....	81
Figura 5-23. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego.....	88
Figura 5-24. Evolución del porcentaje de copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego.....	90
Figura 5-25. Variación de la vitalidad en la vegetación de la Quebrada de Camar.....	94
Figura 5-26. Variación del porcentaje de copa viva en la vegetación de la Quebrada de Camar.....	95
Figura 5-27. Variación del estado fenológico en la vegetación de la Quebrada de Camar.....	96
Figura 5-28. Tipos de daño antrópico.....	97
Figura 5-29. Contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en la quebrada de Camar – primer semestre 2023.....	102
Figura 5-30. Variación mensual del contenido de humedad del suelo en individuos de <i>Neltuma alba</i> con y sin sistema de riego.....	106
Figura 5-31. Variación mensual del contenido de humedad del suelo en la Quebrada de Camar.....	107
Figura 5-32. Proporción de puntos de monitoreo por categoría de pH del sustrato.....	109
Figura 5-33. Proporción de puntos de monitoreo por categoría de salinidad del sustrato.....	110
Figura 6-1. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie A.....	112
Figura 6-2. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie B.....	113
Figura 6-3. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C.....	114
Figura 6-4. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie D.....	115
Figura 6-5. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie E.....	116
Figura 6-6. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie A.....	117
Figura 6-7. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie B.....	118
Figura 6-8. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie C.....	119
Figura 6-9. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie D.....	120
Figura 6-10. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie E.....	121
Figura 6-11. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie A.....	122

Figura 6-12. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie B 123

Figura 6-13. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie C 124

Figura 6-14. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie D 125

Figura 6-15. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie E 126

Figura 6-16. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A 128

Figura 6-17. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie B 129

Figura 6-18. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie C 130

Figura 6-19. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie D 131

Figura 6-20. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie E 132

Figura 6-21. Variación histórica del potencial hídrico en pre-alba para árboles de las series A y B * 136

Figura 6-22. Variación histórica del potencial hídrico de mediodía para árboles de las series A y B 136

Figura 6-23. Variación histórica de la conductancia estomática para árboles de las series A y B ... 137

Figura 6-24. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego..... 140

Figura 6-25. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego..... 141

Figura 6-26. Evolución del porcentaje de copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego 143

Figura 6-27. Evolución del porcentaje de copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego 144

Figura 6-28. Evolución de la superficie de las formaciones vegetacionales presentes en la quebrada de Camar..... 146

Figura 6-29. Variación histórica de la vitalidad en la vegetación de la Quebrada de Camar 147

Figura 6-30. Variación histórica del porcentaje de copa viva en la vegetación de la Quebrada de Camar 148

Figura 6-31. Variación histórica del estado fenológico en la vegetación de la Quebrada de Camar 149

Figura 6-32. Afectación animal y antrópica 150

Figura 6-33. Contenido de humedad del suelo promedio mensual vs precipitaciones acumuladas.155

Figura 6-34. Contenido de humedad del suelo registrado en la quebrada de Camar – primer semestre 2023	156
Figura 6-35. Contenido de humedad del suelo promedio mensual vs precipitaciones acumuladas.....	157
Figura 6-36. Contenido de humedad del suelo mensual versus proporción de individuos de <i>Neltuma alba</i> con vitalidad normal.....	158
Figura 6-37. Variación histórica en el contenido de humedad del suelo (%) en los puntos de monitoreo	160
Figura 6-38. Variación en la salinidad de los puntos de monitoreo de suelo en la quebrada de Camar	161

Fotografías

Fotografía 5-1. Registros fotográficos de presencia de huellas informales de camioneta y basura en el área de estudio	97
Fotografía 6-1. Pérdida de follaje debido a senescencia foliar en temporada de invierno	127
Fotografía 6-2. Recategorización etapa de crecimiento individuos serie C, D y E	132
Fotografía 6-3. Afectación animal – primer semestre 2023.....	134
Fotografía 6-4. Afectación antrópica – primer semestre 2023.....	135

Anexos

Anexo 1. Base de datos monitoreo algarrobos – 1° semestre año 2023
Anexo 2. Base de datos vegetación (COT) – 1° semestre año 2023
Anexo 3. Base de datos flora (transectos) – 1° semestre año 2023
Anexo 4. Mapa de vegetación quebrada de Camar – enero y abril 2023
Anexo 5. Certificados ETFA análisis de suelo mensual (CHS) – 1° semestre año 2023
Anexo 6. Responsables y participantes del seguimiento
Anexo 7. Certificados ETFA análisis de suelo trimestral (CHS, pH y CE) – 1° semestre año 2023
Anexo 8. Reportes Operación de Sistema de Riego de algarrobos
Anexo 9. Medio verificador suspensión Monitoreos mensuales
Anexo 10. Individuos con cambio de etapa de crecimiento
Anexo 11. Informes trimestrales Potencial hídrico y Conductancia estomática. Universidad de Chile.
Anexo 12. Informes Biomasa algarrobos

1 Resumen

El presente informe tiene por objeto dar cuenta de los resultados del primer semestre 2023 (enero a junio) del Programa de Seguimiento asociado al monitoreo de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar, cuyo fin es aportar más información sobre los individuos de algarrobos y otras formaciones vegetacionales que no forman parte del Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) comprometido en el marco de la RCA 226/2006 y analizar la evolución semestral de los componentes que son objeto de estudio. Este seguimiento se enmarca en la Acción 24 del Programa de Cumplimiento (PdC) presentado con motivo del procedimiento sancionatorio iniciado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) mediante la Resolución Exenta N° 1 / ROL F-041.2016 (rectificado por Res. Ex. N° 4/Rol F-041-2016) y aprobado mediante Resolución N° 38 el 29 de agosto de 2022 por la SMA.

Metodológicamente, el monitoreo de la vitalidad de algarrobos se realizó mensualmente mediante una prospección pedestre del área y descripción en terreno de las variables de vitalidad, copa viva, etapa de crecimiento, fenología de cada individuo y tipo de daño que los individuos puedan presentar, lo cual incluye daño antrópico y/o natural (ramoneo o plaga). Complementariamente, se ejecutaron con una frecuencia trimestral estudios fisiológicos a una muestra representativa de algarrobos con el objetivo de evaluar su estado hídrico, y se determinó la biomasa aérea de la población objeto de estudio.

Por otra parte, la caracterización de la vegetación se realizó de manera trimestral, mediante el método de cartografía de Ocupación de Tierras (COT), y descripciones de vigor, porcentaje de copa viva y fenología, utilizando como base imágenes satelitales de alta resolución. La caracterización de la flora vascular se realizó mediante transectos lineales.

Además, para complementar la caracterización de la vegetación, se tomaron muestras de suelo dentro de la quebrada para evaluar el pH, la conductividad eléctrica (salinidad) y el contenido de humedad del suelo.

1.1 Monitoreo de ejemplares de *Neltuma alba* (Algarrobos)

Las mediciones realizadas durante el primer semestre del año 2023 indican un total de 437 ejemplares que son objeto de este estudio lo cual fue registrado hasta el mes de junio. De estos 437 ejemplares, 88 se encuentran desaparecidos y 16 corresponden a ejemplares de *Strombocarpa tamarugo*. Del total de individuos desaparecidos, 15 corresponden a ejemplares de la serie A, el resto (73) corresponde a ejemplares de las series B (10 individuos), C (23 individuos), D (12 individuos) y E (28 individuos). Además, siete (7) individuos de la serie E fueron trasladados en el mes de febrero¹ (E-049, E-053-B, E-054, E-056, E-057, E-161, E-173).

A lo largo del período de reporte de este monitoreo (enero a junio 2023), en términos de vitalidad, se observó un aumento de los individuos en condiciones normales durante los meses de febrero a mayo, pasando de 21 a 30 individuos, y una disminución de los individuos débiles y muy débiles en el periodo completo (pasando

¹ Los individuos trasladados se ubicaban en la plaza del pueblo de Camar y fueron llevados a un vivero debido a las obras de construcción y serán reubicados una vez finalizadas las obras.

de 13 ejemplares débiles en enero a 5 en junio y de 23 ejemplares muy débiles en enero a 0 en junio). Este aumento del vigor podría estar relacionado con las lluvias estivales (ocurridas de febrero a marzo), las que favorecen el crecimiento de estos individuos.

En relación con el porcentaje de copa viva, se observó una disminución sostenida de los individuos que presentan rango de copa viva 75-100% y 50-75% a partir del mes de mayo (en el caso de la serie A, el rango 75-100% disminuye en 9,78% en mayo 2023). Al mismo tiempo, se reporta un aumento de la categoría 5-25% a partir del mes de mayo (con una diferencia de 8,44% respecto a abril). A diferencia del primer semestre de 2022, en el primer semestre de 2023 los individuos en el rango 75-100% de follaje verde se mantienen con porcentajes altos (en la serie A, alrededor del 13%, en la serie B, alrededor del 30%, en las series C y D alrededor del 35,09%, y en la serie E alrededor del 55%) hasta abril, mientras que, en el primer semestre de 2022, esta categoría disminuye a partir del mes de marzo, al mismo tiempo que se observa un aumento en la proporción de individuos pertenecientes a las categorías de menor porcentaje de follaje verde. Además, las categorías de menor porcentaje de follaje verde (0% y <5%) presentan promedios que se han mantenido estable a lo largo del tiempo (en la serie A, alrededor del 45% y 1,6% respectivamente), sin mayores variaciones.

Desde el punto de vista fenológico, se observó un aumento sostenido de los individuos en crecimiento vegetativo durante los meses de marzo, abril y mayo, mientras que los individuos en fructificación disminuyeron. El porcentaje de individuos en crecimiento vegetativo presenta una disminución recién en el mes de junio. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos para el porcentaje de copa viva, donde se ha observado la disminución gradual del follaje verde de los individuos en los meses más cercanos a la temporada de invierno. Por otra parte, la proporción de individuos con vitalidad seca, con copa viva de 0% y en estados fenológicos de senescencia se mantuvo relativamente estable durante todo el semestre, presentando variaciones en torno al 0,7%. Sin embargo, a partir del mes de junio se observa un aumento del 1,67% en la proporción de estos individuos con respecto al mes de mayo. Estos resultados son concordantes con lo reportado en primer semestre de 2022, donde se observó también un aumento sostenido de los individuos en crecimiento vegetativo durante los meses de febrero y mayo, disminuyendo por primera vez en junio.

La proporción de individuos con vitalidad seca, sin presencia de follaje verde (0%) y en estados fenológicos de senescencia se mantuvo relativamente estable entre los meses de enero y mayo, presentando variaciones en torno al 1%. A partir del mes de junio se observó un leve aumento en la proporción de estos individuos con respecto al mes de mayo (1,67%). Lo anterior se explicaría debido a las respuestas fenológicas que poseen los individuos del género *Neltuma* frente a las condiciones ambientales de la estación de invierno (disminución de temperatura del aire y fotoperiodo), asociadas a la senescencia foliar.

Respecto a la afectación animal, el promedio de individuos con afectación entre los meses de enero a junio para las series A, B, C, D y E fue de 44,08% \pm 8,6%, 69,84% \pm 10,93%, 40,01% \pm 23,87%, 44,15% \pm 19,67% y 44,33% \pm 21,98% respectivamente.

Respecto a la afectación antrópica, el promedio de individuos con afectación entre los meses de enero a junio para las series A, B, D y E fue de 1,78% \pm 3,23%, 6,06% \pm 9,82%, 0,72% \pm 1,77% y 16,43% \pm 21,29% respectivamente. La serie C no registra datos de afectación antrópica para el período informado, mientras que la serie E –ubicada al este de la Ruta CH-23 y dentro del pueblo de Camar-, fue la que registró los valores más altos de afectación. Dentro de los individuos que registran afectación antrópica, la mayor cantidad de

observaciones se debe a cortes de ramas (equivalente al 74,19% del total de individuos con afectación antrópica), seguido por huellas vehiculares (19,35%), y basura (6,45%). Durante el periodo de reporte, no se identificaron ejemplares con presencia de plagas.

Para el análisis del estado fisiológico de la población de algarrobos realizada en enero y abril de 2023, se trabajó con una muestra de 18 individuos de algarrobo (muestra objetivo, serie A) que están distribuidos en torno al pozo ex pozo de extracción Camar-2. Complementariamente, se tomaron muestras en nueve (9) ejemplares alejados de dicho pozo, que se encuentran ubicados hacia el Este de la muestra objetivo, pertenecientes a la serie B, y a individuos ubicados en el mismo sector del pozo, pertenecientes a las series C (1 ejemplar), D (1 ejemplar) y AX (2 ejemplares) (muestras testigos). A cada individuo se le midió la conductancia estomática y potencial hídrico (en pre-alba y mediodía). Posteriormente los datos fueron analizados estableciendo comparaciones entre el estado hídrico de la serie A (muestra objetivo) y las series B y C (muestra testigo), respecto a su ubicación con la tubería que atraviesa la quebrada de norte a sur a la altura del ex pozo de extracción Camar-2 y considerando si los individuos son regados o no².

Los resultados principales para el período (enero y abril de 2023), indican que la serie A tiene un mayor potencial hídrico en pre-alba y mediodía, en comparación a las series B y C, mientras que no se observan diferencias significativas en la conductancia estomática. Por otra parte, en los algarrobos ubicados aguas arriba y aguas debajo de la tubería, sólo se observaron diferencias en potencial hídrico al mediodía, en donde los valores más bajos se presentaron en los árboles ubicados aguas arriba de la tubería. Sin embargo, al comparar el potencial hídrico en pre-alba, la tubería no tendría efecto en el estado hídrico de los algarrobos.

Con respecto al riego, se observaron diferencias significativas en el potencial hídrico de pre-alba y mediodía, donde los algarrobos sin riego tuvieron los valores más bajos, sin observarse cambios en la conductancia estomática.

Al analizar la dinámica temporal de las variables, los valores de potencial registrados en abril de 2023 son más altos que los registrados en los meses de julio 2022, lo que es una respuesta a la variación estacional, en el que se observan los valores más negativos en invierno. Por otro lado, se observa un efecto de la aplicación del riego en los árboles de la serie A, donde alcanzan valores superiores a los de la serie B en todas las variables medidas desde enero de 2023.

Respecto a los resultados correspondientes a la estimación de biomasa, la biomasa aérea total de la población en enero de 2023 alcanzó 4.689,3 kg, mientras que en abril de 2023 la biomasa aérea total aumentó a 4.963,1 kg. Los individuos vivos concentraron la mayor proporción (94,3% en enero de 2023 y 95,1% en abril de 2023), acumulándose, en un bajo número de individuos, (cinco árboles) de grandes dimensiones (>47 cm de diámetro), los cuales representan el 72,5% de la biomasa aérea total de la población. Con respecto a las componentes, la biomasa aérea se acumula en forma decreciente en las ramas (62,4%), el fuste (29,6%) y las hojas (8,0%), en particular, la biomasa de frutos acumulada para la población resultó de 58,8

² Como parte de las acciones comprometidas en el Programa de Cumplimiento (PdC) aprobado mediante Res. Ex. N° 38/2022 por la SMA, en el marco del procedimiento sancionatorio Res. Ex. N° 4/ROL F-041-2016, se implementó, en noviembre 2022, un programa de riego de los algarrobos que forman parte del monitoreo comprometido en la RCA 226/2006, correspondiente a la Acción 28.

kg, valor que podría estar sobrestimado. Para su ajuste se requiere una mayor acumulación de información en el tiempo y la posibilidad de obtener muestras de los frutos producidos por la población

Los resultados indican un crecimiento en la población estudiada (Series A, B, C y D), expresado en un incremento en la media del diámetro basal equivalente (0,1 cm al año reportado en enero de 2023 v/s 1,2 cm reportado en abril de 2023) y en área basal acumulada (0,02 m² al año reportado en enero de 2023 v/s 0,4767 m² al año) en el período abril de 2022 y abril de 2023. En enero de 2023 se registró una disminución de la biomasa para las componentes fustes (46,9 kg), hojas (7,4 kg) y biomasa aérea total (67,5 kg) y un aumento en la biomasa de ramas (31,1 kg), presentando diferencias estadísticas para los resultados encontrados. Sin embargo, en abril de 2023, los árboles registraron un aumento en la biomasa de ramas (438,8 kg) y biomasa aérea Total (206,3 kg), pero una disminución de la biomasa para las componentes Fustes (111,4 kg) y Hojas (103,5 kg), siendo significativos los cambios para el período analizado (enero 2023-abril 2023). Para la serie A, si bien se registraron incrementos tanto en la biomasa total (259,36 kg con respecto al monitoreo inicial 2020) como en la biomasa de fustes (32,08 kg) y ramas (33,96 kg), estos no son estadísticamente significativos. La biomasa de hojas disminuyó en 4,21 kg con respecto al monitoreo inicial en 2020, sin presentar diferencias estadísticas.

Respecto a los ejemplares que cuentan con sistema de riego, estos muestran signos concordantes con la estacionalidad, en términos de su vitalidad y porcentaje de copa viva. Se observa un aumento de estos parámetros en los meses más favorables para la vegetación (monitoreos de verano y principios de otoño); así como una disminución de ellos en los meses de receso vegetativo (temporada invernal). Por otra parte, se observa que a partir de la implementación del sistema de riego los ejemplares secos disminuyeron, para mantenerse en dos individuos (en todos los monitoreos del primer semestre 2023).

La comparación del vigor de los ejemplares sometidos a riego previo a la implementación de este sistema se muestra variable en el tiempo, mientras que posterior a su implementación el vigor se muestra más estable, dejando ver la respuesta de la vegetación a los cambios estacionales, donde los individuos débiles aumentan hacia la época invernal, mientras los individuos con crecimiento normal y excepcionalmente vigorosos disminuyen.

Respecto a la copa viva, al comparar el primer semestre del 2022 y 2023, se observa que los individuos de algarrobo con riego tienden a mantener algún grado de follaje durante todo el periodo de forma independiente a la estacionalidad, dado que se observa gran cantidad de árboles con follaje en 5-25%, 25-50 y 50-75% incluso en los meses de receso vegetativo. En 2022, se observa una mayor repuesta de este parámetro a la estacionalidad.

En la evaluación del estado de los elementos asociados al sistema de riego, se verifica que el principal desperfecto en sus componentes corresponde a roturas puntuales en las líneas de abastecimiento de agua y piquetes en las cañerías, además de pérdida de presión y fugas. La pronta detección de estos desperfectos ha proporcionado una rápida reacción y reparación de estos componentes.

1.2 Flora y Vegetación

1.2.1 Vegetación

La quebrada de Camar posee una superficie total de 4.044,04 ha, correspondiente al cono aluvial que se extiende entre el pueblo de Camar y la ruta B-355, aproximadamente. Se identificaron 439,66 ha (10,87%) ocupadas por vegetación y 3.604,38 ha (89,13%) correspondientes a otras superficies (zonas de vegetación escasa, zonas agrícolas, red vial y zonas pobladas, entre otras). La vegetación se desglosa en 6 Formaciones vegetacionales, a saber: 1) Matorral de *Tessaria absinthioides* (257,84 ha; 6,40%), 2) Matorral de *Tiquilia atacamensis* (110,28 ha; 2,70%), 3) Matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* (29,55 ha; 0,70%), 4) Matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora* (32,17 ha; 0,80%), 5) Pradera de *Distichlis spicata* (0,48 ha; 0,00%) y 6) Bosque de *Neltuma alba*³ (algarrobo) (9,34 ha; 0,20%). Además, existen superficies que corresponden a Zona de Vegetación Escasa (3.551,84 ha; 87,30%), la cual se caracteriza por tener una cobertura vegetal menor al 5%. Las superficies restantes (52,54 ha; 1,30%) están representadas por el área ocupada por la red vial dentro de la quebrada y la zona agrícola (7,32 ha; 0,20%), zona poblada (5,13 ha; 0,10%), tranque (0,24 ha; 0,00%) y otras áreas intervenidas (8,51 ha; 0,20%) asociadas al poblado de Camar.

Respecto al estado vital de la vegetación, al comparar el período analizado (enero y abril de 2023), se observa un aumento en el número de polígonos en categoría Normal en abril de 2023 con un diferencial positivo de 24,0%, mientras que se observa una disminución en el número de polígonos en estado vital Débil con un diferencial de 12,0%. Los polígonos en estado Seco, Muy débil y Excepcionalmente vigoroso también disminuyeron en abril de 2023 con un diferencial de 4,0% respectivamente.

Respecto a la afectación antrópica y/o natural por daño animal sobre la vegetación dentro de la quebrada de Camar, de las 75 unidades vegetacionales (polígonos), se registró la misma cantidad de polígonos intervenidos tanto en enero como en abril de 2023 (13 polígonos, equivalente al 17,33%). Además, se observó un aumento en el número de polígonos con presencia de basura en un 2,7%, mientras que el número de polígonos con presencia de obras y huellas vehiculares disminuyó en abril de 2023 en un 2,7% y un 1,3% respectivamente. Respecto a la afectación natural por daño animal, en enero de 2023 se registraron signos animales principalmente fecas de burros en 7 polígonos (9,3%), mientras que, en abril de 2023, no se registraron observaciones con respecto a la afectación natural por daño animal. Finalmente, respecto al estado fitosanitario de los polígonos visitados, además de lo registrado respecto a la afectación antrópica y/o natural por daño animal no se observan signos de otros tipos de daños.

³ Recientemente las especies nativas y endémicas del género *Prosopis* en Chile, conocidas como algarrobos y tamarugos, han modificado su nomenclatura tradicional propuesta por Burkart (1976) siendo reemplazados por los géneros *Neltuma* y *Strombocarpa*, según estudios actuales de Hughes et al. 2022. En el acápite 2 Introducción se entrega el detalle del cambio de nomenclatura del género *Prosopis*.

1.2.2 Flora

De acuerdo con la flora vascular presente en la quebrada de Camar, se registra una riqueza de 26 taxa hasta abril de 2023. Las especies más abundantes corresponde a *Tessaria absinthioides* y en menor medida *Tiquilia atacamensis* y *Atriplex atacamensis*. El total de taxa se agrupa en 13 familias distintas. Dieciséis (16) de los taxa encontrados corresponden a especies nativas, ocho (8) a especies endémicas y dos (2) especies introducidas. La mayoría de las especies registradas en la quebrada de Camar tienen hábito herbáceo (69,23), seguido por arbustos (23,08%) y en menor medida árboles (7,69%), registrándose la presencia de *Neltuma alba* y algunos individuos de *Strombocarpa tamarugo* en el área estudiada.

1.3 Parámetros del suelo

1.3.1 Monitoreo mensual de Contenido de Humedad de suelo (CHS)

El contenido de humedad del suelo asociado a los individuos de algarrobos monitoreados mensualmente en el sector de la quebrada de Camar, posee un marcado comportamiento estacional, el cual se ve influenciado por la ocurrencia de lluvias estivales. En el período analizado (enero a junio 2023), se observa que en el mes de marzo se presentan los mayores registros de CHS (%) en todos los puntos de monitoreo, como respuesta a las lluvias ocurridas durante febrero y marzo⁴. Del mismo modo, en los meses donde no hubo precipitaciones, se observa una disminución en el CHS.

De acuerdo con estudios previos sobre la población de algarrobos presente en la quebrada de Camar⁵, los árboles aprovecharían el agua subsuperficial almacenada en el horizonte arcilloso del suelo, independizándose de los aportes directos de las precipitaciones y de la napa freática, ya que esta última, se ubica a más de 50 m en el sector. Por esta razón, se estima que eventos de lluvias favorecerían las reservas de agua aprovechable para las plantas, y en consecuencia la vitalidad de la población de algarrobos.

1.3.2 Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE

El monitoreo trimestral contempla la medición del contenido de humedad de suelo, pH y conductividad eléctrica. Los resultados del primer semestre de 2023 indican que los suelos que se presentan dentro de la quebrada de Camar son principalmente alcalinos, de pH elevado, con salinidades y contenido de humedad variables. La salinidad varía entre suelos moderadamente salinos y fuertemente salinos en la zona más cercana al salar de Atacama a suelos no salinos en la zona media y alta de la quebrada, siendo estos últimos los que tuvieron mayor frecuencia dentro del universo de puntos de monitoreo. De la misma forma, el

⁴ Las precipitaciones registradas en el mes de febrero corresponden a los días: 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 18 de febrero (19,8 mm, 1,5 mm, 0,2 mm, 4,3 mm, 1,0 mm, 0,3 mm y 1,7 mm respectivamente). Las precipitaciones registradas en el mes de marzo corresponden a los días: 10, 14, 16, 17, 22 y 23 (1,2 mm, 6,5 mm, 0,1 mm, 3,2 mm, 10,3 mm y 1,3 mm respectivamente). Fuente: Red Agrometeorológica de INIA, Estación Camar, San Pedro de Atacama (www.agrometeorologia.cl).

⁵ CRICYT, 2018: Tercer informe de avance sobre estudios e investigaciones que intentan explicar el estado actual de ejemplares de algarrobo, en una población ubicada en las proximidades del pozo CAMAR 2 de SQM, en el Salar de Atacama, Chile.

contenido de humedad es mayor en aquellos puntos más cercanos al salar y menor a medida que se distancian hacia la zona altiplánica.

2 Introducción

El presente informe corresponde al reporte del primer semestre del año 2023, asociado a los monitoreos de la población de algarrobo y de la flora y vegetación que se desarrollan en el cono aluvial de la quebrada de Camar, dentro del Salar de Atacama en la región de Antofagasta. Este se enmarca en las acciones comprometidas en el Programa de Cumplimiento (PdC) presentado con motivo del procedimiento sancionatorio iniciado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) mediante la Resolución Exenta N° 1 / ROL F-041.2016 (rectificado por Res. Ex. N° 4/Rol F-041-2016) y aprobado mediante Resolución N° 38 el 29 de agosto de 2022 por la SMA.

Específicamente, el informe responde a la Acción 24 del PdC, la que tiene por objeto “incorporar al seguimiento ambiental a los individuos de algarrobos y otras formaciones vegetacionales que no forman parte del seguimiento ambiental comprometido en el marco de la RCA 226/2006”. La acción N° 28 que tiene por objeto implementar un programa de riego de los algarrobos que forman parte del monitoreo comprometido en la RCA N° 226/2006.

Cabe destacar que, recientemente las especies nativas y endémicas del género *Prosopis* en Chile, conocidas como algarrobos y tamarugos, han modificado su nomenclatura tradicional propuesta por Burkart (1976) siendo reemplazados por los géneros *Neltuma* (algarrobos) y *Strombocarpa* (Tamarugos), según estudios actuales de Hughes et al. 2022, presentando la justificación de la desintegración del género *Prosopis*. De acuerdo con nuevas evidencias filogenéticas se ha demostrado que el antiguo género *Prosopis* presenta un origen polifilético con tres linajes separados, cada uno con afinidades de géneros de las Leguminosae mimo-soideas. La proposición original de *Prosopis* por Burkart 1976 ya distinguía secciones que reunían especies de distintos orígenes y antigüedad, destacando para la flora de Chile, las Secciones *Algarobia* representada por los algarrobos actualmente *Neltuma* y *Strombocarpa* que incluye a tamarugo y afines actualmente en el género *Strombocarpa* (Hughes et al 2022). Los tres linajes descritos corresponden en gran medida a los enunciados por Burkart 1976 como Secciones y Series y no modifican la información acerca de sus atributos biológicos, origen, distribución geográfica, descripción morfológica o anatómica, ecología, estado de conservación (RCE, CITES). Dicho lo anterior, para efectos legales y en la ficha de clasificación y categorías definidas en decretos, se mantiene aún el nombre *Prosopis alba* Griseb, sin embargo, ya se ha reconocido a la especie con la denominación *Neltuma alba* (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis en las principales bases de datos botánicas (Instituto de Botánica Darwinion Flora del Cono Sur⁶, Catálogo de Plantas nativas del Herbario de la Universidad de Concepción⁷, IPNI⁸) y en publicaciones científicas. Dicho lo anterior, en el presente informe

⁶ Recientemente actualizado en la página web del Instituto de Botánica Darwinion <http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=alba&genero=Neltuma&espcod=200674>

⁷ <http://catalogoplantas.udec.cl/?q=catalogo&combine=neltuma+alba>

⁸ <https://www.ipni.org/n/77303585-1>

se utiliza la nomenclatura recientemente incorporada para referirse a los ejemplares de algarrobo como *Neltuma alba*.

Las variables que son objeto del seguimiento y los responsables de la ejecución del monitoreo de cada una de las componentes ambientales se detallan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Parámetros establecidos, responsables de la ejecución y medición de las variables

Componente	Variable	Parámetro	Frecuencia del monitoreo		Responsables del monitoreo
Medio Biótico	Población de <i>Neltuma alba</i>	Vitalidad Porcentaje de copa viva Fenología Etapa de crecimiento Afectación antrópica y/o natural	Mensual		Geobiota y monitores de la Comunidad de Camar.
		Potencial hídrico Conductancia estomática	Trimestral		Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile
		Variables dendrométricas	Trimestral		Dr. Gustavo Cruz M. Ing. For. Patricio Tapia.
	Individuos de <i>Neltuma alba</i> bajo sistema de riego	Vitalidad Porcentaje de copa viva	Semanal/Bisemanal		Personal de la Gerencia de Medio Ambiente (GMA), de SQM Salar S.A.
		Estado de los elementos asociado al Sistema de Riego			
Vegetación de la quebrada de Camar	Cobertura de la vegetación medida como superficie Vitalidad Afectación antrópica y/o natural	Trimestral		Geobiota y monitores de la Comunidad de Camar.	
		Trimestral			
Flora de la quebrada de Camar	Abundancia de especies Riqueza florística	Trimestral			
Medio Abiótico	Suelo	Contenido de humedad para individuos <i>Neltuma alba</i>	Mensual	Enero Febrero Marzo Abril	Algoritmos Spa (toma de muestras). ALS Life Sciences Chile (análisis de laboratorio).
				Mayo Junio	ALS Life Sciences Chile (toma de muestras y análisis de laboratorio).

Tabla 2-1. Parámetros establecidos, responsables de la ejecución y medición de las variables

Componente	Variable	Parámetro	Frecuencia del monitoreo	Responsables del monitoreo
	Suelo	Contenido de humedad Conductividad eléctrica pH	Trimestral	Algoritmos Spa (toma de muestras). ALS Life Sciences Chile (análisis de laboratorio).

Fuente: Elaboración propia, 2023

Los individuos de *Neltuma alba* (algarrobo) que se desarrollan en la quebrada han sido identificados por las series A, B, C, D y E. Los algarrobos de la serie A han sido monitoreados anualmente desde el año 2006 a través del Plan de Seguimiento Ambiental asociado a la Operación Minera en el Salar de Atacama (RCA N° 226/2006). Esta serie posee un universo total de 75⁹ ejemplares adultos ubicados en las proximidades del ex pozo de extracción Camar-2¹⁰, de los cuales 15 se encuentran desprendidos o desaparecidos hasta junio 2023.

Por otra parte, las series B, C y D han sido monitoreadas mensualmente desde abril 2021 como parte de la Acción 24 del PdC, correspondientes a los individuos que se desarrollan en el área de la quebrada de Camar que se ubica al oeste de la Ruta CH-23. Luego, a partir del mes de enero 2022, se incorporaron a este monitoreo los individuos presentes al este de la Ruta CH-23 y dentro del pueblo de Camar (serie E)¹¹. Estos individuos conforman el objeto del monitoreo mensual de algarrobos y se agregan a los análisis previos de la serie A, dando un total de 437 ejemplares hasta junio 2023. Cabe mencionar que, en las prospecciones realizadas en las distintas campañas, se ha notificado el desprendimiento de 88 ejemplares (desaparecidos) e identificado 16 ejemplares correspondientes a regeneración de *Strombocarpa tamarugo* dentro de la quebrada, los que no se consideran para el análisis de resultados.

La evaluación de individuos bajo sistema de riego se evalúa en 37 ejemplares; 32 ejemplares de la serie A, y 5 ejemplares de la serie C, tal como es indicado en la acción N°28 del Plan de Cumplimiento (PdC). El individuo "AX-01"¹² correspondiente a la serie A y aquellos pertenecientes a la serie C fueron considerados dentro de la implementación del sistema de riego con la finalidad de comparar su efectividad en individuos distintos a los establecidos en la RCA N° 226/2006.

Con respecto al monitoreo de flora y vegetación dentro de la quebrada de Camar, la finalidad es dar cuenta de su estado actual y evaluar su comportamiento temporal. Las formaciones vegetacionales que se

⁹ De acuerdo con lo establecido en la RCA del Proyecto, los individuos pertenecientes a la serie A son 71, sin embargo, a través de los constantes monitoreos, se han incluido 4 ejemplares a esta serie (Anexo 1).

¹⁰ El pozo Camar-2 se encuentra desmantelado. Por lo tanto, actualmente no está en funcionamiento y se considera solo como un punto de referencia y de observación.

¹¹ La serie E fue incorporada en enero 2022 y no está identificada dentro del Plan de Cumplimiento. Además, hay reportes mensuales donde no se ha podido monitorear el total de individuos, por lo que el número de individuos en pie varía mes a mes.

¹² Los individuos AX-01, AX-02, AX-03 y AX-76 forma parte de la serie A y comenzaron a ser monitoreados a partir de diciembre de 2021. Además, el individuo AX-01 cuenta con sistema de riego desde diciembre de 2022.

desarrollan dentro del área fueron identificadas en una prospección inicial y presentadas en el reporte “Estudio vegetacional y florístico de la quebrada de Camar” (septiembre 2021), que da inicio al seguimiento de este componente.

Como información adicional y para complementar los resultados de los seguimientos, se realizan monitoreos mensuales del contenido de humedad del suelo asociado a la población de algarrobos y monitoreos trimestrales del contenido de humedad, pH y salinidad del suelo, asociados a las formaciones vegetacionales presentes en la quebrada.

De acuerdo con lo anterior, en el presente informe se entregan los resultados correspondientes al reporte semestral del monitoreo de vitalidad de algarrobos y seguimiento de la flora y vegetación que se desarrolla en la quebrada de Camar.

3 Objetivos

El presente informe tiene como objeto dar cuenta de los resultados semestrales del Programa de Seguimiento de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar, cuyo fin es aportar más información sobre los individuos de algarrobos y otras formaciones vegetacionales que no forman parte del Plan de Seguimiento Ambiental comprometido en el marco de la RCA N° 226/2006 y analizar la evolución semestral de las componentes que son objeto de estudio.

Para esto se han establecido los siguientes objetivos específicos:

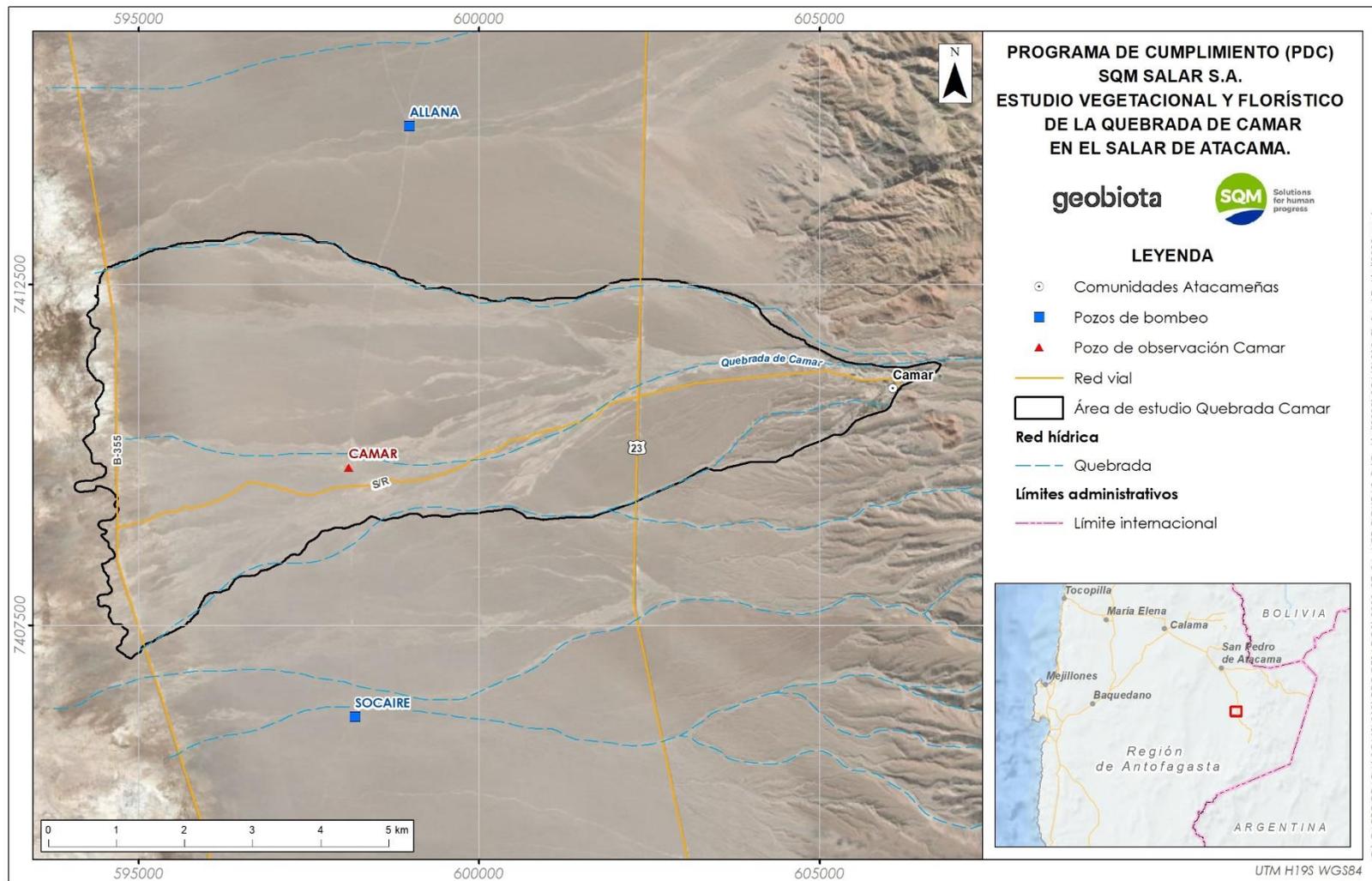
- Censar individuos de la población de *Neltuma alba* (algarrobo) que se desarrolla en la quebrada de Camar, registrando individuos desaparecidos, nuevos, y reaparecidos por cada una de las series y analizar la evolución en el tiempo de sus estados vitales y sanitarios.
- Evaluar el estado fisiológico de la población de *Neltuma alba* mediante la medición de variables que permiten determinar su estado hídrico
- Estimación de la biomasa aérea de la población de *Neltuma alba*
- Reportar el estado de los elementos asociados al programa de riego.
- Caracterizar los ejemplares sometidos a riego mediante la evaluación del vigor y el porcentaje de copa viva.
- Caracterizar las formaciones vegetacionales presentes dentro de la quebrada de Camar en términos de su riqueza, abundancia y estimar su estado de vitalidad
- Evaluar el contenido de humedad del suelo asociado a algunos individuos de algarrobo y su variabilidad en el tiempo.
- Evaluar el contenido de humedad del suelo, conductividad eléctrica y pH dentro de la quebrada y su variabilidad en el tiempo, además de analizar los posibles efectos que ésta tenga sobre la flora y vegetación de la quebrada de Camar.

4 Materiales y métodos

4.1 Área de estudio

El área que es objeto de seguimiento (en adelante, área de estudio o AE), corresponde al área cubierta por la quebrada de Camar, la cual contempla una superficie de 4.044,04 ha y se ubica en el sector este de la cuenca endorreica del Salar de Atacama, dentro de la comuna de San Pedro de Atacama, región de Antofagasta (Figura 4-1).

Figura 4-1. Ubicación del área de estudio



Fuente: elaboración propia, 2023

4.2 Monitoreo de ejemplares de *Neltuma alba* (algarrobos)

4.2.1 Ubicación de los individuos

4.2.1.1 Ejemplares de algarrobos con determinación del estado de vitalidad y sanitario

El monitoreo se realiza en una población de *Neltuma alba* (algarrobos) ubicados en la Quebrada de Camar y sector urbano de la localidad de Camar. Los individuos han sido clasificados en cinco series de árboles (A, B, C, D y E). La serie A, corresponde a los ejemplares que se han muestreado periódicamente desde abril de 2006 y que forman parte del Plan de Seguimiento Ambiental del Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama, estos se ubican adyacentes al ex pozo de extracción Camar-2. Las series B y C, corresponden a ejemplares identificados en el reporte “Análisis de la vitalidad de Algarrobos Serie A, B y C” (2017), mientras que, los ejemplares de la Serie D corresponden a individuos en etapa juvenil que se agregan al análisis a partir del reporte “Estudio vegetacional y florístico de la quebrada Camar” (septiembre 2021). Finalmente, los individuos pertenecientes a la serie E, corresponden a ejemplares agregados en enero 2022, y están ubicados al este de la Ruta CH-23 y dentro del pueblo de Camar.

Cabe destacar que, al ser un censo mensual, el número de individuos no registrados, desaparecidos, reaparecidos y nuevos es variable en el tiempo. Los nuevos individuos se van integrando a una serie dependiendo de la ubicación que éstos tengan. Además, los individuos de la serie E particularmente son los que más varían mensualmente debido a múltiples factores¹³, por lo que el número de individuos en pie varía mensualmente.

Las coordenadas de estos ejemplares se presentan en la Tabla 4-1, mientras que la ubicación espacial de estos se presenta en la Figura 4-2. Es importante destacar que, de la totalidad de ejemplares de *Neltuma alba*, 16 individuos corresponden a ejemplares de tamarugo (*S. tamarugo*; D-04, D-05, D-06, D-07, D-08, D-15, D-36, D-45, D-65, D-69, D-70, E-28, E-139, E-141, E-142 y E-143), los cuales, si bien están identificados, no son objeto de análisis de este monitoreo.

Tabla 4-1 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-01	598.100	7.409.909	C-49	598.198	7.409.523	E-039	605.975	7.411.097
A-02	598.065	7.409.914	C-50	598.152	7.409.549	E-040	605.971	7.411.092
A-03	598.032	7.409.929	C-51	598.156	7.409.544	E-041	605.973	7.411.098
A-04	598.066	7.409.720	C-52	598.155	7.409.526	E-042	605.975	7.411.098

¹³ La serie E se compone de 182 individuos hasta junio 2023. En noviembre 2022 y marzo 2023 se suspendieron las campañas por motivos técnicos y climáticos, respectivamente. Además, en junio 2023 hubo restricciones de acceso al pueblo, por lo que no se pudo completar la totalidad del monitoreo. Debido a esto, el número de individuos en pie varía mensualmente.

Tabla 4-1 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-05	598.004	7.409.777	C-53	598.138	7.409.528	E-043	605.977	7.411.099
A-06	597.867	7.409.701	C-54	598.131	7.409.519	E-044	605.975	7.411.099
A-07	597.031	7.409.692	C-55	598.132	7.409.523	E-045	605.972	7.411.100
A-08	597.052	7.409.693	C-56	598.131	7.409.521	E-046	605.974	7.411.097
A-09	597.055	7.409.705	C-57	598.132	7.409.516	E-047	606.040	7.410.946
A-10	597.087	7.409.700	C-58	598.113	7.409.516	E-048	606.041	7.410.951
A-11	597.201	7.409.691	C-59	598.111	7.409.506	E-049*	606.040	7.410.949
A-12	597.223	7.409.975	C-60	598.095	7.409.505	E-050	606.036	7.410.954
A-13	597.288	7.409.962	C-61	598.143	7.409.489	E-051	606.034	7.410.959
A-14	597.286	7.409.993	C-62	598.141	7.409.493	E-052	606.033	7.410.957
A-15	597.260	7.409.999	C-63	598.178	7.409.504	E-053-A	606.047	7.410.951
A-16	597.582	7.409.925	C-64	598.142	7.409.518	E-053-B*	606.047	7.410.951
A-17	597.603	7.409.916	C-65	598.545	7.409.509	E-054*	606.046	7.410.951
A-18	597.621	7.409.920	C-66	598.557	7.409.716	E-055	606.039	7.410.946
A-19	597.621	7.409.913	C-67	598.563	7.409.715	E-056*	606.043	7.410.944
A-20	597.627	7.409.921	C-68	598.588	7.409.723	E-057*	606.051	7.410.951
A-21	597.632	7.409.915	C-69	598.602	7.409.731	E-058	606.055	7.410.950
A-22	597.634	7.409.921	C-70	598.609	7.409.736	E-059	606.046	7.410.956
A-23	597.645	7.409.915	C-71	598.602	7.409.691	E-060	606.051	7.410.960
A-24	597.649	7.409.924	C-72	598.575	7.409.695	E-061	606.044	7.410.960
A-25	597.655	7.409.919	C-74	598.105	7.409.725	E-062	606.050	7.410.966
A-26	597.665	7.409.923	C-75	598.098	7.409.481	E-063	606.054	7.410.970
A-27	597.679	7.409.918	C-76	598.109	7.409.481	E-064	606.042	7.410.968
A-28	597.683	7.409.912	C-77	598.102	7.409.492	E-065	606.029	7.410.940
A-29	597.747	7.409.936	C-78	598.469	7.409.488	E-066	606.021	7.410.910
A-30	597.788	7.409.952	C-79	598.469	7.409.679	E-067	606.023	7.410.909
A-31	597.792	7.409.953	D-01	599.662	7.409.679	E-068	606.024	7.410.911
A-32	598.738	7.409.919	D-02	599.297	7.409.953	E-069	606.021	7.410.912
A-33	598.759	7.409.902	D-03	599.294	7.409.919	E-070	606.018	7.410.915

Tabla 4-1 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-34	598.819	7.409.920	D-04	599.278	7.409.926	E-071	606.019	7.410.917
A-35	598.848	7.409.926	D-05	599.277	7.409.953	E-072	606.014	7.410.895
A-36	598.732	7.409.766	D-06	599.282	7.409.966	E-073	606.008	7.410.893
A-37	598.698	7.409.766	D-07	599.227	7.410.001	E-074	606.005	7.410.891
A-38	598.677	7.409.695	D-08	599.204	7.410.004	E-075	605.998	7.410.898
A-39	598.670	7.409.699	D-09	599.070	7.409.970	E-076	605.952	7.410.788
A-40	598.574	7.409.693	D-10	598.731	7.409.990	E-077	605.959	7.410.780
A-41	598.469	7.409.677	D-11	598.693	7.409.609	E-078	605.845	7.410.745
A-42	598.403	7.409.674	D-12	598.710	7.409.626	E-079	605.833	7.410.743
A-43	598.432	7.409.734	D-13	598.570	7.409.682	E-080	605.807	7.410.778
A-44	598.449	7.409.740	D-14	598.603	7.409.716	E-081	605.814	7.410.786
A-45	598.488	7.409.746	D-15	598.610	7.409.715	E-082	605.772	7.410.776
A-46	598.492	7.409.741	D-16	598.562	7.409.710	E-083	605.766	7.410.789
A-47	598.581	7.409.758	D-17	598.540	7.409.705	E-085	606.038	7.410.912
A-48	598.314	7.409.784	D-18	598.578	7.409.679	E-086	606.040	7.410.915
A-49	598.579	7.409.683	D-19	598.564	7.409.639	E-087	605.556	7.410.590
A-50	598.543	7.409.660	D-20	598.550	7.409.621	E-088	605.563	7.410.582
A-51	598.491	7.409.653	D-21	598.537	7.409.624	E-089	605.561	7.410.584
A-52	598.483	7.409.654	D-22	598.529	7.409.626	E-090	605.498	7.410.577
A-53	598.414	7.409.660	D-23	598.523	7.409.626	E-091	605.497	7.410.576
A-54	598.419	7.409.645	D-24	598.098	7.409.610	E-092	605.495	7.410.569
A-55	598.388	7.409.586	D-25	598.160	7.409.448	E-093	605.495	7.410.563
A-56	598.359	7.409.612	D-26	598.113	7.409.501	E-094	605.509	7.410.561
A-57	598.341	7.409.607	D-27	598.112	7.409.457	E-095	605.494	7.410.559
A-58	598.407	7.409.807	D-28	598.055	7.409.453	E-096	605.493	7.410.561
A-59	597.880	7.409.705	D-29	598.107	7.409.879	E-097	605.489	7.410.563
A-60	597.318	7.409.687	D-30	598.086	7.409.900	E-098	605.484	7.410.567
A-61	597.595	7.409.927	D-31	598.078	7.409.861	E-099	605.485	7.410.558
A-62	597.697	7.409.914	D-32	598.111	7.409.798	E-100	605.484	7.410.549

Tabla 4-1 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-63	597.715	7.409.919	D-33	598.103	7.409.491	E-101	605.486	7.410.550
A-64	597.703	7.409.910	D-34	598.695	7.409.488	E-102	605.482	7.410.548
A-65	597.718	7.409.904	D-35	598.660	7.409.708	E-103	605.439	7.410.545
A-66	597.731	7.409.907	D-36	599.272	7.409.717	E-104	605.436	7.410.548
A-67	597.746	7.409.922	D-37	599.230	7.409.965	E-108	605.297	7.410.425
A-68	597.767	7.409.938	D-38	598.117	7.409.982	E-109	605.295	7.410.415
A-69	598.076	7.409.878	D-39	598.116	7.410.175	E-110	605.305	7.410.418
A-70	598.028	7.409.873	D-40	598.119	7.410.182	E-111	605.303	7.410.418
A-71	597.817	7.409.786	D-41	598.118	7.410.189	E-112	605.308	7.410.411
AX-01	598.305	7.409.804	D-42	598.118	7.410.190	E-113	605.305	7.410.406
AX-02	597.020	7.409.942	D-43	598.117	7.410.207	E-114	605.307	7.410.403
AX-03	597.037	7.409.920	D-45	598.189	7.410.214	E-115	605.304	7.410.393
AX-76	597.609	7.409.906	D-46	598.516	7.409.866	E-116	605.322	7.410.402
B-01	598.922	7.409.874	D-47	598.509	7.409.637	E-117	605.324	7.410.401
B-02	599.016	7.409.889	D-48	598.679	7.409.661	E-118	605.326	7.410.400
B-03	599.710	7.409.937	D-49	598.728	7.409.705	E-119	605.330	7.410.403
B-04	600.761	7.410.288	D-50	598.745	7.409.637	E-120	605.313	7.410.411
B-05	601.215	7.410.461	D-51	598.760	7.409.632	E-121	605.311	7.410.414
B-06	601.266	7.410.440	D-52	598.755	7.409.662	E-122	605.310	7.410.416
B-07	601.306	7.410.495	D-53	598.795	7.409.668	E-123	605.307	7.410.422
B-08	601.379	7.410.552	D-54	598.822	7.409.663	E-124	605.305	7.410.426
B-09	601.420	7.410.585	D-55	598.810	7.409.679	E-125	605.313	7.410.423
B-10	601.403	7.410.509	D-56	598.829	7.409.698	E-126	605.316	7.410.418
B-11	601.603	7.410.548	D-57	598.741	7.409.702	E-127	605.319	7.410.425
B-12	601.635	7.410.587	D-58	599.249	7.409.692	E-128	605.318	7.410.425
B-13	601.683	7.410.612	D-59	601.641	7.409.977	E-129	605.324	7.410.414
B-14	601.711	7.410.666	D-60	599.289	7.410.610	E-130	605.390	7.410.434
B-15	601.710	7.410.672	D-61	598.987	7.409.931	E-132	605.468	7.410.532
B-16	601.856	7.410.736	D-62	598.743	7.409.858	E-133	605.476	7.410.527

Tabla 4-1 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
B-17	601.972	7.410.806	D-63	598.714	7.409.654	E-134	605.472	7.410.529
B-18	602.174	7.410.934	D-64	599.100	7.409.620	E-135	604.455	7.411.156
B-19	602.256	7.410.943	D-65	599.076	7.409.867	E-137	603.033	7.411.234
B-20	602.261	7.410.998	D-66	599.083	7.409.951	E-138	603.606	7.411.329
B-21	602.313	7.410.998	D-67	598.742	7.409.874	E-139	603.585	7.411.343
BX-01	602.298	7.411.023	D-68	598.114	7.409.681	E-140	604.510	7.411.144
C-01	598.556	7.409.676	D-69	598.138	7.410.168	E-141	603.675	7.411.341
C-02	598.553	7.409.678	D-70	598.138	7.409.964	E-142	603.724	7.411.353
C-03	598.559	7.409.682	D-71	599.083	7.409.952	E-143	603.733	7.411.365
C-04	598.559	7.409.682	D-72	599.015	7.409.952	E-144	606.042	7.410.953
C-05	598.561	7.409.683	D-73	598.997	7.409.873	E-145	606.048	7.410.944
C-06	598.567	7.409.681	D-74	598.944	7.409.858	E-146	606.051	7.410.921
C-07	598.568	7.409.678	D-75	598.488	7.409.853	E-147	606.018	7.410.911
C-08	598.570	7.409.679	D-76	598.502	7.409.655	E-148	605.873	7.410.732
C-09	598.577	7.409.681	D-77	598.701	7.409.630	E-149	605.975	7.411.097
C-10	598.588	7.409.673	D-78	598.766	7.409.642	E-150	605.971	7.411.097
C-11	598.587	7.409.674	D-79	598.750	7.409.652	E-151	605.993	7.411.112
C-12	598.586	7.409.673	D-80	598.664	7.409.601	E-152	605.937	7.411.151
C-13A	598.593	7.409.689	E-001	606.029	7.411.124	E-153	605.932	7.411.156
C-13B	598.586	7.409.688	E-002	605.751	7.411.098	E-154	605.925	7.411.155
C-14	598.602	7.409.693	E-003	605.752	7.411.099	E-155	605.923	7.411.161
C-15	598.603	7.409.693	E-004	605.648	7.411.143	E-156	605.522	7.411.221
C-16	598.618	7.409.703	E-005	605.574	7.411.225	E-157	605.522	7.411.220
C-17	598.623	7.409.690	E-006	605.555	7.411.222	E-158	605.306	7.411.156
C-18	598.624	7.409.692	E-007	605.534	7.411.243	E-159	604.850	7.411.570
C-19	598.630	7.409.704	E-008	605.513	7.411.217	E-160	604.743	7.411.332
C-20	598.539	7.409.722	E-009	605.392	7.411.271	E-161*	606.043	7.410.945
C-21	598.557	7.409.718	E-010	605.342	7.411.255	E-162	605.165	7.411.340
C-22	598.560	7.409.720	E-011	605.157	7.411.342	E-163	604.990	7.411.468

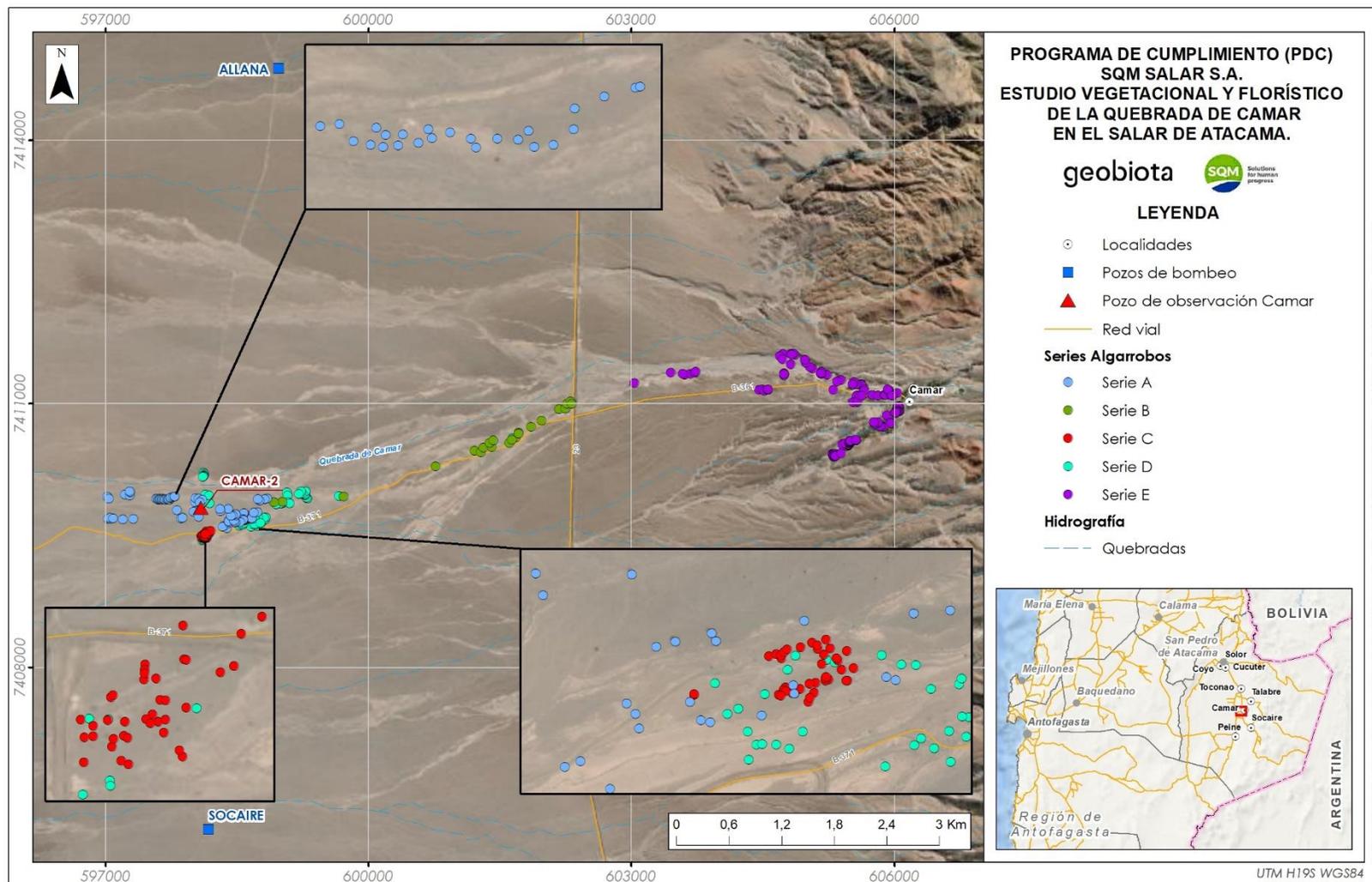
Tabla 4-1 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 19S).

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
C-23	598.595	7.409.728	E-013	605.163	7.411.368	E-164	604.745	7.411.334
C-24	598.595	7.409.721	E-014	604.976	7.411.510	E-165	604.489	7.411.159
C-25	598.599	7.409.719	E-015	604.863	7.411.556	E-166	605.975	7.411.096
C-26	598.606	7.409.726	E-016	604.835	7.411.561	E-167	606.058	7.410.915
C-27	598.598	7.409.709	E-017	604.820	7.411.568	E-168	606.057	7.410.912
C-28	598.614	7.409.713	E-018	604.725	7.411.511	E-169	605.977	7.411.091
C-29	598.625	7.409.722	E-019	604.818	7.411.448	E-170	605.040	7.411.515
C-30	598.620	7.409.721	E-020	604.744	7.411.349	E-171	603.458	7.411.354
C-31	598.097	7.409.466	E-021	604.553	7.411.155	E-172	606.047	7.410.952
C-32	598.113	7.409.482	E-022	604.553	7.411.155	E-173*	606.044	7.410.954
C-33	598.113	7.409.480	E-023	604.555	7.411.161	E-174	605.069	7.411.397
C-34	598.117	7.409.483	E-024	605.524	7.411.020	E-175	604.719	7.411.504
C-35	598.118	7.409.482	E-025	605.577	7.411.022	E-176	604.733	7.411.567
C-36	598.121	7.409.469	E-026	605.577	7.411.040	E-177	604.691	7.411.544
C-37	598.121	7.409.490	E-027	605.574	7.411.097	E-178	604.840	7.411.567
C-38	598.119	7.409.490	E-028	605.608	7.411.093	E-179	605.161	7.411.344
C-39	598.133	7.409.492	E-029	605.811	7.411.093	E-180	604.744	7.411.325
C-40	598.135	7.409.494	E-030	605.885	7.411.098	E-181	605.626	7.411.209
C-41	598.133	7.409.490	E-031	605.891	7.411.099	E-182	605.624	7.411.221
C-42	598.137	7.409.491	E-032	605.894	7.411.099	E-183	605.626	7.411.215
C-43	598.141	7.409.484	E-033	605.970	7.411.100	E-184	605.662	7.411.161
C-44	598.152	7.409.484	E-034	605.972	7.411.097	E-185	605.976	7.411.097
C-45	598.150	7.409.473	E-035	605.975	7.411.099	E-186	605.974	7.411.099
C-46	598.155	7.409.474	E-036	605.977	7.411.101	E-187	605.629	7.411.089
C-47	598.184	7.409.499	E-037	605.971	7.411.096	E-188	605.629	7.411.090
C-48	598.184	7.409.520	E-038	605.968	7.411.096	-	-	-

(*): Individuos trasladados, la coordenada informada corresponde a la original.

Fuente: Registro reporte mensual, 2023

Figura 4-2. Ubicación de los ejemplares de *Neituma alba* monitoreados



Fuente: Elaboración propia, 2023

4.2.1.2 Ejemplares de algarrobo con mediciones del estado fisiológico

Las mediciones del potencial hídrico y conductancia estomática se realizan en un grupo de 18 individuos de la serie A y un grupo de 9 ejemplares de la serie B (cinco individuos), serie C (un individuo), serie D (un individuo) y serie AX (dos individuos).

Cabe destacar que, los individuos monitoreados, están distribuidos aguas arriba y aguas abajo la tubería de agua superficial, y algunos individuos cuentan con un sistema de riego implementado en razón a la Acción 28¹⁴ del PdC. En la siguiente Tabla 4-2 se indican los individuos de Algarrobos en los cuales se determina su estado fisiológico y en la Figura 4-3 se visualiza su distribución espacial.

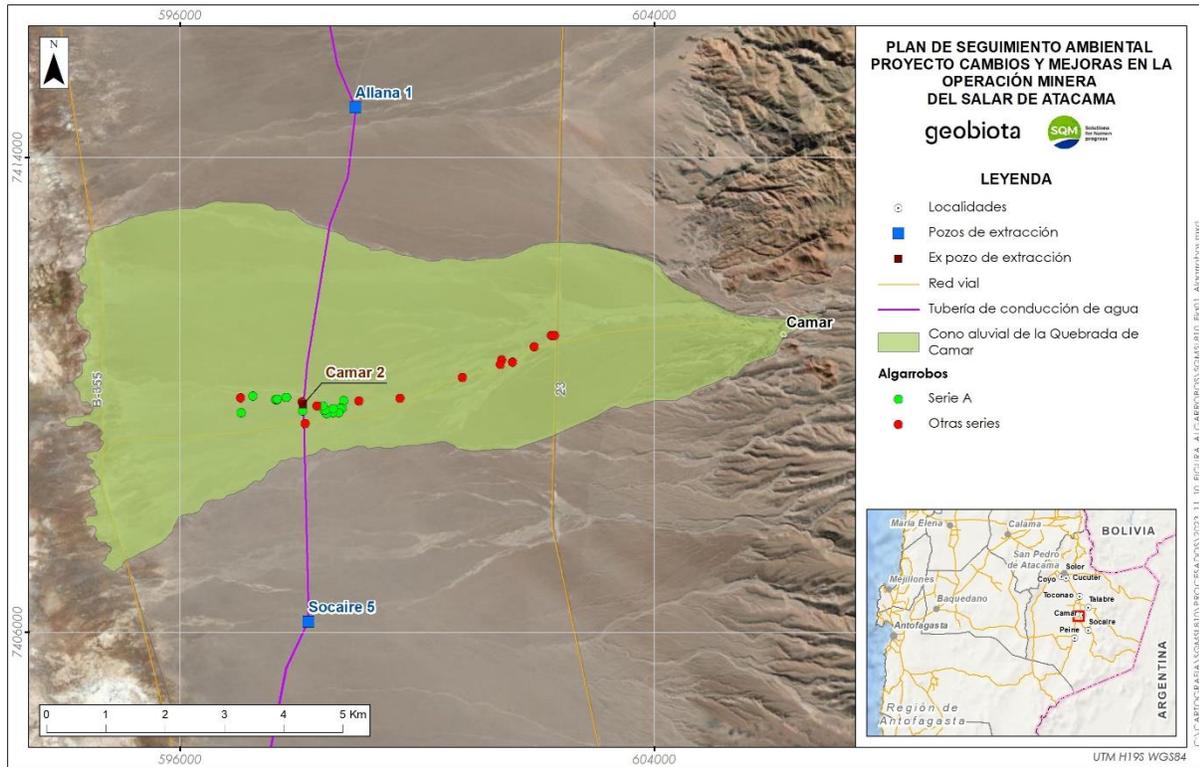
Tabla 4-2. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 19S).

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

Fuente: Elaboración propia, 2023.

¹⁴ Implementar programa de riego de los algarrobos que forman parte del monitoreo comprometido en la RCA 226/2006.

Figura 4-3. Distribución de los individuos de Algarrobo con mediciones de potencial hídrico y conductancia estomática



Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.2.1.3 Ejemplares de algarrobo con mediciones de variables dendrométricas

Para la medición de las variables dendrométricas y estimación de la biomasa aérea, se han todos los individuos distribuidos en el cono aluvial de la Quebrada de Camar de las series A, B, C y D. En la siguiente Tabla 4-1 se identifican los individuos y sus coordenadas de ubicación (coordenadas UTM, WGS84 19S), además su distribución espacial se presenta en la Figura 4-3.

Tabla 4-3 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM Datum WGS84 19S	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-04	598.066	7.409.720	B-17	601.972	7.410.806	D-76	598.502	7.409.655
A-05	598.004	7.409.777	B-18	602.174	7.410.934	B-15	601.710	7.410.672
A-06	597.867	7.409.701	B-20	602.261	7.410.998	C-49	598.198	7.409.523
A-07	597.031	7.409.692	B-21	602.313	7.410.998	C-50	598.152	7.409.549
A-08	597.052	7.409.693	C-01	598.556	7.409.676	C-51	598.156	7.409.544
A-09	597.055	7.409.705	C-02	598.553	7.409.678	C-54	598.131	7.409.519

Tabla 4-3 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar

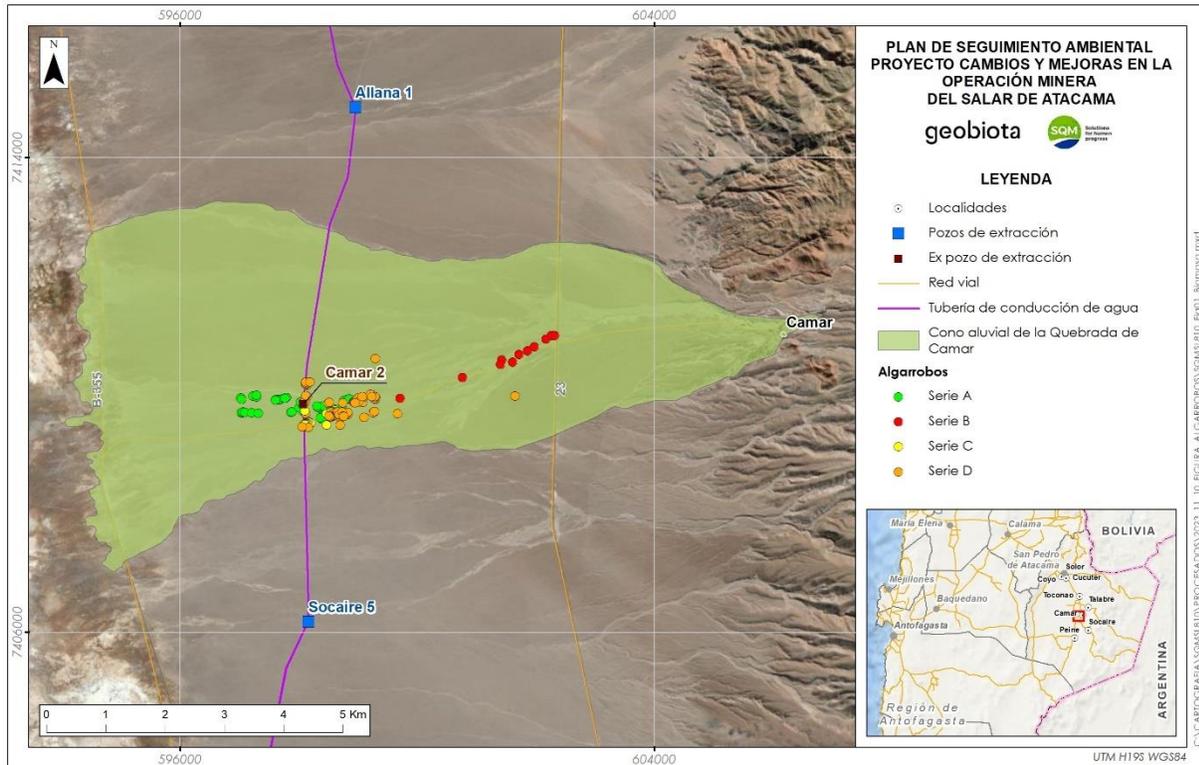
Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM Datum WGS84 19S	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-10	597.087	7.409.700	C-03	598.559	7.409.682	C-55	598.132	7.409.523
A-11	597.201	7.409.691	C-05	598.561	7.409.683	C-56	598.131	7.409.521
A-12	597.223	7.409.975	C-06	598.567	7.409.681	C-58	598.113	7.409.516
A-13	597.288	7.409.962	C-07	598.568	7.409.678	C-59	598.111	7.409.506
A-14	597.286	7.409.993	C-08	598.570	7.409.679	C-60	598.095	7.409.505
A-17	597.603	7.409.916	C-09	598.577	7.409.681	C-66	598.557	7.409.716
A-19	597.621	7.409.913	C-10	598.588	7.409.673	C-67	598.563	7.409.715
A-21	597.632	7.409.915	C-13A	598.593	7.409.689	C-69	598.602	7.409.731
A-22	597.634	7.409.921	C-13B	598.586	7.409.688	C-70	598.609	7.409.736
A-23	597.645	7.409.915	C-14	598.602	7.409.693	C-71	598.602	7.409.691
A-25	597.655	7.409.919	C-15	598.603	7.409.693	C-74	598.105	7.409.725
A-26	597.665	7.409.923	C-16	598.618	7.409.703	C-75	598.098	7.409.481
A-27	597.679	7.409.918	C-17	598.623	7.409.690	C-76	598.109	7.409.481
A-28	597.683	7.409.912	C-18	598.624	7.409.692	C-77	598.102	7.409.492
A-29	597.747	7.409.936	C-19	598.630	7.409.704	C-78	598.469	7.409.488
A-30	597.788	7.409.952	C-21	598.557	7.409.718	C-79	598.469	7.409.679
A-31	597.792	7.409.953	C-22	598.560	7.409.720	D-01	599.662	7.409.679
A-33	598.759	7.409.902	C-23	598.595	7.409.728	D-02	599.297	7.409.953
A-34	598.819	7.409.920	C-24	598.595	7.409.721	D-03	599.294	7.409.919
A-35	598.848	7.409.926	C-25	598.599	7.409.719	D-04	599.278	7.409.926
A-36	598.732	7.409.766	C-26	598.606	7.409.726	D-05	599.277	7.409.953
A-37	598.698	7.409.766	C-28	598.614	7.409.713	D-06	599.282	7.409.966
A-38	598.677	7.409.695	C-29	598.625	7.409.722	D-07	599.227	7.410.001
A-39	598.670	7.409.699	C-31	598.097	7.409.466	D-08	599.204	7.410.004
A-40	598.574	7.409.693	C-33	598.113	7.409.480	D-09	599.070	7.409.970
A-41	598.469	7.409.677	C-34	598.117	7.409.483	D-11	598.693	7.409.609
A-42	598.403	7.409.674	C-36	598.121	7.409.469	D-12	598.710	7.409.626
A-43	598.432	7.409.734	C-37	598.121	7.409.490	D-13	598.570	7.409.682
A-44	598.449	7.409.740	C-39	598.133	7.409.492	D-14	598.603	7.409.716

Tabla 4-3 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM Datum WGS84 19S	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-45	598.488	7.409.746	C-40	598.135	7.409.494	D-15	598.610	7.409.715
A-46	598.492	7.409.741	C-41	598.133	7.409.490	D-16	598.562	7.409.710
A-47	598.581	7.409.758	C-42	598.137	7.409.491	D-17	598.540	7.409.705
A-48	598.314	7.409.784	C-43	598.141	7.409.484	D-18	598.578	7.409.679
A-49	598.579	7.409.683	C-45	598.150	7.409.473	D-19	598.564	7.409.639
A-50	598.543	7.409.660	C-46	598.155	7.409.474	D-20	598.550	7.409.621
A-51	598.491	7.409.653	C-47	598.184	7.409.499	D-21	598.537	7.409.624
A-52	598.483	7.409.654	D-52	598.755	7.409.662	D-22	598.529	7.409.626
A-53	598.414	7.409.660	D-53	598.795	7.409.668	D-23	598.523	7.409.626
A-54	598.419	7.409.645	D-54	598.822	7.409.663	D-25	598.160	7.409.448
A-55	598.388	7.409.586	D-55	598.810	7.409.679	D-28	598.055	7.409.453
A-56	598.359	7.409.612	D-56	598.829	7.409.698	D-29	598.107	7.409.879
A-58	598.407	7.409.807	D-58	599.249	7.409.692	D-30	598.086	7.409.900
A-59	597.880	7.409.705	D-59	601.641	7.409.977	D-31	598.078	7.409.861
A-60	597.318	7.409.687	D-60	599.289	7.410.610	D-34	598.695	7.409.488
A-68	597.767	7.409.938	D-61	598.987	7.409.931	D-35	598.660	7.409.708
A-70	598.028	7.409.873	D-62	598.743	7.409.858	D-36	599.272	7.409.717
AX-01	598.305	7.409.804	D-63	598.714	7.409.654	D-37	599.230	7.409.965
AX-02	597.020	7.409.942	D-64	599.100	7.409.620	D-38	598.117	7.409.982
AX-03	597.037	7.409.920	D-65	599.076	7.409.867	D-39	598.116	7.410.175
AX-76	597.609	7.409.906	D-66	599.083	7.409.951	D-42	598.118	7.410.190
B-01	598.922	7.409.874	D-68	598.114	7.409.681	D-43	598.117	7.410.207
B-02	599.016	7.409.889	D-69	598.138	7.410.168	D-45	598.189	7.410.214
B-03	599.710	7.409.937	D-70	598.138	7.409.964	D-46	598.516	7.409.866
B-04	600.761	7.410.288	D-71	599.083	7.409.952	D-47	598.509	7.409.637
B-09	601.420	7.410.585	D-72	599.015	7.409.952	D-48	598.679	7.409.661
B-10	601.403	7.410.509	D-73	598.997	7.409.873	D-49	598.728	7.409.705
B-11	601.603	7.410.548	D-74	598.944	7.409.858	D-50	598.745	7.409.637
B-16	601.856	7.410.736	D-75	598.488	7.409.853	D-51	598.760	7.409.632

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 4-4. Distribución de los individuos de Algarrobo con mediciones de biomasa



Fuente: Elaboración propia, 2023.

4.2.2 Parámetros evaluados

Los parámetros utilizados para caracterizar las variables ambientales correspondientes a los individuos de algarrobo se resumen a continuación:

Tabla 4-4. Parámetros y metodologías utilizadas para la caracterización de la flora y vegetación

Variable	Parámetro	Metodologías utilizadas
Individuos de <i>Neltuma alba</i>	Vitalidad Porcentaje de copa viva Fenología Daño (afectación antrópica y animal) Potencial hídrico y conductancia estomática Variables dendométricas	Descripción visual Mediciones de potencial hídrico y conductancia estomática Medición en terreno de variables dendométricas

Fuente: Elaboración propia, 2023

Los parámetros evaluados y la metodología utilizada para estimar el estado vital de los individuos corresponden a los descritos en el Plan de Seguimiento Ambiental del Proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, y corresponden a las variables vitalidad, porcentaje de copa viva, estado

fenológico, etapa de crecimiento, altura y daño (antrópico u animal), cada una de ellas es descrita a continuación, en la Tabla 4-5, Tabla 4-6, Tabla 4-9, Tabla 4-7 y Tabla 4-8, respectivamente:

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

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

Fuente: RCA N° 226 de 2006. Proyecto "Cambios mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama" considerando 10.3.2.2 letra (d).

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

Código	Follaje verde (%)
0	0%
1	<5%
2	5-25%
3	25-50%
4	50-75%
5	75-100%

Fuente: RCA N° 226 de 2006. Proyecto "Cambios mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama"

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

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

Fuente: RCA N° 226 de 2006. Proyecto "Cambios mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama"

Tabla 4-8. Categorías utilizadas para la descripción de la altura del ejemplar

Código	Altura del ejemplar (m)
0	0 - 0,25
1	0,25 - 0,5

Tabla 4-8. Categorías utilizadas para la descripción de la altura del ejemplar

Código	Altura del ejemplar (m)
2	0,5 - 1
3	1 - 2
4	2 - 4
5	5 - 6
6	6 - 8
7	8 - 10
8	10 - 12

Fuente: RCA N° 226 de 2006. Proyecto "Cambios mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama"

En forma complementaria a lo establecido en la RCA 226/2006, y a partir de informes correspondientes al Plan de cumplimiento¹⁵, se describe también el parámetro Etapa de crecimiento de acuerdo con las categorías que se presentan en la Tabla 4-9. La etapa de crecimiento se refiere a las distintas etapas de desarrollo que cumple un individuo en su ciclo de vida, desde la etapa de regeneración hasta finalmente alcanzar la etapa de senescencia. Cabe destacar que, al describir el desarrollo biológico de un individuo, estas categorías describen etapas graduales y evolutivas, por lo tanto, un individuo en etapa adulta no puede retroceder a etapa juvenil ni regeneración. Además, la categoría seco es la única que puede observarse durante las distintas etapas de crecimiento de un individuo y puede variar dentro de un ciclo fenológico, relacionándose directamente con el estado vital seco.

Tabla 4-9. Categorías utilizadas para la etapa de crecimiento

Código	Etapa de crecimiento	Criterio
1	Regeneración	Corresponde a un individuo originado a partir de la germinación de una semilla y recientemente establecido en terreno, con a lo más un año de establecimiento en el lugar. Se caracterizan por tener un tallo (brote) único sin desarrollo de ramificaciones (brotes laterales). No presenta señales de nudos en los tallos asociados a crecimientos vegetativos de temporadas anteriores.
2	Juvenil	Corresponde a un individuo que presenta un desarrollo que se manifiesta con mayor crecimiento en altura y diámetro habiendo ya superado la fase inicial de establecimiento en terreno. Son aquellos ejemplares con más de un año de crecimiento en terreno. Estos ejemplares independientes de su altura no han alcanzado su madurez reproductiva, por lo cual el crecimiento se manifiesta únicamente con nuevos brotes y hojas, pero sin presencia de estructuras reproductivas (ni flores ni frutos).

¹⁵ "Estudio Vegetacional y florístico de la Quebrada de Camar en el Salar de Atacama". Anexo 2.11 del Plan de cumplimiento.

Tabla 4-9. Categorías utilizadas para la etapa de crecimiento

Código	Etapa de crecimiento	Criterio
3	Adulto	Individuos que presentan mayor desarrollo en altura y diámetros de troncos en general por sobre 2cm. Su principal característica es que han alcanzado su madurez reproductiva y producen flores y/o frutos cuando las condiciones ambientales son favorables. Esta categoría es independiente de la altura de los individuos.
4	Senescente	Individuo normalmente adulto en la etapa más avanzada de su ciclo de vida. Normalmente estos ejemplares se reconocen porque manifiestan pérdida de vigor, tienen apariencia envejecida, son más susceptibles a plagas y/o enfermedades. Pueden mostrar disminución en su altura y volumen de copa, con ramas quebradas y follaje menos denso.
5	Seco	Individuo que no presenta follaje ni estructuras reproductivas.

Fuente: Elaboración propia, 2023

Además, el monitoreo mensual considera el registro de la afectación antrópica o natural, ya sea por daño animal (ramoneo) o plagas que puedan haber sufrido los individuos en el periodo de monitoreo. Registrando únicamente aquellos individuos que tienen signos de daño reciente.

Para determinar el estado fisiológico de los individuos de Algarrobos, se realizan mediciones en terreno del potencial hídrico y conductancia estomática en los ejemplares objetivo. El potencial hídrico se mide en dos intervalos del día; pre-alba (hora de pre-alba 6:50 h) de manera de registrar la capacidad de recuperación hídrica de los árboles durante la noche (Acevedo et al., 1985) y al mediodía para registrar el estado hídrico al momento de mayor demanda de vapor de agua por parte de la atmósfera, debido a la alta radiación y mayor déficit de presión de vapor. Para realizar las mediciones de conductancia estomática, se realiza la medición con un porómetro de flujo estacionario que mide la conductancia estomática de las hojas. Estimación de la biomasa

Por último, para la estimación de la biomasa, se registran en terreno el diámetro máximo de la copa (mcw), diámetro de copa a los 90° del mcw (cw90) y altura total (ht) en cada individuo de la serie A, B, C y D. Además, para los individuos plurifustales que se registraron para todos los diámetros basales mayores a 2,5 cm las siguientes variables:

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

4.2.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

4.2.3.1 Estado de vitalidad y sanitario

El monitoreo de algarrobos es realizado a través de prospecciones pedestres del área de estudio y descripciones en terreno de cada individuo en cuanto a las variables antes mencionadas (vitalidad, porcentaje de copa viva, etapa de crecimiento, estado fenológico, altura y daño). En caso de encontrar nuevos individuos en las prospecciones mensuales, estos son censados y debidamente etiquetados para luego ser incorporados al monitoreo. Cabe destacar que los individuos nuevos son incorporados a las series D y E, de acuerdo con el sector donde se encuentre. Si el ejemplar es encontrado al este de la Ruta CH-23 y dentro del pueblo de Camar, es integrado a la serie E de monitoreo, mientras que, de ubicarse en otro sector, este es incorporado a la serie D.

4.2.3.2 Potencial hídrico y conductancia estomática

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

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

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

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

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

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

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

4.2.3.3 Estimación de la biomasa

Para estimar la biomasa de la población de algarrobos presentes en el cono aluvial de la Quebrada de Camar, se registran en terreno, aquellas variables más utilizadas por los modelos de regresión reportados por la literatura y que permiten estimar en forma eficiente la cantidad de biomasa aérea, las cuales corresponden a; diámetro máximo de la copa (mcw), diámetro de copa a los 90° del mcw (cw90) y altura total (ht). Además, para los individuos plurifustales que se registraron para todos los diámetros basales mayores a 2,5 cm las siguientes variables:

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

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

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

Donde:

Dbe = Diámetro basal equivalente (cm)

$db_{0,1}$ = Diámetros basales de cada vástago a 10 cm de altura del suelo

A partir de esta información se determinaron los siguientes parámetros:

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

Luego, con la información de terreno se procedió a probar una selección de modelos de regresión, los cuales corresponden a modelos tradicionales para estudios de biomasa (Prodan et al., 1997; Husch 2003; Laar y Akça, 2007; Picard et al., 2012). Se preseleccionaron 135 modelos de regresión para estimar la biomasa reportada por la literatura. Para la selección de los mejores modelos, desde el punto de su aplicabilidad a la población local de ejemplares de algarrobo, se descartaron aquellos modelos cuyas variables o rangos de aplicación estuvieran alejados de las características de los individuos de la población bajo estudio, o la información disponible publicada fuera insuficiente para la aplicación del modelo. Luego, con aquellos inicialmente seleccionados se calculó preliminarmente la biomasa aérea total de cada individuo, determinándose el máximo, mínimo, media y desviación estándar de los resultados de biomasa obtenidos. Estos resultados individuales se agruparon en bandas de confianza en torno a la desviación estándar de la media. Finalmente se seleccionaron sólo aquellos modelos cuyos resultados de biomasa promedio se agruparon dentro del rango 50%-100% de la desviación estándar de la media, según el número de funciones disponibles. Se considera este valor como conservador para el intervalo de confianza en el que se mueve el estadígrafo de posición. Esto teniendo en cuenta que los individuos de la población censada presentan una alta variabilidad de tamaños y las funciones aplicadas provienen de poblaciones de diversas especies del género y, a su vez, con diversos tamaños y hábitos de crecimiento.

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

4.3 Evaluación de ejemplares de *Neltuma alba* (algarrobo) con sistema de riego

4.3.1 Ubicación de los individuos

A continuación, se presentan las coordenadas de ubicación de los ejemplares de *Neltuma alba* sometidos a riego, dentro de la quebrada de Camar (Tabla 4-10),

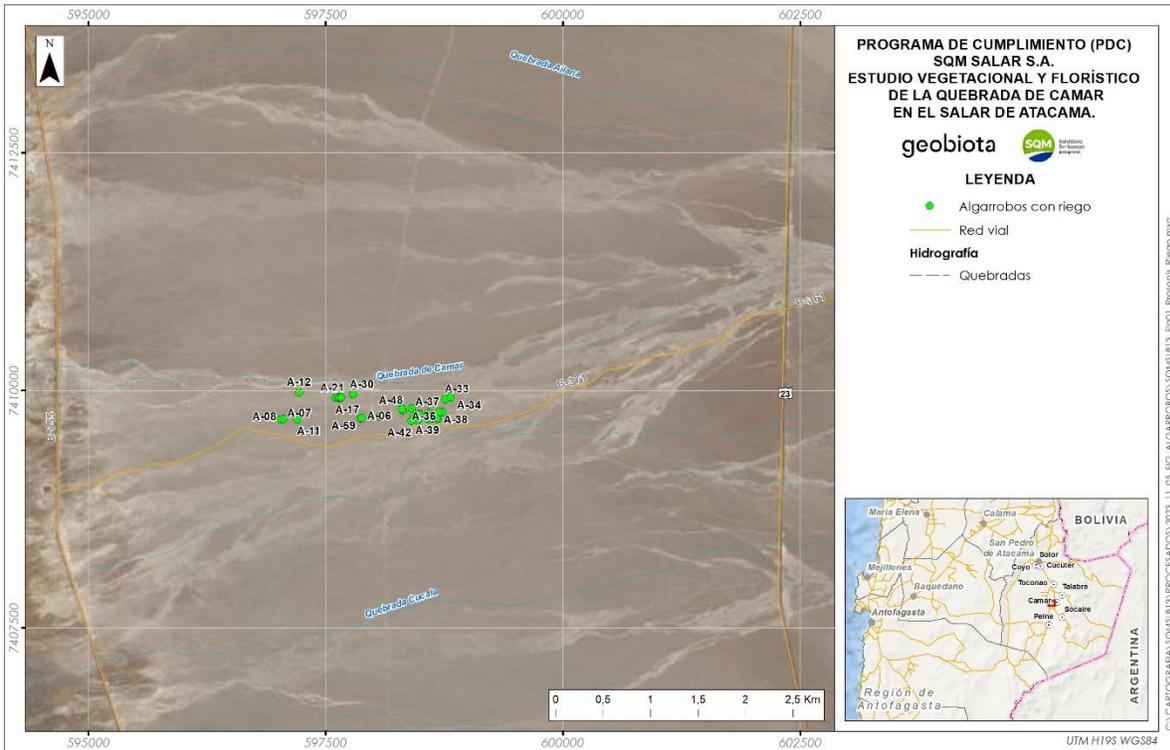
Tabla 4-10. Ubicación georreferenciada de ejemplares de algarrobos con riego.

N°	ID	Coordenadas UTM Datum WGS84 19S		N°	ID	Coordenadas UTM Datum WGS84 19S	
		Este	Norte			Este	Norte
1	A-04	598.066	7.409.720	20	A-39	598.670	7.409.699
2	A-06	597.867	7.409.701	21	A-40	598.574	7.409.693
3	A-07	597.031	7.409.692	22	A-41	598.469	7.409.677
4	A-08	597.052	7.409.693	23	A-42	598.403	7.409.674
5	A-11	597.201	7.409.691	24	A-43	598.432	7.409.734
6	A-12	597.223	7.409.975	25	A-44	598.449	7.409.740
7	A-17	597.603	7.409.916	26	A-45	598.488	7.409.746
8	A-21	597.632	7.409.915	27	A-46	598.492	7.409.741
9	A-22	597.634	7.409.921	28	A-47	598.581	7.409.758
10	A-23	597.645	7.409.915	29	A-48	598.314	7.409.784
11	A-25	597.655	7.409.919	30	A-58	598.407	7.409.807
12	A-26	597.665	7.409.923	31	A-59	597.880	7.409.705
13	A-30	597.788	7.409.952	32	AX-01	598.305	7.409.804
14	A-31	597.792	7.409.953	33	C-14	598.602	7.409.693
15	A-33	598.759	7.409.902	34	C-15	598.603	7.409.693
16	A-34	598.819	7.409.920	35	C-16	598.618	7.409.703
17	A-36	598.732	7.409.766	36	C-19	598.630	7.409.704
18	A-37	598.698	7.409.766	37	C-71	598.602	7.409.695
19	A-38	598.677	7.409.695	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base Anexo 8

La representación espacial de estos ejemplares se muestra a continuación:

Figura 4-5. Distribución espacial de algarrobos con riego dentro de la Quebrada de Camar.



Fuente: Elaboración propia, 2023

4.3.1 Parámetros evaluados

4.3.1.1 Parámetros biológicos

Los parámetros evaluados y la metodología utilizada para estimar el estado vital de los individuos corresponden a los descritos en el Plan de Seguimiento Ambiental del Proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, y corresponden a las variables vitalidad y porcentaje de copa viva; cada una de ellas es descrita a continuación, en la Tabla 4-5 y Tabla 4-6:

Tabla 4-11. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas

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

Tabla 4-11. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas

Código	Categoría	Descripción
4	Excepcionalmente vigoroso	Presentan abundancia de follaje y estructuras reproductivas.

Fuente: RCA N° 226 de 2006. Proyecto "Cambios mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama" considerando 10.3.2.2 letra (d).

Tabla 4-12. Escalas utilizadas para clasificar la copa viva de las plantas.

Código	Follaje verde (%)
0	0%
1	<5%
2	5-25%
3	25-50%
4	50-75%
5	75-100%

Fuente: RCA N° 226 de 2006. Proyecto "Cambios mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama"

4.3.1.2 Evaluación del sistema de riego

De acuerdo con lo estipulado en el punto N° 3 de la acción 24 del PdC, se debe evaluar el estado de los elementos asociados al sistema de riego, con la finalidad de detectar oportunamente fallas, cortes o desperfectos que puedan impactar negativamente en su funcionamiento y por consiguiente a los árboles afectados a riego. Para ello se realiza una inspección visual de los elementos asociados al riego (válvulas, tuberías y otros). El estado de estos elementos es indicado en los reportes de riego disponibles en el Anexo 8.

4.3.2 Metodología de muestreo, medición y análisis

El monitoreo de los algarrobos sometidos a riego es realizado a través de prospecciones pedestres del área de estudio y descripciones en terreno de cada individuo en cuanto a las variables antes mencionadas (vitalidad y porcentaje de copa viva, y estado de los elementos del riego). El monitoreo es realizado por el equipo de la Gerencia de Medio Ambiente (GMA) de SQM Salar S.A., mientras que los análisis de este informe son realizados por geobiota.

4.4 Caracterización de la flora y vegetación

En las secciones siguientes se detallan las metodologías empleadas para la caracterización de la vegetación y flora vascular de la quebrada de Camar, cuyos procedimientos son descritos a continuación:

4.4.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

Para caracterizar la flora y vegetación, se utilizó un diseño de muestreo que contempla 75 estaciones de monitoreo (225 transectos en total), las que corresponden a un punto de coordenadas UTM Datum WGS84 H19, establecido de forma referencial a una unidad de vegetación homogénea o polígono (Tabla 4-13; Figura 4-6).

El diseño de muestreo presentado en la Figura 4-6 busca maximizar la representación en terreno de las unidades vegetacionales identificadas en la segmentación inicial (abril 2021), de manera que todas las formaciones vegetacionales identificadas en la quebrada estuvieran correctamente descritas. En la Tabla 4-14, se presenta el esfuerzo de muestreo por cada formación identificada. En Anexo 6, se adjunta listado con los responsables y participantes del seguimiento.

Tabla 4-13. Ubicación de las estaciones de monitoreo de vegetación y flora en la quebrada de Camar

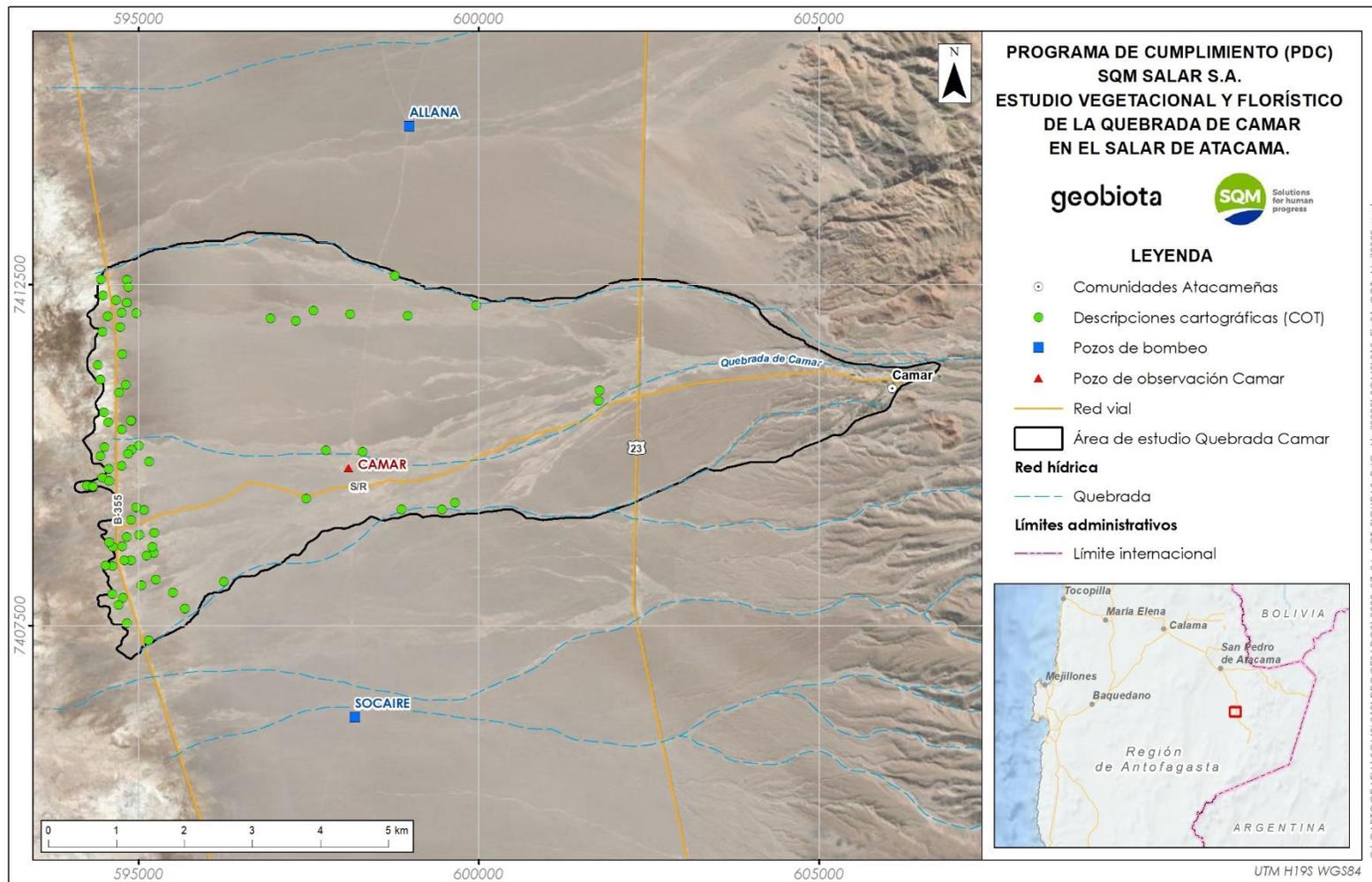
Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19)	
	Este	Norte		Norte	Este		Este	Norte
P-001	598.953	7.412.038	P-038	594.554	7.410.477	P-073	594.826	7.408.794
P-002	601.762	7.410.791	P-039	594.724	7.411.869	P-075	595.011	7.408.825
P-003	601.773	7.410.940	P-041	594.760	7.411.478	P-076	595.228	7.408.858
P-005	599.961	7.412.195	P-043	594.713	7.410.909	P-077	595.222	7.408.555
P-006	599.648	7.409.293	P-044	594.813	7.411.029	P-078	595.198	7.408.646
P-007	598.867	7.409.200	P-045	594.887	7.410.504	P-079	594.757	7.408.653
P-008	598.296	7.410.044	P-047	594.498	7.410.115	P-081	594.890	7.408.452
P-011	599.459	7.409.196	P-048	594.436	7.409.981	P-082	594.788	7.408.453
P-012	594.448	7.412.572	P-050	594.559	7.409.791	P-083	595.119	7.408.519
P-013	594.662	7.412.265	P-051	594.464	7.409.660	P-087	595.507	7.407.982
P-016	596.939	7.412.004	P-052	594.566	7.409.619	P-088	596.252	7.408.138
P-019	597.306	7.411.961	P-054	594.753	7.410.368	P-089	595.676	7.407.741
P-021	597.571	7.412.112	P-055	594.884	7.410.499	P-090	595.255	7.408.171
P-022	597.754	7.410.064	P-056	595.001	7.410.134	P-091	595.041	7.408.083
P-023	594.829	7.412.567	P-057	594.892	7.410.076	P-093	594.610	7.408.369
P-025	594.476	7.412.334	P-058	594.844	7.410.015	P-094	594.512	7.408.374

Tabla 4-13. Ubicación de las estaciones de monitoreo de vegetación y flora en la quebrada de Camar

Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19)	
	Este	Norte		Norte	Este		Este	Norte
P-026	594.846	7.412.458	P-060	594.241	7.409.551	P-095	594.615	7.407.955
P-027	594.823	7.412.228	P-061	594.330	7.409.535	P-096	594.767	7.407.902
P-028	594.823	7.412.228	P-064	594.618	7.408.652	P-097	594.700	7.407.793
P-029	594.966	7.412.078	P-065	594.568	7.408.721	P-098	594.827	7.407.530
P-030	594.748	7.412.082	P-067	595.156	7.409.899	P-100	595.148	7.407.277
P-031	594.467	7.411.804	P-068	594.746	7.409.838	P-102	598.109	7.412.064
P-032	594.543	7.412.033	P-069	597.459	7.409.360	P-108	598.766	7.412.624
P-035	594.396	7.411.313	P-070	595.077	7.409.187	-	-	-
P-036	594.436	7.411.105	P-071	594.965	7.409.230	-	-	-
P-037	594.489	7.410.622	P-072	594.889	7.409.048	-	-	-

Fuente: elaboración propia, 2023

Figura 4-6. Esfuerzo de muestreo de vegetación



Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 4-14. Esfuerzo de muestreo campañas primer semestre 2023

Formación vegetacional	Enero 2023			Abril 2023		
	Superficie (ha)	Vegetación (N° observaciones)	Flora (N° transectos)	Superficie (ha)	Vegetación (N° observaciones)	Flora (N° transectos)
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	234,15	45	135	257,84	46	138
Matorral de <i>Tiquilia atacamensis</i>	112,72	11	33	110,28	11	33
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i> – <i>Atriplex imbricata</i>	20,10	5	15	29,55	6	18
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> – <i>Ephedra multiflora</i>	41,10	7	21	32,17	8	24
Pradera de <i>Distichlis spicata</i>	0,48	0	0	0,48	0	0
Bosque de <i>Neltuma alba</i>	9,34	0	0	9,34	0	0
Total	417,89	68	204	439,66	71	213
Zona de vegetación escasa	3.573,62	7	21	3.551,84	4	12
Total	3.991,51	75	225	3.991,50	75	225

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.4.2 Parámetros evaluados

Los parámetros utilizados para caracterizar las variables ambientales de vegetación y flora se resumen a continuación:

Tabla 4-15. Parámetros y metodologías utilizadas para la caracterización de la flora y vegetación

Variable	Parámetro	Metodologías utilizadas
Vegetación de la quebrada de Camar mediante imagen satelital	Cobertura de la vegetación medida como superficie. Estado de vitalidad y sanitario	Carta de Ocupación de Tierras Descripción visual
Flora	Abundancia de especies Riqueza de especies	3 transectos lineales por estación de monitoreo

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.4.3 Metodología de muestreo, medición y análisis

4.4.3.1 Caracterización de la vegetación

Las formaciones vegetacionales presentes en la quebrada de Camar son presentadas en una cartografía del uso actual de suelo mediante el método “Carta de ocupación de tierras” (COT). De este modo, la vegetación

que se desarrolla en la quebrada fue descrita según su estado actual, a través de descriptores de estructura, composición de especies dominantes y grado de artificialización. Un resumen con las etapas de desarrollo de esta metodología se presenta a continuación:

Etapa I: Revisión y recopilación de información. Se revisó la disponibilidad de información temática y cartográfica de la vegetación presente en la quebrada de Camar, principalmente aquella proveniente de los resultados del Plan de Seguimiento Ambiental del Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera del Salar de Atacama¹⁶.

Etapa II: Elaboración de una cartografía preliminar de la vegetación de la quebrada. Se efectuó un proceso de fotointerpretación de imágenes satelitales y de segmentación en unidades cartográficas denominadas como unidades de vegetación homogéneas o UVH (polígonos), usando como criterio la similitud de los patrones de textura, color y estructura que fueron atribuibles a alguna formación vegetal (e.g. bosque, plantación, matorral, pradera). La fotointerpretación se realizó en un sistema de Información Geográfica (SIG), ArcGIS 10.8, sobre una imagen capturada en abril del año 2021, por el satélite Pléiades. La escala de trabajo utilizada para la elaboración de la cartografía fue de 1:10.000, con una resolución de 2 m para la banda multi-espectral y 0,5 m la pancromática, alcanzando en el fusionado (pansharpening) una resolución de 0,5 m.

Etapa III: Descripciones de las unidades vegetacionales. Se realizó una campaña de terreno durante la estación de verano (enero 2023) y otra en otoño (ejecutada en el mes de abril 2023), en las que participaron cuatro profesionales especialistas (Anexo 6, se detallan los participantes y responsables del monitoreo). El acceso a los polígonos se realizó por vía terrestre, usando camionetas 4x4 y desplazamiento pedestre.

La información registrada correspondió a una estimación visual de la cobertura de las especies dominantes según tipo biológico y estrato de altura. Los rangos de cobertura y altura utilizados por tipo biológico se muestran en la Tabla 4-16 y en la Tabla 4-17, respectivamente.

Tabla 4-16. Rangos y códigos de cobertura

Clases de cobertura (%)	Código	Descripción de cobertura
1 - 5	1	Zona de vegetación escasa (ZVE)
5 - 10	2	Ralo
10 - 25	3	Muy abierto
25 - 50	4	Abierto
50 - 75	5	Semidenso
>75	6	Denso

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 4-17. Rangos de altura por tipo biológico

Arbóreo	Arbustivo	Herbáceo	Suculento
>20 m	> 2 m	1 - 2 m	>2 m

¹⁶ Aprobado favorablemente por la RCA N° 226/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente Región de Antofagasta

Tabla 4-17. Rangos de altura por tipo biológico

Arbóreo	Arbustivo	Herbáceo	Suculento
16 - 20 m	1 - 2 m	0,5 - 1 m	1 - 2 m
12 - 16 m	0,5 - 1 m	0 - 0,5 m	0,5 - 1 m
8 - 12 m	0 - 0,5 m	-	0 - 0,5 m
4 - 8 m	-	-	-
2 - 4 m	-	-	-
<2 m	-	-	-

(-): No aplica rango para el estrato señalado.

Fuente: Elaboración propia, 2023

Para determinar la vitalidad de la vegetación se evaluó en cada polígono visitado en terreno la condición predominante de los individuos presentes en base a lo descrito en la Tabla 4-18, definiendo categorías de vitalidad con respecto a la presencia de patógenos, proporción de follaje verde y capacidad de producir nuevos brotes y/o estructuras reproductivas dependiendo del momento del ciclo fenológico en el que se encuentren.

Tabla 4-18. Categorías utilizadas para describir la vitalidad y estado sanitario de la vegetación

Categoría de vitalidad	Descripción
Seco	Predominan ejemplares secos que no presentan follaje verde ni estructuras reproductivas de ningún tipo
Muy débil	Predominan ejemplares con escaso follaje verde, sin producción de frutos, se observa ataque de patógenos
Débil	Predominan ejemplares cuyo follaje verde no supera el 50% del individuo, pueden observarse signos leves de ataque de patógenos, capaz de producir algunos frutos
Normal	Predominan ejemplares de crecimiento normal, con gran parte de su follaje verde, con producción de flores y frutos, sin signos de patógenos.
Vigoroso	Predominan ejemplares con abundancia de follaje (entre 75 - 100% de copa verde) y estructuras reproductivas

Fuente: RCA N° 226 de 2006. Proyecto "Cambios mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama"

Etapa IV: Procesamiento de datos y clasificación de la vegetación. Esta etapa permitió sintetizar la información de tipos biológicos, cobertura y altura que caracterizan cada unidad vegetacional descrita en terreno, con el fin de asignarle un nombre. Para ello se contemplan las siguientes actividades:

- a. **Simplificación de la cobertura:** para aquellas unidades cartográficas que presentan varias estratas de un mismo tipo biológico se simplificó la información a fin de obtener un solo porcentaje de recubrimiento promedio por tipo. Para ello se utilizaron los valores extremos medidos en terreno.
- b. **Análisis de altura:** para caracterizar los distintos tipos biológicos segregados, se analizó la información de altura para las distintas estratas de la vegetación.

- c. Simplificación y clasificación de las formaciones vegetacionales: sobre la base del recubrimiento como criterio de abundancia se establece la dominancia de cada tipo biológico y sus especies dominantes, permitiendo la clasificación de la vegetación en formaciones vegetales (clasificación estructural) y en tipos vegetacionales (clasificación estructural más especies dominantes). El procedimiento se efectúa de manera automatizada mediante un programa diseñado para tal propósito.

Etapa V: Atribución de la información. La atribución consistió en asignar a cada polígono descrito en terreno la descripción del tipo vegetacional correspondiente.

Todas las unidades cartográficas generadas mediante descripción de terreno fueron revisadas según la escala de trabajo reportada y criterios de similitud de tonos y texturas. Para ello se utilizaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica (ARCMAP 10.8), las cuales permitieron generar una capa digital que representa los diferentes tipos vegetacionales identificados.

Etapa VI: Producción de la cartografía. Etapa que consistió en la confección de un mapa de la vegetación de la quebrada de Camar con la adecuada representación cartográfica de las unidades identificadas y caracterizadas, para cada periodo de análisis (enero y abril de 2023).

4.4.3.2 Caracterización de la flora vascular

Para la caracterización e identificación de la flora se realizó una evaluación florística de cada unidad vegetacional (polígono), para lo cual se consideró la contribución específica de cada taxa mediante transectos lineales.

En cada unidad vegetacional definida en la Etapa II de la sección anterior (4.3.3.1.), se fijaron tres transectos de 20 m de longitud en sentido este – oeste. Para ello se utilizaron huinchas y GPS demarcando el punto de inicio y fin. En cada uno de los transectos se registraron las especies vegetales u otro tipo de cobertura presente cada 10 cm, de esta manera se obtuvo un total de 200 registros por transecto.

Con los resultados obtenidos se determinaron los parámetros Riqueza y abundancia medida como cobertura, considerando lo siguiente:

- a. Riqueza florística

Se contabilizó la cantidad total de taxa presente en la quebrada de Camar. Para ello, se consideran los taxa que componen la riqueza de acuerdo con los siguientes criterios:

- Registro a nivel específico,
- Infraespecies (subespecies, variedad, forma),
- Registros estrechamente relacionados con un taxa affinis (aff.) y confer (cf.),
- Registro a nivel genérico, sin representación de otra especie para ese género o bien elementos genéricos de grupos muy amplios.

- b. Cobertura relativa por especie

La cobertura es utilizada para medir la abundancia de especies, correspondiente a la relación entre la sumatoria de la intersección de cada especie en el transecto y la sumatoria de la intercepción de todas las especies.

La cobertura absoluta por transecto ($CT_t\%$) de la vegetación se calcula mediante el número de oportunidades en que ésta fue registrada, según la siguiente fórmula:

$$CT_t = \sum_{i=1}^n CE_{it}$$

Donde;

CT_t = cobertura absoluta del transecto t (%),

CE_{it} = cobertura de la especie i en el transecto t (%), y

n = número de especies en el transecto t.

4.5 Evaluación de parámetros del suelo

4.5.1 Ubicación de los puntos de monitoreo de suelo

4.5.1.1 Monitoreo mensual de CHS

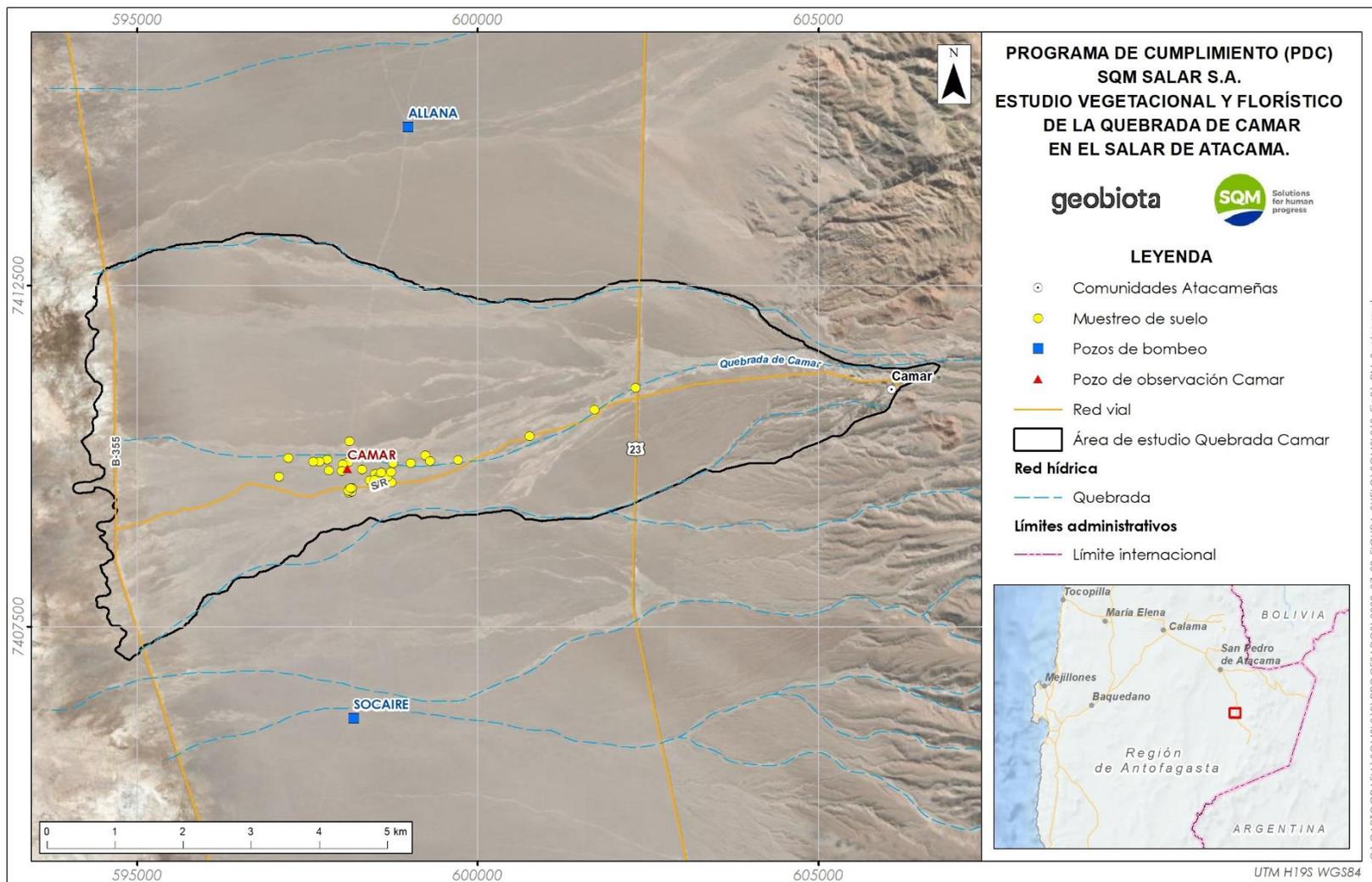
El monitoreo mensual del contenido de humedad del suelo se encuentra asociado a la población de algarrobos que se desarrolla dentro de la quebrada. El muestreo se realiza en las proximidades de 40 individuos que pertenecen al monitoreo de algarrobos, cuyas ubicaciones se muestran en la Tabla 4-19 y Figura 4-7.

Tabla 4-19. Ubicación de los puntos de monitoreo mensual de contenido de humedad del suelo

N	N° árbol	Coordenadas UTM Datum WGS84 19S		N	N° árbol	Coordenadas UTM Datum WGS84 19S	
		Este	Norte			Este	Norte
01	A05	598.000	7.409.770	21	B21	602.313	7.411.000
02	A10	597.084	7.409.690	22	C15	598.603	7.409.690
03	A12	597.220	7.409.970	23	C19	598.630	7.409.700
04	A17	597.603	7.409.916	24	C34	598.117	7.409.480
05	A27	597.676	7.409.910	25	C41	598.133	7.409.490
06	A31	597.789	7.409.950	26	C45	598.150	7.409.470
07	A33	598.756	7.409.890	27	C51	598.156	7.409.530
08	A36	598.727	7.409.760	28	C54	598.131	7.409.520
09	A38	598.674	7.409.690	29	C58	598.113	7.409.510
10	A46	598.490	7.409.730	30	C66	598.557	7.409.720
11	A47	598.580	7.409.760	31	C72	598.575	7.409.720
12	A51	598.486	7.409.650	32	C77	598.102	7.409.488
13	A54	598.413	7.409.640	33	D02	599.297	7.409.920
14	A70	598.021	7.409.880	34	D07	599.227	7.410.000
15	A71	597.816	7.409.790	35	D10	598.731	7.409.610
16	AX01	598.302	7.409.800	36	D14	598.603	7.409.720
17	B02	599.016	7.409.890	37	D20	598.550	7.409.620
18	B03	599.710	7.409.940	38	D26	598.113	7.409.460
19	B04	600.761	7.410.290	39	D-29	598.107	7.409.900
20	B15	601.710	7.410.670	40	D43	598.117	7.410.210

Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 4-7. Ubicación de los puntos de medición humedad de suelo CHS mensual



Fuente: Elaboración propia, 2023

4.5.1.2 Monitoreo trimestral (CHS, pH y CE)

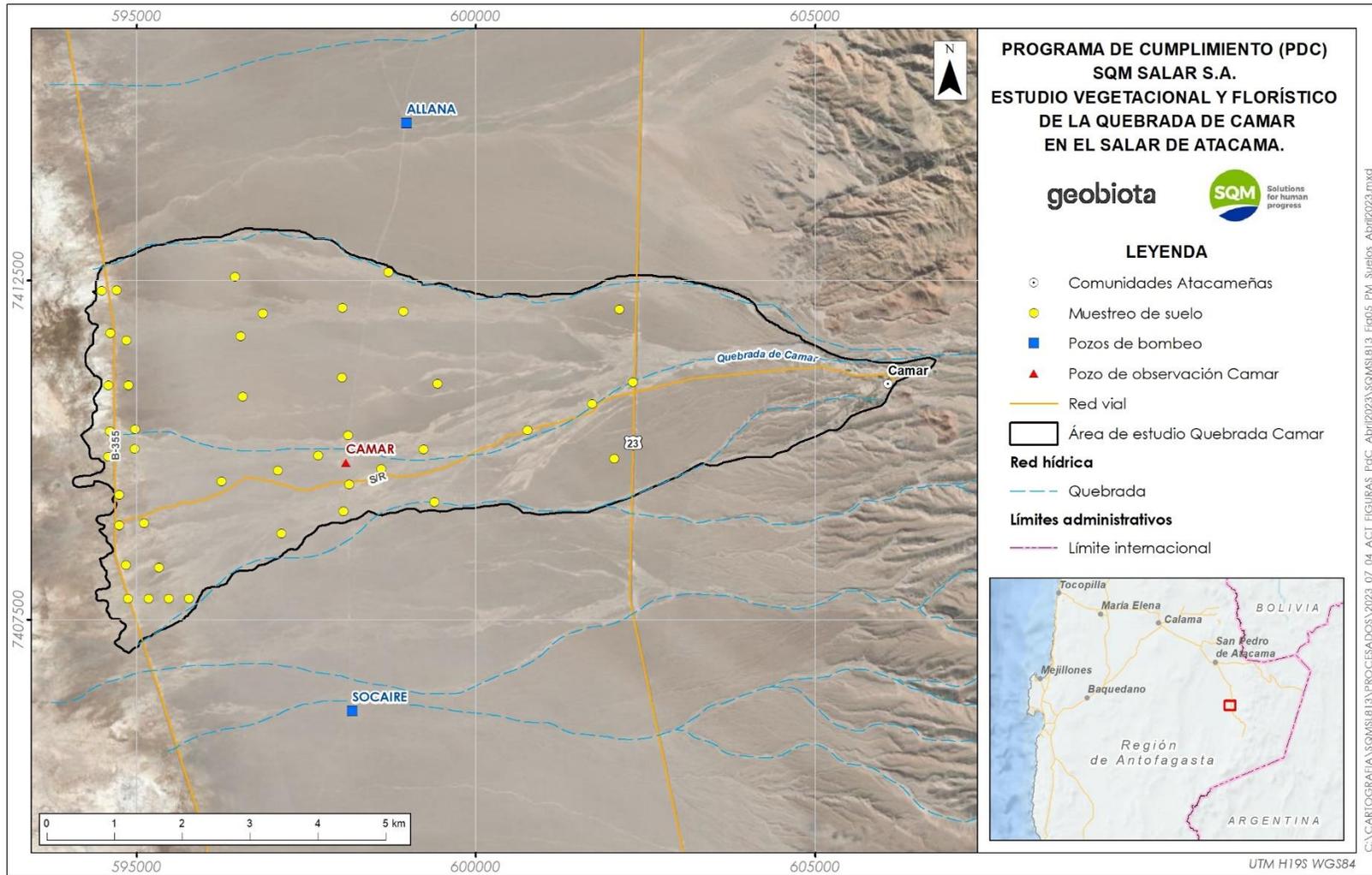
En el caso del monitoreo trimestral, el muestreo se realiza en los alrededores de algunos individuos de algarrobos y, además, se incorporan puntos de muestreo en la zona donde hay mayor desarrollo de vegetación, en el sector más bajo de la quebrada, totalizando en 43 muestras, tal como se establece en la Tabla 4-20 y se ilustra en la Figura 4-8.

Tabla 4-20. Ubicación de los puntos de monitoreo de suelo de la quebrada de Camar

Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19)	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-10	597.084	7.409.693	CHPCE-10	595.330	7.408.258	CHPCE-25	599.433	7.410.972
A-27	597.676	7.409.910	CHPCE-11	594.838	7.408.302	CHPCE-26	599.390	7.409.226
B-04	600.761	7.410.288	CHPCE-12	594.742	7.409.334	CHPCE-27	602.117	7.412.073
B-15	601.710	7.410.672	CHPCE-13	598.034	7.412.093	CHPCE-28	602.037	7.409.866
B-21	602.313	7.410.998	CHPCE-14	598.709	7.412.622	D-07	599.227	7.410.004
C-41	598.133	7.409.490	CHPCE-15	598.934	7.412.040	D-14	598.603	7.409.715
CHPCE-01	594.609	7.411.718	CHPCE-16	598.050	7.409.090	D-43	598.117	7.410.214
CHPCE-02	594.848	7.411.613	CHPCE-17	597.131	7.408.762	TF-3-01	594.879	7.410.951
CHPCE-03	594.485	7.412.346	CHPCE-18	594.706	7.412.355	TF-3-02	594.579	7.410.951
CHPCE-04	594.981	7.410.302	CHPCE-19	596.253	7.409.530	TF-4-02	595.773	7.407.802
CHPCE-05	594.604	7.410.270	CHPCE-20	596.452	7.412.549	TF-4-03	595.473	7.407.802
CHPCE-06	594.969	7.410.012	CHPCE-21	596.533	7.411.670	TF-4-04	595.173	7.407.801
CHPCE-07	594.580	7.409.901	CHPCE-22	596.857	7.412.007	TF-4-05	594.873	7.407.801
CHPCE-08	595.108	7.408.917	CHPCE-23	598.028	7.411.061	-	-	-
CHPCE-09	594.743	7.408.885	CHPCE-24	596.559	7.410.783	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 4-8. Esfuerzo de muestreo de suelo



Fuente: Elaboración propia, 2023

4.5.2 Parámetros evaluados, metodología de muestreo, medición y análisis

Para la evaluación de las variables de suelo, se realizó la extracción de muestras de suelo en cada estación de monitoreo según lo indicado en la Tabla 4-20. Esta actividad fue realizada en terreno por la empresa Algoritmos SpA¹⁷ y la empresa ALS Life Sciences Chile¹⁸, ambas autorizadas como Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) para la toma de muestras de suelo¹⁹. En cada punto se extrajeron muestras de 500 g cada una, a profundidades de 30 y 45 cm, representativas de la zona de mayor acumulación de raíces (suelo mineral superficial).

Las muestras de suelo colectadas en terreno fueron almacenadas en bolsas plásticas herméticas y debidamente rotuladas, para luego ser enviadas a laboratorio de la misma empresa para su análisis. Los métodos de ensayo utilizados para el análisis de muestras en el laboratorio se detallan en la Tabla 4-21.

Tabla 4-21. Métodos de ensayo utilizados en análisis de suelo

Parámetro	Método de Ensayo	Unidades
Conductividad eléctrica del extracto 1:5	MLAB-S-04 Rev.4 Método Basado en INIA 2005 Serie Acta N° 30 5.1 Extracto 1:5.	dS/m
pH en agua 1:5	MLAB-S-04 Rev.4 Método Basado en INIA 2005 Serie Acta N° 30 5.1 Extracto 1:5	Unidad pH
Humedad	MLAB-S-01 Rev.8 Based on NCh1515.Of79	%

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.6 Materiales y equipos utilizados

En la Tabla 4-21 se resumen los materiales y equipos utilizados para caracterización de cada una de las variables monitoreadas.

El mapa de vegetación se realizó mediante Sistema de Información Geográfico (SIG), c 10.3. Los datos se procesaron en Microsoft Excel.

Tabla 4-22. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
Censo individuos <i>Neltuma alba</i>	GPS ETREX Tablet Celular con aplicación <i>TimeStamp Camera</i>
Potencial hídrico y conductancia estomática	Porómetro de flujo estacionario marca Meter, modelo SC-01

¹⁷ Código ETFA N° 015 – 01

¹⁸ Código ETFA 029-03.

¹⁹ A partir de mayo 2023, la empresa ALS Life Sciences Chile realiza tanto la toma de muestras como el análisis de laboratorio.

Tabla 4-22. Materiales y equipos utilizados

Variable de medición	Material/equipo utilizado
	Cámara fotográfica Cámara de presión Scholander
VARIABLES DENDROMÉTRICAS	Forcípula. Pie de metro Huincha de medir (30 m) Clinómetro Brújula GPS ETREX Celular con aplicación TimeStamp Camera
Vegetación y flora	GPS ETREX Tablet Galaxy tab A7 lite Celular con aplicación <i>TimeStamp Camera</i> Huincha de medir Imagen satelital de alta resolución capturada en enero del año 2023
Suelo	GPS Chuzo Pala distintos tamaños Guantes Bolsas herméticas dobles Coolers para el transporte de muestras Celular con aplicación <i>TimeStamp Camera</i>

Fuente: Elaboración propia, 2023

4.7 Fechas de muestreo

Las fechas de cada campaña de monitoreo realizada en el marco del Programa de Cumplimiento se detallan en la Tabla 4-23, Tabla 4-27 y Tabla 4-28.

Tabla 4-23. Fechas de muestreo monitoreo de algarrobos

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo algarrobos - enero 2023	17/01/2023 - 20/01/2023
Monitoreo algarrobos - febrero 2023	21/02/2023 - 25/02/2023
Monitoreo algarrobos - marzo 2023	21/03/2023 - 23/03/2023
Monitoreo algarrobos - abril 2023	18/04/2023 - 28/03/2023
Monitoreo algarrobos - mayo 2023	23/05/2023 - 27/05/2023
Monitoreo algarrobos - junio 2023	14/06/2023 - 17/06/2023

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 4-24. Fechas de muestreo monitoreo de algarrobos bajo sistema de riego

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreos enero 2023	09-01-2023 / 16-01-2023 / 24-01-2023 / 31-01-2023
Monitoreos febrero 2023	16-02-2023 / 21-02-2023
Monitoreo marzo 2023	03-03-2023 / 07-03-2023 / 14-03-2023 / 21-03-2023
Monitoreos abril 2023	11-04-2023 / 21-04-2023 / 28-04-2023
Monitoreos mayo 2023	09-05-2023 / 19-05-2023
Monitoreos junio 2023	06-06-2023 / 19-06-2023

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 4-25. Fechas de muestreo potencial hídrico y conductancia estomática

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo fisiología - enero 2023	24/01/2023 - 26/01/2023
Monitoreo fisiología - abril 2023	25/04/2023 - 27/04/2023

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 4-26. Fechas de muestreo medición de variables dendrométricas

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo variables dendrométricas - enero 2023	24/01/2023 - 29/01/2023
Monitoreo variables dendrométricas - abril 2023	18/04/2023 - 25/04/2023

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 4-27. Fechas de muestreo monitoreo de flora y vegetación

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo flora y vegetación - enero 2023	25/01/2023 - 28/01/2023
Monitoreo flora y vegetación - abril 2023	18/04/2023 - 22/04/2023

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 4-28. Fechas de muestreo de monitoreo de suelo

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo mensual CHS - enero 2023	24/01/2023
Monitoreo mensual CHS - febrero 2023	21/02/2023 - 22/02/2023
Monitoreo mensual CHS - marzo 2023	28/03/2023 - 29/03/2023

Tabla 4-28. Fechas de muestreo de monitoreo de suelo

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo mensual CHS – abril 2023	25/04/2023 – 27/04/2023
Monitoreo mensual CHS – mayo 2023	25/05/2023
Monitoreo mensual CHS – junio 2023	14/06/2023
Monitoreo trimestral CHS, pH y CE – enero 2023	24/01/2023 - 26/01/2023
Monitoreo trimestral CHS, pH y CE – abril 2023	25/04/2023 - 29/04/2023

Fuente: Elaboración propia, 2023

5 Resultados

A continuación, se presentan los resultados asociados al monitoreo semestral de cada uno de los parámetros y variables ambientales que son objeto de estudio del presente informe.

5.1 Monitoreo de vitalidad de ejemplares de *Neltuma alba* (algarrobo)

Durante las prospecciones realizadas entre enero y junio de 2023, se han incorporado 12 individuos nuevos al monitoreo, aumentando el universo de 425 individuos monitoreados en diciembre 2022 a 437 individuos de algarrobos hasta la fecha (junio 2023). Este número total de individuos se desglosa en: 75 individuos de la serie A, 22 individuos de la serie B, 79 individuos de la serie C, 79 individuos de la serie D y 182 individuos de la serie E. Además, se han notificado 88 ejemplares desaparecidos e identificado 16 ejemplares correspondientes a individuos *Strombocarpa tamarugo*, los que no se consideran para el análisis de resultados del monitoreo.

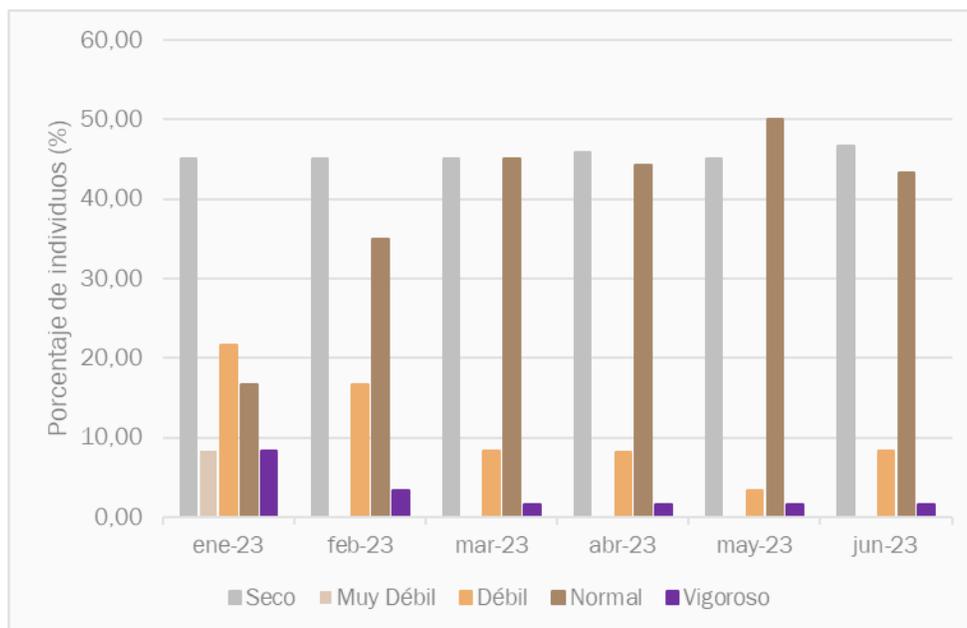
De los 12 individuos que se han incorporado durante este período, todos corresponden a algarrobos que han sido encontrados en las prospecciones mensuales en el sector de la quebrada ubicado al oeste de la ruta internacional y que se han incorporado a las series D (3 individuos) y E (9 individuos).

A continuación, se presentan los resultados asociados a la variación mensual que han tenido las variables de vitalidad, porcentaje de copa viva, fenología, etapa de crecimiento y daño, de la población de algarrobos en la quebrada de Camar. La base datos obtenida en las campañas de monitoreo del primer semestre del año 2023 se presentan en el Anexo 1.

5.1.1 Estado de vitalidad y sanitario

Con respecto a la vitalidad de los ejemplares de algarrobos, durante el primer semestre del año 2023 la mayor variación en la serie A se observó en la proporción de individuos normales (alrededor del 12%). Tal como se observa en la Figura 5-5, el valor máximo de vitalidad normal se reportó en el mes de mayo con un 50,00% (30 individuos), disminuyendo en el mes de junio en un 6,67%. A medida que se observa un aumento en los individuos en categoría normal, se aprecia una disminución en los individuos en categoría excepcionalmente vigoroso y débil. Las categorías excepcionalmente vigoroso y débil presentaron sus valores máximos en el mes de enero (8,33%; 5 individuos y 21,67%; 13 individuos respectivamente), mientras que la categoría muy débil sólo presentó individuos en los meses de enero y abril con un 8,33% y 1,61% (5 individuos y 1 individuo respectivamente). La categoría de vitalidad seco se ha mantenido estable en el tiempo con un promedio en torno al 45,43% \pm 0,71%. Respecto al estado fitosanitario de los individuos, además de lo registrado respecto a la afectación antrópica y/o natural por daño animal (ver acápite 5.1.5), no se observan signos de otros tipos de daños.

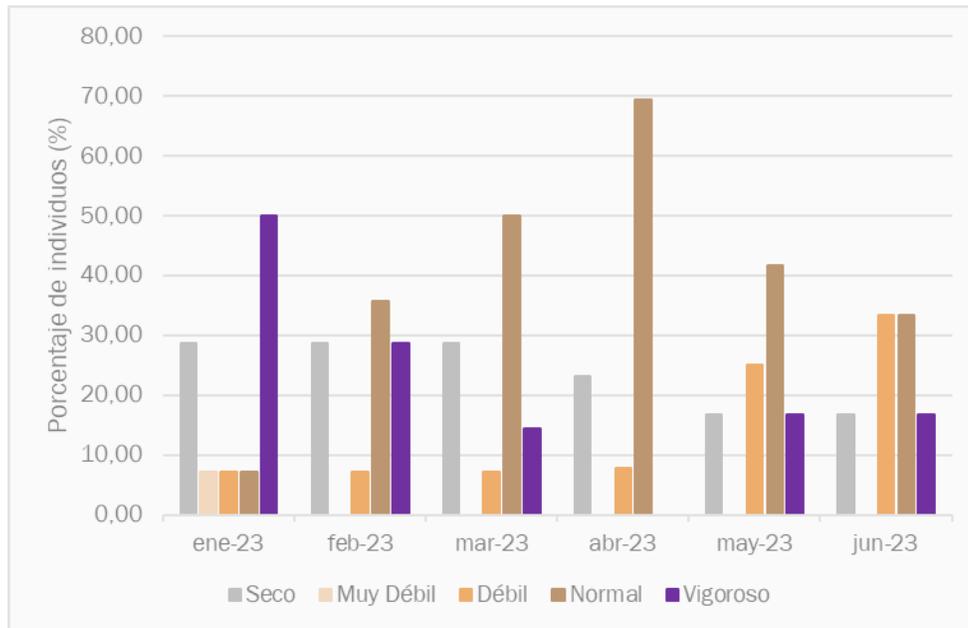
Figura 5-1. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie B (Figura 5-2), la mayor variación se observa en los individuos en categoría normal y excepcionalmente vigoroso con una variación de alrededor del 20,49% y 16,86% respectivamente. Los meses con mayor porcentaje de individuos normales fueron febrero, marzo y abril con 35,71% (5 individuos), 50,00% (7 individuos) y 69,23% (9 individuos) respectivamente, para luego disminuir paulatinamente en los meses posteriores, de acuerdo con el comienzo de la época de receso vegetativo. Tal como se muestra en la Figura 5-2, la mayor cantidad de ejemplares excepcionalmente vigorosos se presentó en el mes de enero (50,00%; 7 individuos). Cabe destacar que 4 de estos individuos corresponden a ejemplares de gran altura y crecimiento, además de ser aquellos que mayor aporte de semillas otorgan (B21, B17, B11 y B09) por lo cual son considerados como árboles “madres” o “plus” según la Comunidad de Camar. La cantidad de ejemplares débiles se comporta de acuerdo con lo esperando al avanzar la temporada de otoño (mayo y junio), aumentando de 7,69% (1 individuos) en abril a 33,33% (4 individuos) en junio. Los ejemplares secos presentan un promedio de 23,69% una variación desviación estándar del 5,83%.

Figura 5-2. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie B

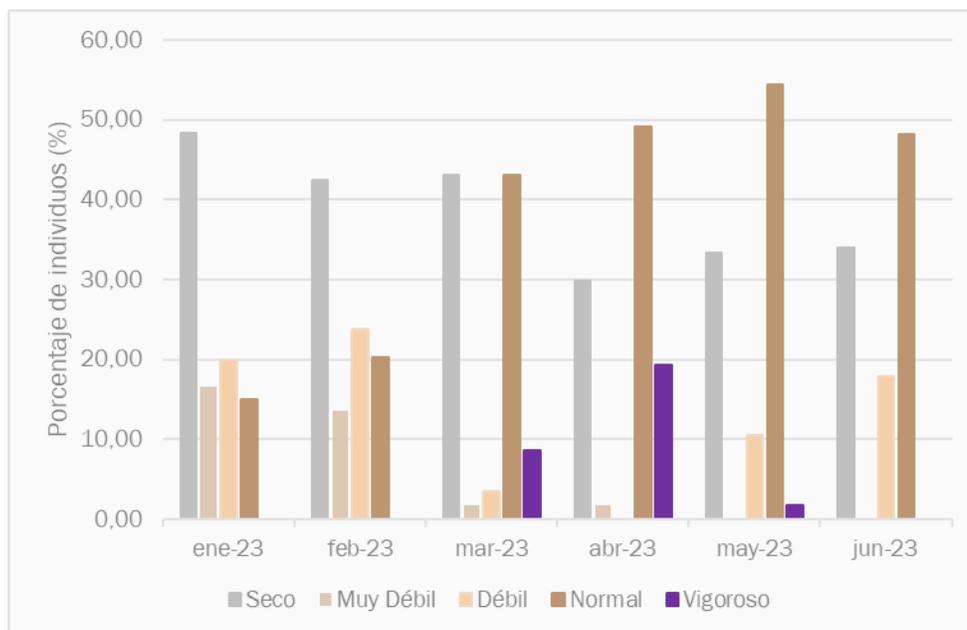


Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie C, la mayor variación se observa en los individuos en categoría normal con una variación de alrededor del 16,51%. Los meses con mayor porcentaje de individuos normales fueron mayo, abril y junio con 54,39% (31 individuos), 49,12% (28 individuos) y 48,21% (27 individuos) respectivamente. A diferencia de las series A y B, donde los ejemplares excepcionalmente vigorosos se presentan en mayor proporción en enero, en la serie C, ejemplares con esta categoría de vigor se presentan de marzo a mayo, esto se podría relacionar con la altura de los ejemplares de esta serie (que suele ser baja), por lo que serían más susceptibles a variaciones como a la precipitación, radiación, viento y/o al ramoneo por parte de burros silvestres.

Esto también se ve reflejado en la cantidad de individuos débiles y muy débiles, ya que disminuyen en los meses de marzo, abril y mayo (pasando de 12 a 6 individuos de enero a mayo, la cantidad de débiles y de 10 a 0 individuos, la cantidad de muy débiles). Los ejemplares secos muestran su mayor ocupación en los meses estivales de enero, febrero y marzo, donde el porcentaje de individuos secos varió alrededor del 7,15%.

Figura 5-3. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C



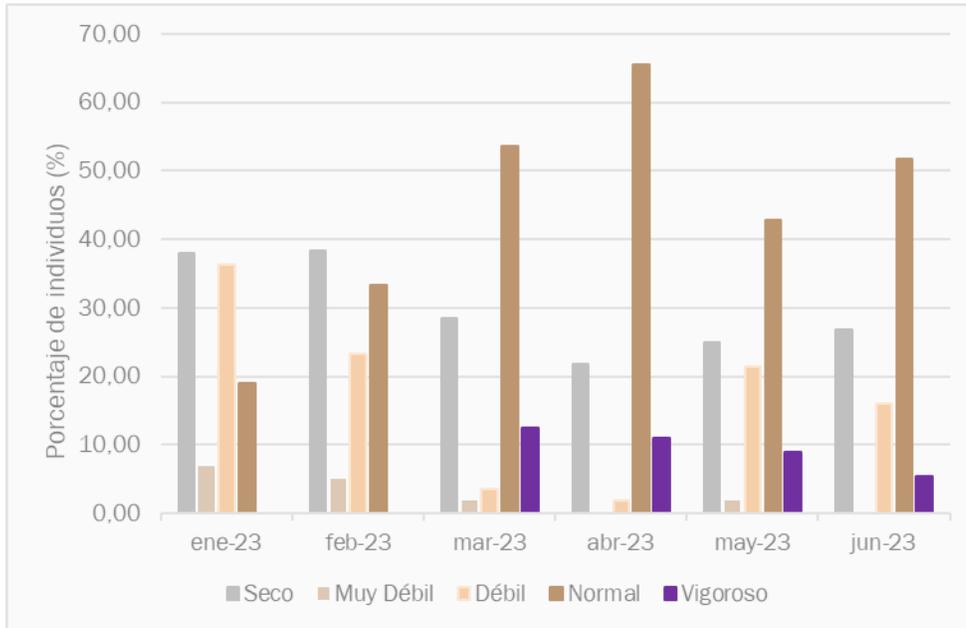
Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie D (Figura 5-4), la mayor variación se observa en los individuos en categoría normal con una variación de alrededor del 16,45%. Los meses con mayor porcentaje de individuos normales fueron abril, marzo y junio con 65,45% (36 individuos), 53,57% (30 individuos) y 51,79% (29 individuos) respectivamente.

Los resultados del primer semestre 2023 indican un patrón de comportamiento similar a las series anteriores, donde individuos de mayor vigor se presentan a partir de marzo, entre el término de las lluvias estivales²⁰ y el comienzo de la época de receso vegetativo. Los ejemplares secos tuvieron una variación del 6,87%.

²⁰ En febrero 2023 se reportaron 28,8 mm de precipitación acumulada y en el mes de marzo 2023 se reportaron 22,6 mm de precipitación acumulada. Para mayor detalle, consultar en SQM en línea (www.sqmsenlinea.com/meteorology) y Red Agrometeorológica de INIA, Estación Camar, San Pedro de Atacama (www.agrometeorologia.cl).

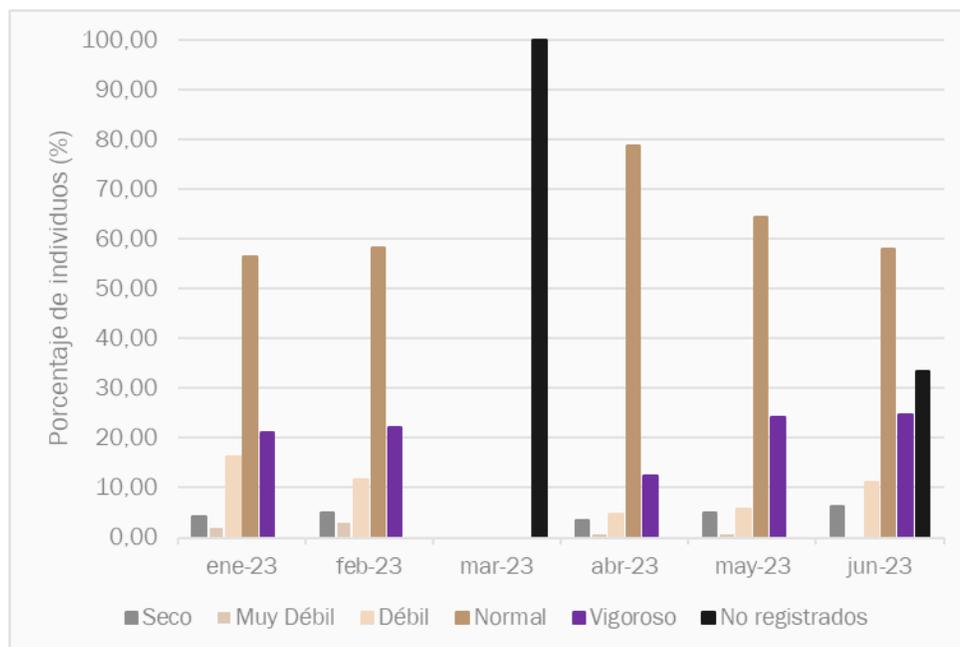
Figura 5-4. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie E (Figura 5-5), la mayor variación se observa en los individuos en categoría normal con una variación de alrededor del 9,17%, seguido por la categoría excepcionalmente vigoroso, con una variación del 4,98%, la categoría débil con una variación del 4,73%, y finalmente, las categorías muy débil y seco con una variación del 1,20% y 1,01% respectivamente. Cabe destacar que durante el mes de marzo y junio no se pudo prospectar de forma normal esta serie, debido a falta de permiso de ingreso al pueblo de Camar por parte de la comunidad. En Anexo 9, se adjuntan los medios de verificación.

Figura 5-5. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie E²¹



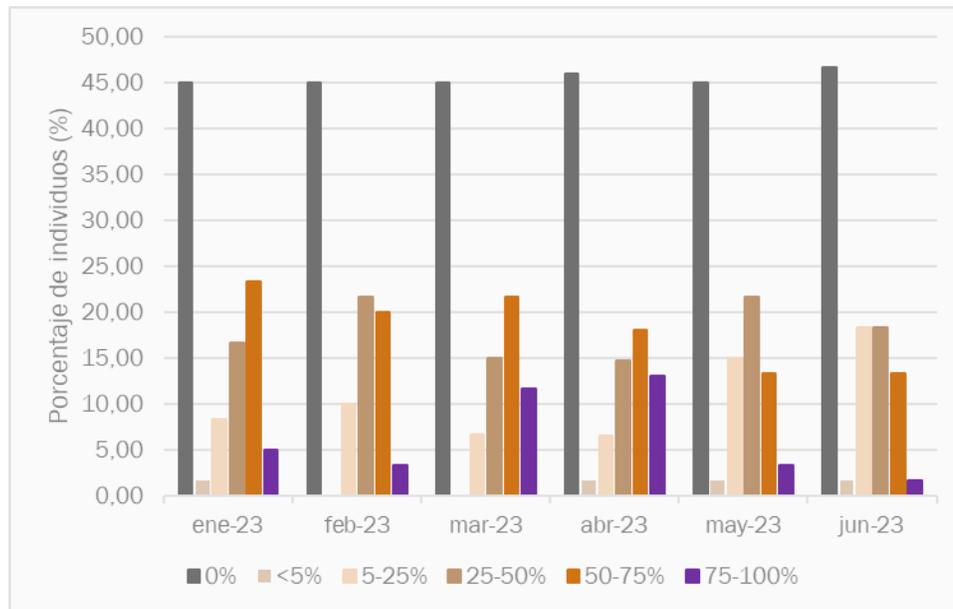
Fuente: Elaboración propia, 2023

5.1.2 Copa viva

En cuanto al porcentaje de copa viva de los individuos, en la Figura 5-6 se presenta la variación mensual de la proporción de individuos pertenecientes a la serie A para el primer semestre (enero a junio, 2023). Se observa que la mayor variación es en los rangos 5-25% y 75-100%, con una variación de alrededor del 4,82% cada una respectivamente. El rango 50-75% presenta una variación del 4,22%, seguido por el rango 25-50% con un 3,11%, la categoría <5% con un 0,86% y en menor medida la categoría 0%, con un 0,71% de variación.

²¹ La serie E se compone de 182 individuos hasta junio 2023. En noviembre 2022 y marzo 2023 se suspendieron las campañas por motivos técnicos y climáticos, respectivamente. Además, en junio 2023 hubo restricciones de acceso al pueblo de Camar donde se emplazan esta serie, por lo que no se completó la totalidad de ejemplares del monitoreo.

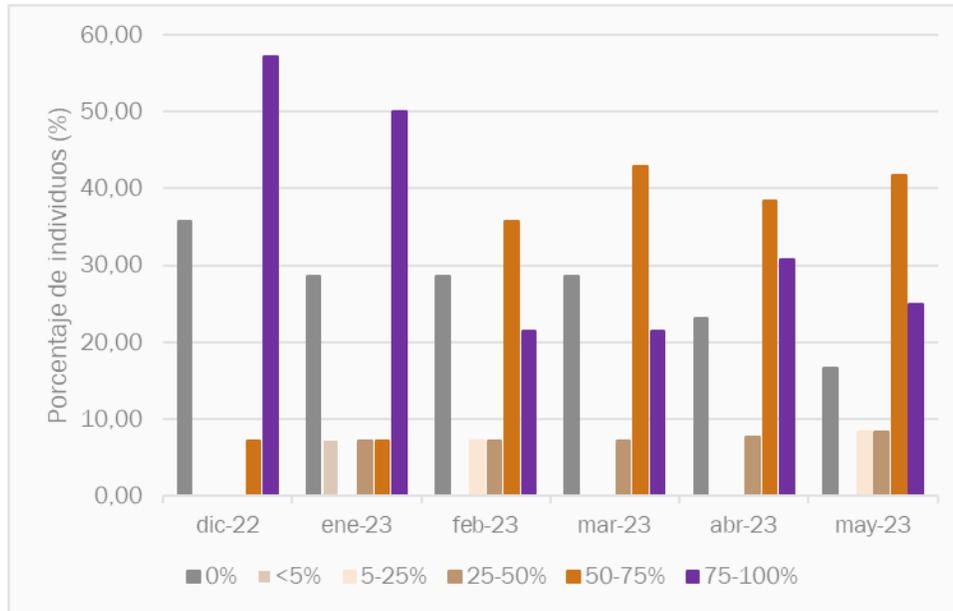
Figura 5-6. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie B para el primer semestre 2023 (enero a junio), en la Figura 5-7 se observa que la mayor variación es en el rango 50-75% con una variación de alrededor del 13,70%, seguido por el rango 75-100% con una variación del 10,87%, la categoría 0% con una variación del 5,84%, el rango 5-25% con una variación del 4,37%, la categoría <5% con una variación del 2,92% y finalmente, el rango 25-50% con una variación del 0,58%.

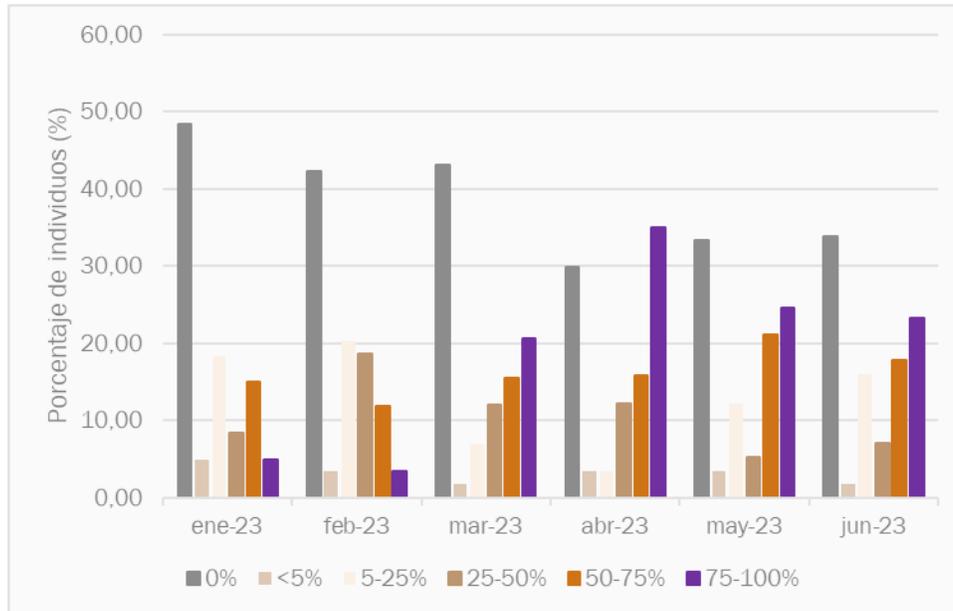
Figura 5-7. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: Elaboración propia, 2023

En la Figura 5-8 se presentan los resultados para la serie C en el primer semestre 2023. Se observa que la mayor variación es en el rango 75-100%, la cual presenta una variación de alrededor del 12,24%, seguido por la categoría 0% con una variación de 7,15%, el rango 5-25% con una variación del 6,63%, el rango 25-50% con una variación del 4,80%, el rango 50-75% con una variación del 3,07% y finalmente, la categoría <5% con una variación del 1,24%.

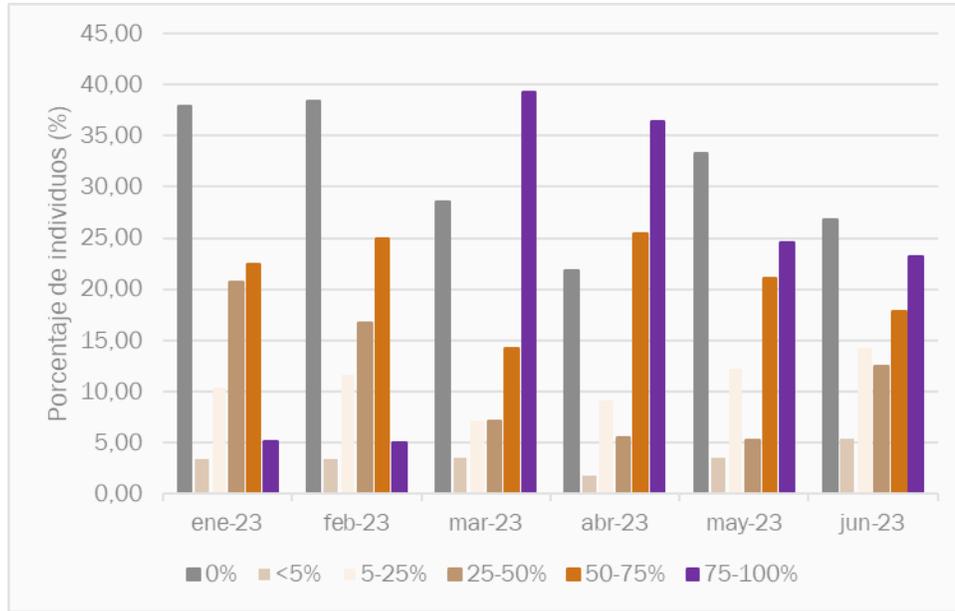
Figura 5-8. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie D, en la Figura 5-9 se observa que la mayor variación es en el rango 75-100% la cual presenta una variación de alrededor del 14,73%, seguido por la categoría 0% con una variación de 6,56%, el rango 25-50% con una variación del 6,42%, el rango 50-75% con una variación del 4,31%, el rango 5-25% con una variación del 2,51% y finalmente, la categoría <5% con una variación del 1,12%.

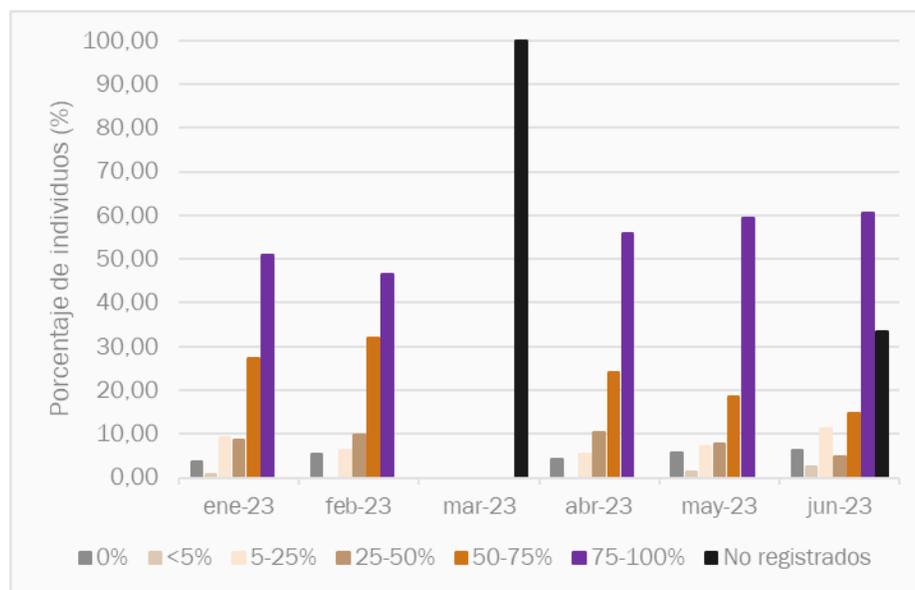
Figura 5-9. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie E, en la Figura 5-31 se observa que la mayor variación es en el rango 50-75% con una variación del 6,80%, seguido por el rango 75-100% con una variación del 5,82%, el rango 5-25% con una variación del 2,29%, el rango 25-50% con una variación del 2,12%, y finalmente, la categoría <5% y 0% con una variación del 1,09% y 1,05% respectivamente. Cabe destacar que durante el mes de marzo y junio no se pudo prospectar de forma normal esta serie, debido a falta de permiso de ingreso al pueblo de Camar por parte de la comunidad.

Figura 5-10. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie E

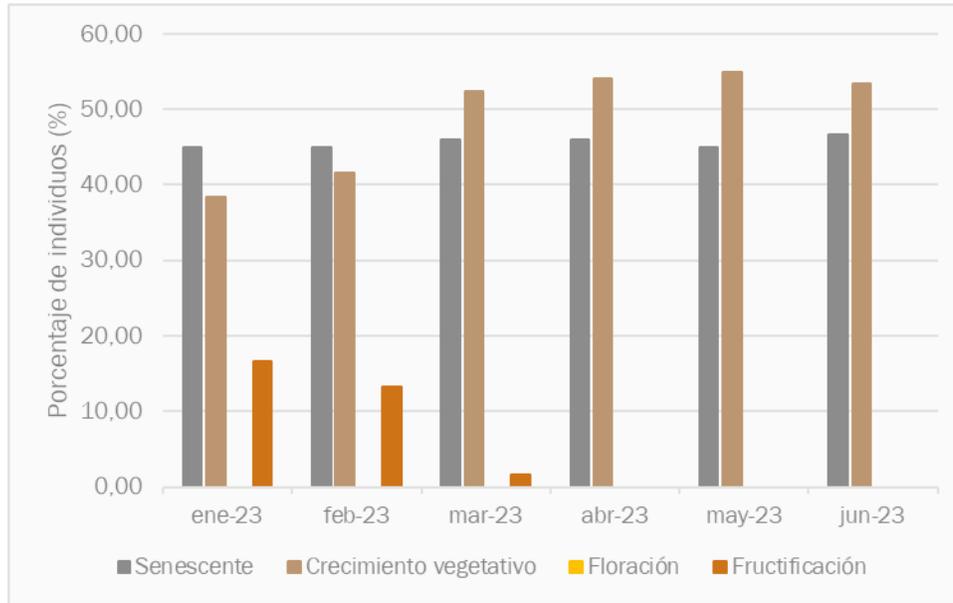


Fuente: Elaboración propia, 2023

5.1.3 Fenología

Los resultados del monitoreo mensual de fenología para la serie A se muestran en la Figura 5-11. A partir de los datos obtenidos, se observa que el máximo desarrollo de estructuras reproductivas se produjo en el mes de enero con una proporción de individuos en fructificación del 16,67%, la que fue disminuyendo con el paso de los meses hasta marzo (1,64%, correspondiente a 1 individuo que aún presentaba frutos). Respecto al crecimiento vegetativo, ésta presentó incrementos constantes entre los meses de enero y mayo, concordante con la disminución en la proporción de individuos en proceso de fructificación. Cabe destacar que el valor máximo de crecimiento vegetativo fue reportado en el mes de mayo con un 55,00% (33 individuos). Sin embargo, sufrió una disminución del 1,67% en el mes de junio. Los individuos senescentes se mantuvieron estable en torno a un promedio de 45,50% con una variación de alrededor del 0,69%. No existen registros asociados a procesos de floración durante el primer semestre.

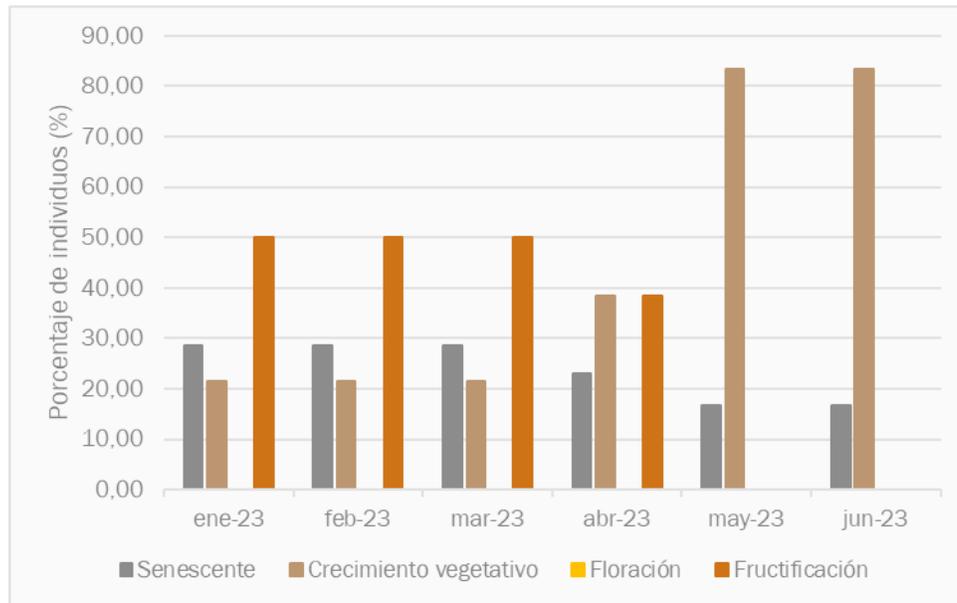
Figura 5-11. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie B, en la Figura 5-12 se observa que el máximo desarrollo de estructuras reproductivas se produjo en los meses de enero a marzo con una proporción de individuos en fructificación del 50,00%, la que fue disminuyendo con el paso de los meses. Respecto al crecimiento vegetativo, éste presentó su valor máximo en el mes de mayo y junio consecutivamente con un 83,33% (10 individuos). Los individuos senescentes se mantuvieron estable en torno a un promedio de 25,41% con una variación de alrededor del 5,84%. No se observan registros asociados a procesos de floración durante el primer semestre.

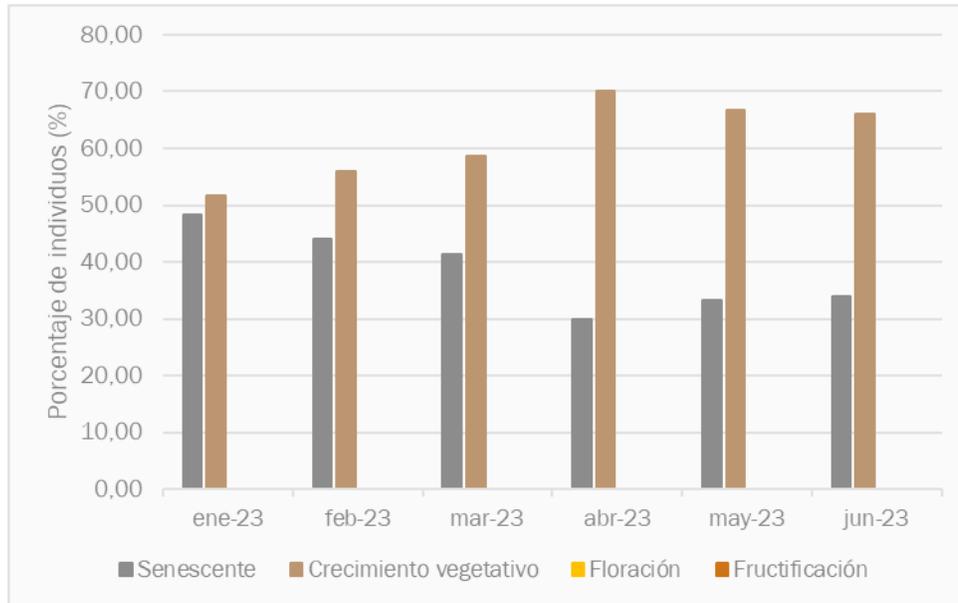
Figura 5-12. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie C, en la Figura 5-13 se observa que el máximo desarrollo de crecimiento vegetativo se observó en los meses de abril y mayo con un 70,18% y 66,67% respectivamente. Los individuos senescentes presentaron variaciones alrededor del 7,19%, observando el valor mínimo en el mes de abril. No se observan registros asociados a procesos de floración ni fructificación durante el primer semestre.

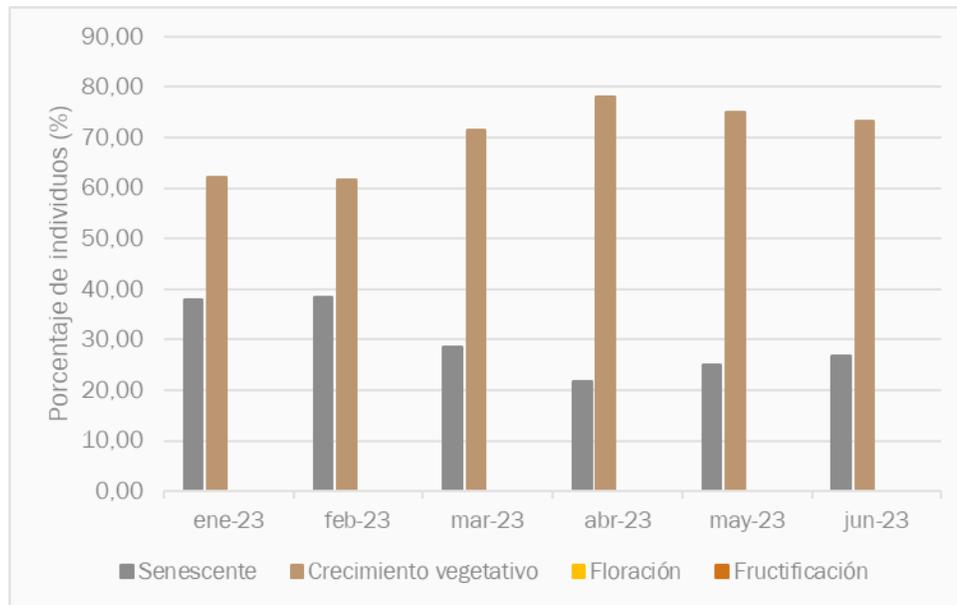
Figura 5-13. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia, 2023

Tal como muestra la Figura 5-14, la serie D presenta una situación fenológica similar a la serie C, presentando el máximo crecimiento vegetativo en los meses de abril y mayo con un 78,18% y 75,00% respectivamente, mientras que, en los mismos meses, se reportó una disminución de individuos senescentes con un promedio en torno al 23%. Tampoco se observan registros asociados a procesos de floración ni fructificación durante el primer semestre.

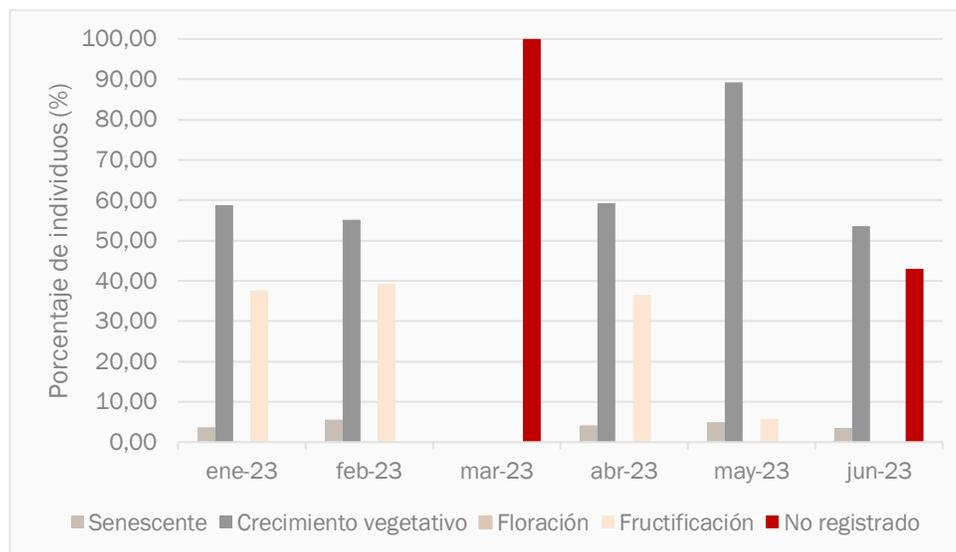
Figura 5-14. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie E, en la Figura 5-15 se observa que el máximo desarrollo de estructuras reproductivas se produjo en los meses de enero y febrero con un promedio de individuos en fructificación del 38,42%, la que fue disminuyendo con el paso de los meses. Respecto al crecimiento vegetativo, éste presentó su valor máximo en el mes de mayo con un 89,29% (125 individuos). Los individuos senescentes se mantuvieron estable en torno a un promedio de 4,89% con una variación de alrededor del 1,02%. No se observan registros asociados a procesos de floración durante el primer semestre. Cabe destacar que durante el mes de marzo y junio no se pudo prospectar de forma normal esta serie, debido a falta de permiso de ingreso al pueblo de Camar por parte de la comunidad.

Figura 5-15. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie E



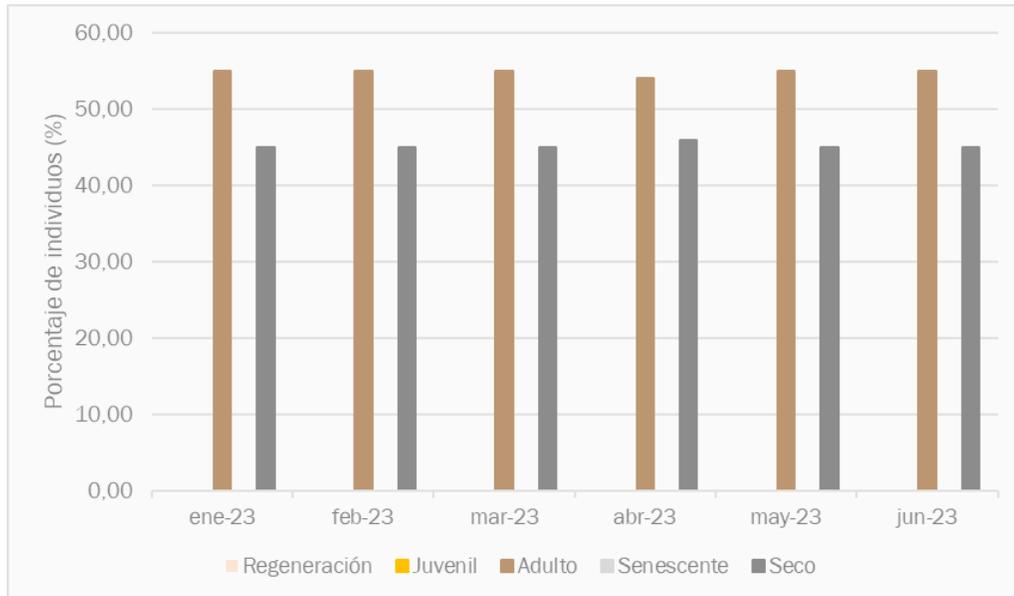
Fuente: Elaboración propia, 2023

5.1.4 Etapa de crecimiento

En abril 2023 se realizó una especificación de criterios para definir las categorías de este parámetro (ver Tabla 4-9). Esta especificación fue debido a que en terreno se estaba constatando la presencia de individuos bajos en altura (menor a 10 cm), pero con diámetros basales >2,5 cm y presencia de nudos en los tallos asociados a crecimientos vegetativos de temporadas anteriores. Debido a lo anterior, en abril 2023 se efectuó un cambio de categoría en 20 individuos de la serie C, 22 individuos de la D y 18 individuos de la serie E (ver Anexo 10), pasando de categoría regeneración a categoría juvenil. Cabe destacar que el cambio en la categoría responde netamente a una especificación de criterios para categorizar a los individuos y no a un cambio repentino en la etapa de crecimiento de estos, ya que la mayoría de los individuos que cambiaron de categoría regeneración a juvenil se registraban hace al menos un año sin mayores variaciones de altura (Anexo 10) y con presencia de nudos en los tallos, acusando crecimiento vegetativo de temporadas anteriores.

En la Figura 5-16 se presenta la variación mensual en las categorías de etapa de crecimiento comprendidas entre el período de enero y junio 2023 en las distintas series. En la serie A, se reportan individuos solamente en categoría adulto y seco. Ambas categorías se han mantenido estables en el tiempo en torno a un promedio de 54,85% y 45,15% respectivamente, con una desviación estándar de 0,4% respectivamente.

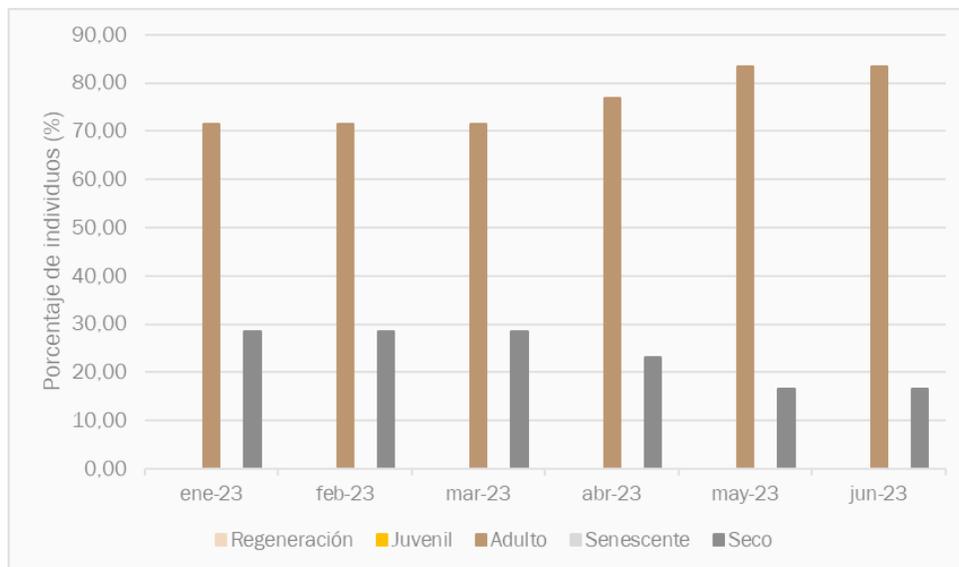
Figura 5-16. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: elaboración propia, 2023

En la Figura 5-17, se observa que la serie B, al igual que la serie A, sólo se reportan individuos en categoría adulto y seco. Ambas categorías se han mantenido estables en el tiempo en torno a un promedio de 76,31% y 23,69% respectivamente, ambas con una desviación estándar de 5,8% respectivamente.

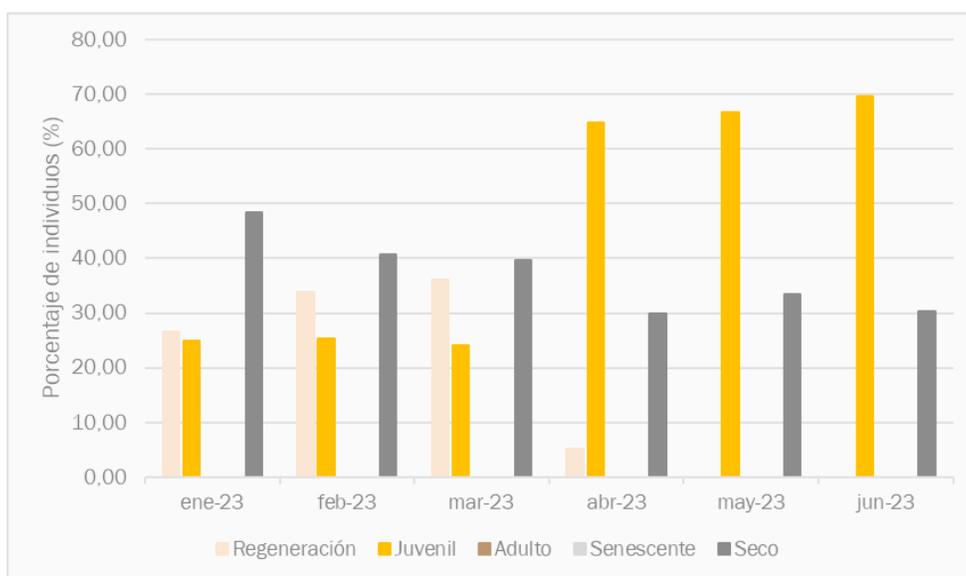
Figura 5-17. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: elaboración propia, 2023

Respecto a la serie C, en la Figura 5-18 se observa un aumento en el porcentaje de individuos juveniles a partir del mes de abril 2023 con una diferencia de 40,77% respecto al mes de marzo. Paralelamente, se observa una disminución en el porcentaje de individuos en etapa de regeneración, con una disminución del 30,94% en el mismo período. Como se mencionó anteriormente, esto se debe a una especificación de criterios realizada en el mes de abril 2023 que significó el cambio en la categoría de 20 individuos que se encontraban en etapa de regeneración debido a que corresponden a individuos que llevan más de un año de establecimiento, con diámetros basales >2,5 cm y, además, presentan nudos en sus tallos asociados a crecimientos vegetativos de temporadas anteriores.

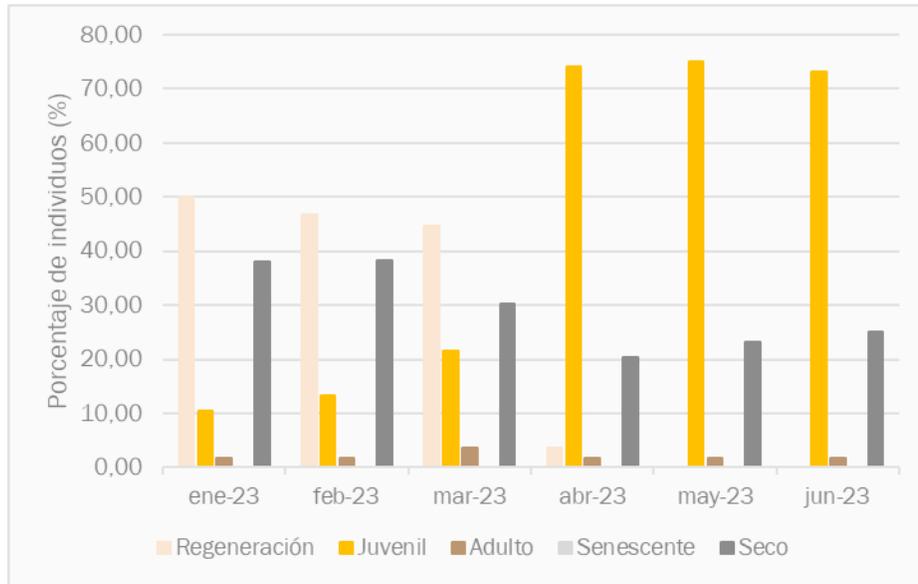
Figura 5-18. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia, 2023

En la Figura 5-19 se observa que la serie D al igual que la serie C, se observa que el porcentaje de individuos en etapa juvenil aumentó en abril respecto a marzo con un diferencial de 52,65%, mientras que el porcentaje de individuos en etapa de regeneración disminuyó en un 40,94%. Lo anterior se debe a la misma situación que en la serie C, debido a la actualización de 22 individuos que hasta marzo 2023 se categorizaron como regeneración y, debido a sus diámetros basales >2,5 cm y a la presencia de nudos en los tallos asociados a crecimientos vegetativos de temporadas anteriores, se recategorizaron en etapa juvenil. Cabe destacar que, en el monitoreo de abril 2023, al menos un 29,41% de los individuos reportados como secos en marzo 2023 cambió a etapa juvenil, situación que podría deberse a las condiciones climáticas favorables que se dieron luego de las precipitaciones reportadas en febrero y marzo 2023.

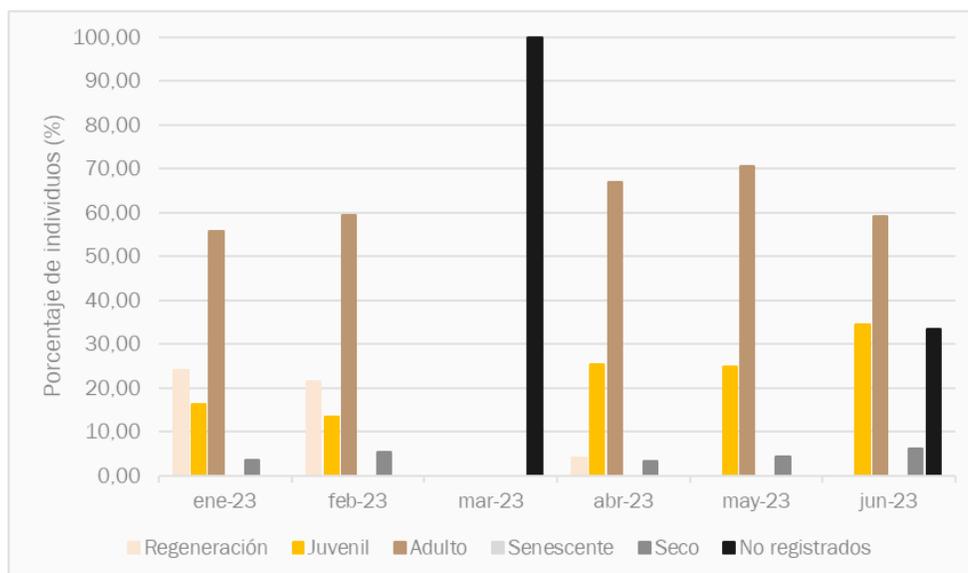
Figura 5-19. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la serie E, en la Figura 5-20 se observa que el porcentaje de individuos en etapa juvenil aumentó en abril con respecto al mes de febrero en 12,02%, mientras que, el porcentaje de individuos en etapa regeneración disminuyó en 17,33%. Además, el porcentaje de individuos en etapa adulta aumentó en 7,39%, mientras que, los individuos secos redujeron su porcentaje en 2,07%. Al igual que en las series C y D, hubo una actualización en la categoría de 18 individuos que hasta febrero 2023 se encontraban en etapa de regeneración y a partir de abril 2023, se categorizaron en etapa juvenil.

Figura 5-20. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie E

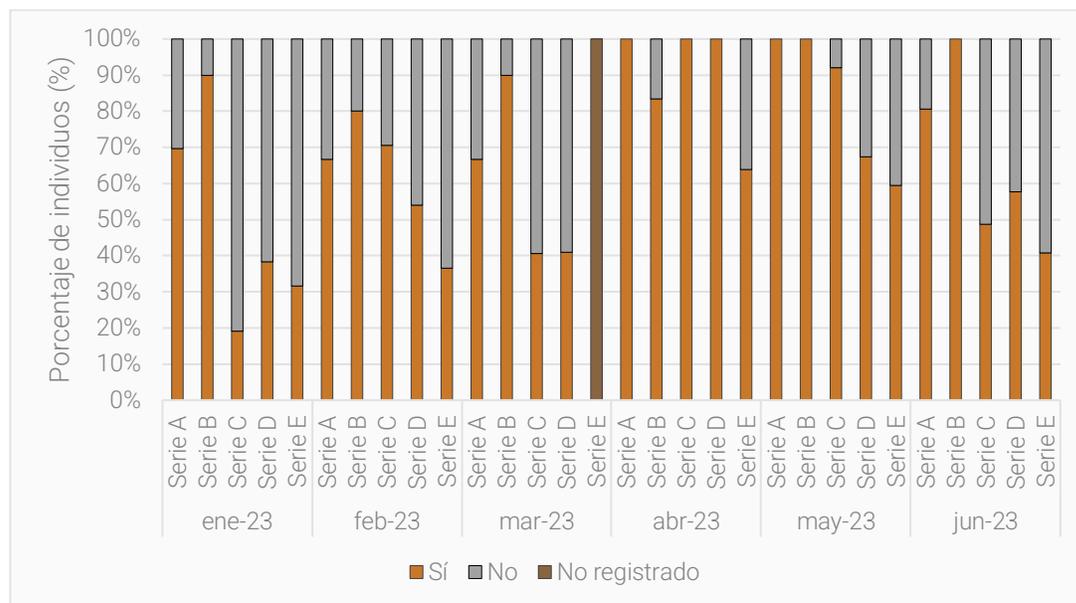


Fuente: Elaboración propia, 2023

5.1.5 Afectación antrópica y/o natural

Al analizar la afectación natural causada por animales desde enero a junio 2023, tal como se observa en la Figura 5-21, en la serie A, el promedio de afectación animal para la serie A en el período de enero a junio es de $44,08\% \pm 8,62\%$. Además, el valor máximo de afectación fue reportado en el mes de mayo con un $55,74\%$ (34 individuos). Este porcentaje disminuyó en junio con respecto a mayo con una diferencia de $15,96\%$ (25 individuos reportados con daño por ramoneo). Respecto a la serie B, el promedio de afectación es de $69,84\% \pm 10,93\%$, mientras que el valor máximo de afectación fue de $83,33\%$ (10 individuos) y se registró consecutivamente en mayo y junio 2023. Respecto a la serie C, el promedio de afectación es de $40,01\% \pm 23,87\%$, mientras que el valor máximo de afectación fue reportado en el mes de abril con un $73,02\%$ (46 individuos). Respecto a la serie D, el promedio reportado es de $44,15\% \pm 19,67\%$ y el valor máximo reportado fue en el mes de abril con un $78,57\%$ (44 individuos). Finalmente, en la serie E, el promedio registra un valor de $44,33\% \pm 21,98\%$ y el valor máximo de afectación se registró en abril con un valor de $61,74\%$ (92 individuos).

Figura 5-21. Variación mensual afectación animal en individuos de *Neituma alba* por serie

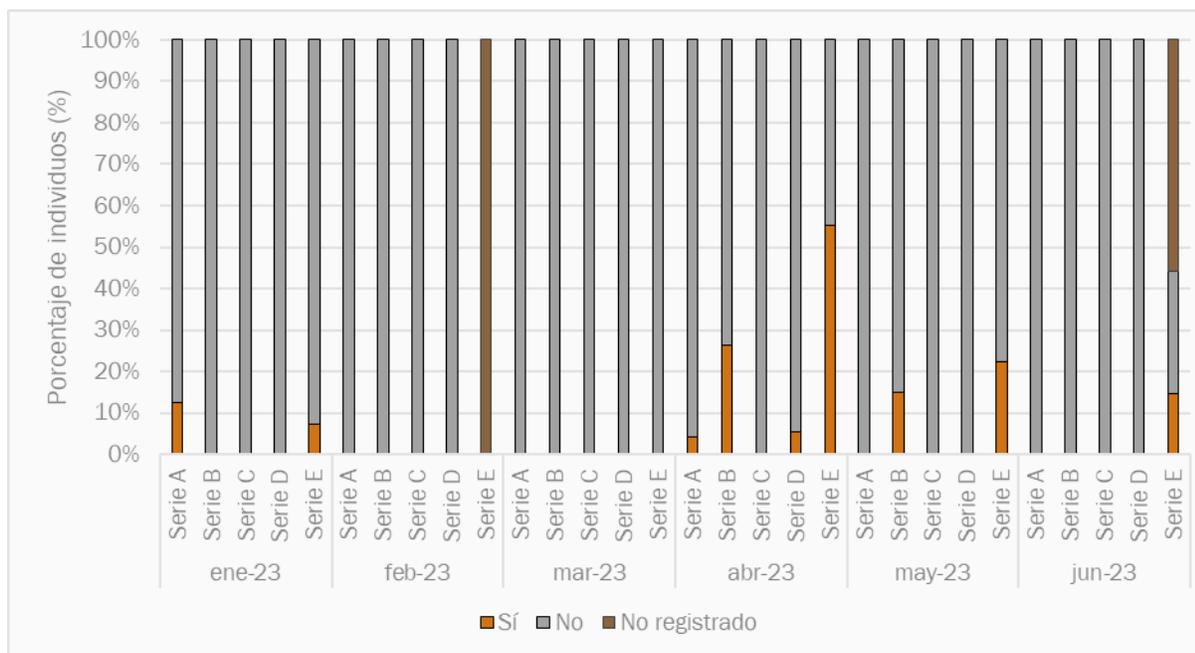


Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la afectación antrópica, ésta considera principalmente signos y presencia de basura, huellas vehiculares, cercanía a caminos, obras, entre otros. En general, se observan pocos signos de intervención antrópica en todas las series. Respecto a la serie A, el promedio registrado fue de $1,78 \% \pm 3,23\%$, mientras que el valor máximo de afectación antrópica se registró en enero con un valor de 8,0% (6 individuos). En la serie B, el promedio registrado para el período es de $6,06\% \pm 9,82\%$, mientras que el valor máximo reportado fue en el mes de abril, con un 22,73% (5 individuos), mientras que en las series D y E, los valores máximos reportados fueron de 4,35% (3 individuos) y 53,67% (95 individuos) respectivamente en el mes de abril. Cabe destacar que en la serie C no se registran datos de afectación antrópica para el período. La serie E registra un promedio de $19,26\% + 20,23\%$. Durante el mes de junio, los registros de afectación antrópica se observaron solo en la serie E (14,12%; 25 individuos). De estos individuos con afectación, la mayor cantidad de observaciones se debe a cortes de ramas (equivalente al 74,19% del total de individuos con afectación antrópica), seguido por huellas vehiculares (19,35%), y basura (6,45%).

Cabe destacar que en el periodo de monitoreo, no se registró la presencia de daño por plagas en ninguno de los individuos monitoreados.

Figura 5-22. Variación mensual de la afectación antrópica en individuos de *Neltuma alba* por serie



Fuente: Elaboración propia, 2023

5.1.6 Estado fisiológico de los ejemplares de *Neltuma alba* (algarrobo)

En la Tabla 5-1, se presentan los valores de potencial hídrico de ramilla medidos en pre-alba (Ψ_{pa}) y mediodía (Ψ_{md}), en enero y abril de 2023. En enero, la población objetivo de algarrobos medida alcanzó valores de potencial hídrico pre alba entre $-1,2$ y $-4,0$ MPa, obteniendo un valor promedio de $-2,14$ MPa, con un error estándar de $0,19$. En abril, los valores de la población objetivo (serie A) fluctuaron entre $-0,9$ y $-3,9$ MPa en Ψ_{pa} , entre $-1,8$ y $-3,1$ MPa en Ψ_{md} , y entre $152,43$ y $390,03$ mmol m⁻² s⁻¹ en gs. Con el objetivo de evaluar la población objetivo (individuos de la Serie A) a los cuales se les ha implementado un sistema de riego con otros ejemplares emplazados aguas arriba de la tubería superficial sin sistema de riego, se midieron los mismos parámetros cuyos resultados son presentados en conjunto en la Tabla 5-1. En Anexo 11 se entregan los informes correspondientes al periodo de enero y abril 2023.

Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2023 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Enero 2023			Abril 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
A04	-2,40	-3,30	293,38	-1,80	-2,10	265,25
A07	-2,45	-3,20	246,68	-1,40	-2,45	152,43

Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2023 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Enero 2023			Abril 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{pa} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{pa} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
A12	-2,80	<-4,00	349,38	-2,10	-3,00	252,25
A17	-1	-1	528,83	*	*	223,45
A21	-1,70	-2,90	377,38	-1,10	-1,80	279,28
A22	-1,60	-2,80	287,43	*	*	186,95
A30	<-4,00	-3,10	227,75	*	-2,80	218,95
A31	-2,30	-2,95	264,30	-1,70	*	301,58
A33	-2,10	-3,20	222,23	-1,85	-3,00	232,13
A36	-2,00	-2,85	276,78	-1,60	-2,95	259,08
A37	-2,05	-3,05	233,80	-1,70	-2,80	286,68
A38	-1,60	-2,20	360,38	*	-1,80	329,58
A40	-1,75	-3,15	274,23	-1,85	-2,80	263,08
A41	-1,20	-1,90	233,00	-3,90	*	295,20
A43	-1,75	-2,20	285,20	-0,90	-2,70	390,03
A44	-2,35	-2,80	237,80	-2,30	-3,10	251,80
A47	-1,95	-3,20	359,50	-1,60	-2,65	318,95
A58	-2,30	-2,70	290,10	-1,80	-2,20	314,48
B02	-3,90	<-4,00	167,80	-1,40	-3,90	219,78
B03	-2,60	<-4,00	147,90	-1,95	-2,85	160,23
B04	-3,50	<-4,00	172,43	-2,20	-3,90	166,40
B09	-2,45	-2,95	266,18	-2,00	-2,90	321,40
B10	-3,20	<-4,00	157,85	-3,40	-4,15	122,05
B11	-2,95	-3,80	167,80	-2,65	-4,00	156,93
B17	-3,25	-3,50	250,33	-2,50	-2,75	265,78
B20	-2,50	-3,40	285,25	-2,15	-3,10	336,30
B21	-2,45	-3,35	238,28	-2,55	-3,40	233,95
C58	*	*	226,78	*	*	276,55
D28	-1,00	-2,35	159,75	-2,60	-1,80	374,13
AX01	-1,65	-2,3	282,55	-2,20	-2,80	293,33

Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2023 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Enero 2023			Abril 2023		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
AX02	*	*	182,18	-1,80	-2,90	286,43

*: árboles no medidos por falta de ramillas

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2023), Anexo 11

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

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

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

Tabla 5-2. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs)

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

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

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2023), Anexo 11.

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

Al analizar los datos de la Tabla 5-3, comparando los individuos ubicados agua arriba de la tubería y aguas abajo. En enero 2023 no se encontraron diferencias significativas ($p=0,7699$), observando un Ψ_{pa} promedio de -2,35 MPa, con un error estándar de 0,19. En abril 2023 se encontraron diferencias significativas solo en potencial hídrico de mediodía ($p=0,0220$), donde los árboles ubicados aguas arriba de la tubería alcanzan el valor más bajo (-3,04 MPa). Al comparar el potencial hídrico en pre-alba, no se encontraron diferencias entre ambos grupos de árboles ($p=0,2343$), alcanzando un valor promedio de -2,04 MPa, con un error estándar de

0,13. Por otra parte, la conductancia estomática tampoco mostró diferencias respecto de la ubicación de los árboles ($p=0,7700$), alcanzando un valor promedio de $259,17 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con un error estándar de 11,75.

Tabla 5-3. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) para individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería de agua superficial

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

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

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2023), Anexo 11

5.1.7 Estimación biomasa aérea

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

Según lo presentado en la Tabla 5-4, la mayor parte de los individuos (80,20%, 154 árboles) se concentran en las clases diamétricas de menor tamaño (0 a 2,5 cm y 2,6 a 5 cm) con alturas medias que no superan los 40 cm. Los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) sólo representan el 6,30% (12 árboles) y pueden alcanzar en promedio hasta los 6,6 m de altura.

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

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

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

En Anexo 12 se entregan los informes correspondientes al periodo de enero y abril 2023.

Tabla 5-4. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género *Neltuma* para ejemplares de algarrobo – enero 2023

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

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

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

Fuente: Cuadro 2, Anexo 12 Informe "Estimación biomasa de una población del género *Prosopis* emplazada en la Quebrada de Camar" (enero 2023)

La estimación de la biomasa en abril de 2023 registra 255 registros correspondientes a árboles del género *Prosopis* (Series A, B, C, D) de los cuales fue posible ubicar y medir 189 árboles (74,1%). Los 66 árboles (25,9%) restantes se encuentran desaparecidos, incompletos o desprendidos de su raíz en el lugar (desenterrados) y no fue posible su medición en terreno. Un 73,0% de los árboles (138 árboles) medidos se encuentran vivos, presentando algún nivel de vitalidad en sus vástagos y el 27,0% restante (51 árboles) actualmente no presenta ramillas con hojas o estas están secas y la madera de la totalidad de sus vástagos se aprecia completamente seca. Según los resultados, la mayor parte de los individuos (82,0%, 155 árboles) se concentran en las clases diamétricas de menor tamaño (0 a 2,5 cm, 2,6 a 5 cm y 5,0-7,5 cm) con alturas medias que no superan los 50 cm. Los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) sólo representan el 7,4% (14 árboles) y pueden alcanzar en promedio hasta los 7,0 m de altura. La mayoría de los individuos (93,6%, 177 árboles) presentan más de un vástago (plurifustales), cuyo número promedio fluctúa entre 2 y 32 vástagos por individuo. El área basal es baja, alcanzando los 2,8544 m² para el total de la población, en donde el 72,4% de

esta lo acumulan seis individuos de gran tamaño (Dbe>30 cm). El promedio de las áreas de la copa fluctúa entre 0,05 y 55,8 m², mostrando una clara tendencia en su desarrollo en los individuos de mayor tamaño que son capaces de superar los 30 m² de área de copa.

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

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

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

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

Fuente: Cuadro 2, Anexo 12 Informe "Estimación biomasa de una población del género *Prosopis* emplazada en la Quebrada de Camar" (abril 2023)

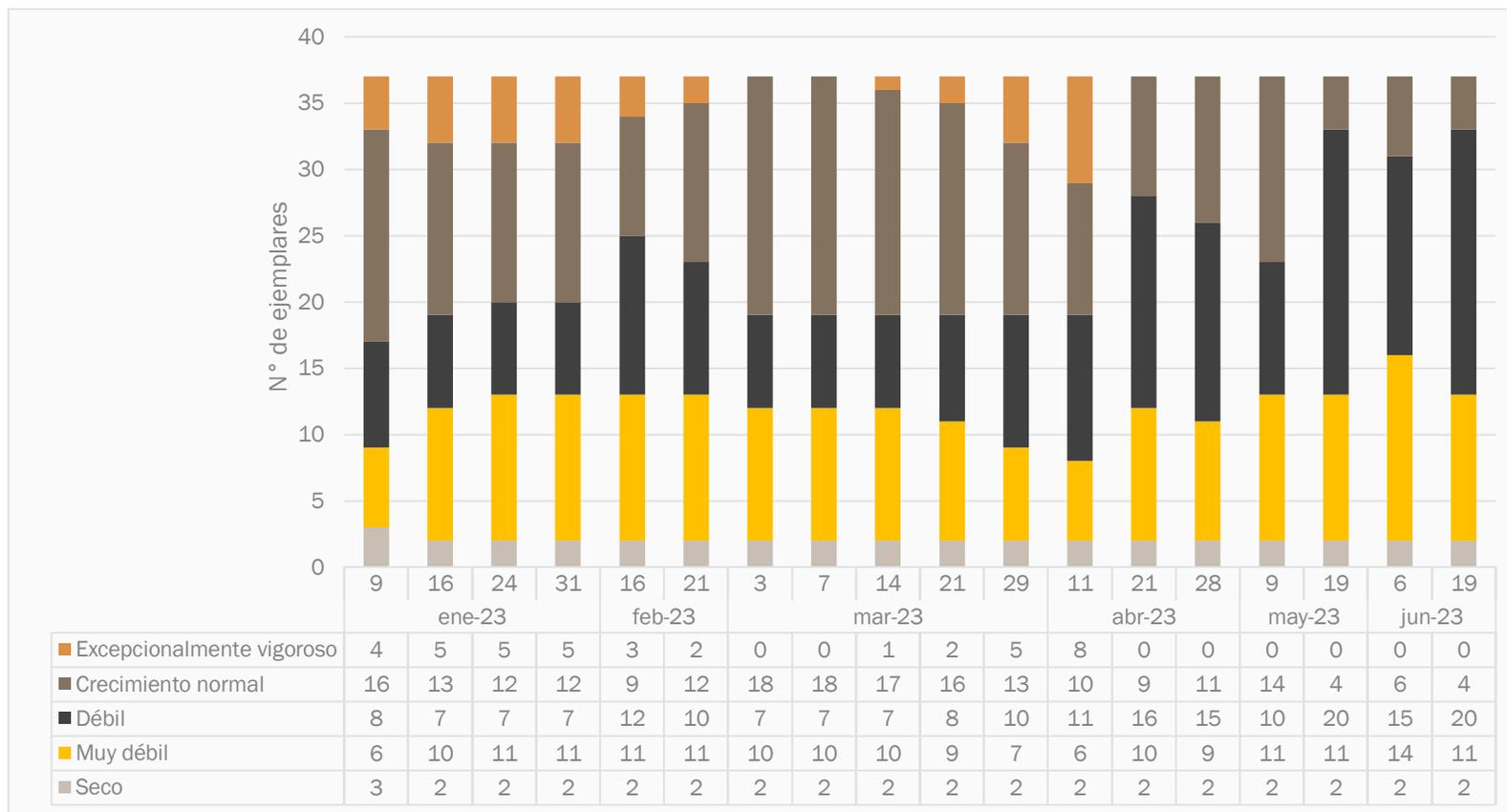
5.2 Evaluación de ejemplares de *Neltuma alba* (algarrobo) con sistema de riego

Se realizaron 18 mediciones sobre los 37 ejemplares sometidos a riego entre enero y junio de 2023, evaluando la vitalidad y porcentaje de copa viva de cada uno de ellos. A continuación, se presentan estos los resultados, mientras que los reportes semanales se exponen en el Anexo 8 del presente informe.

5.2.1 Vitalidad

Los ejemplares secos se han mantenido constantes en 2 individuos durante las prospecciones realizadas en el primer semestre del 2023, con la excepción del primer monitoreo realizado el 09 de enero, donde se registraron 3 individuos secos. Los ejemplares muy débiles muestran un mínimo de 6 ejemplares (registrados en las campañas del 09 enero y 11 de abril), mientras que el máximo alcanzó 14 individuos en la campaña del 06 de junio. Los resultados indican un leve aumento de los ejemplares muy débiles en el periodo, lo cual es concordante con la estacionalidad, ya que se observa un aumento hacia los meses de receso vegetativo (temporada invernal). El efecto de la estacionalidad se vuelve más evidente al analizar los ejemplares débiles, donde el mínimo equivalente a 7 individuos se registra en las campañas del 16, 24 y 31 de enero y en las campañas del 3, 7 y 14 de marzo. Mientras que el máximo, llega a 20 individuos registrados en las campañas del 19 de mayo y 19 de junio. Por otra parte, los individuos con crecimiento normal muestran un comportamiento opuesto, donde los máximos se registran en las épocas más favorables (meses de verano y principios de otoño), específicamente en las prospecciones del 3 y 7 de marzo, donde se registraron 18 individuos en esta categoría. Mientras que el mínimo se registró en las campañas de 19 de mayo y 19 de junio con solo 4 ejemplares. Por otra parte, los individuos excepcionalmente vigorosos se presentan de forma más aislada, donde el máximo se registró en la campaña del 11 de abril con 8 ejemplares, mientras que el mínimo llega a 0 individuos en las campañas del 3 y 7 de marzo, 21 y 28 de abril, y en todas las campañas de mayo y junio.

Figura 5-23. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego



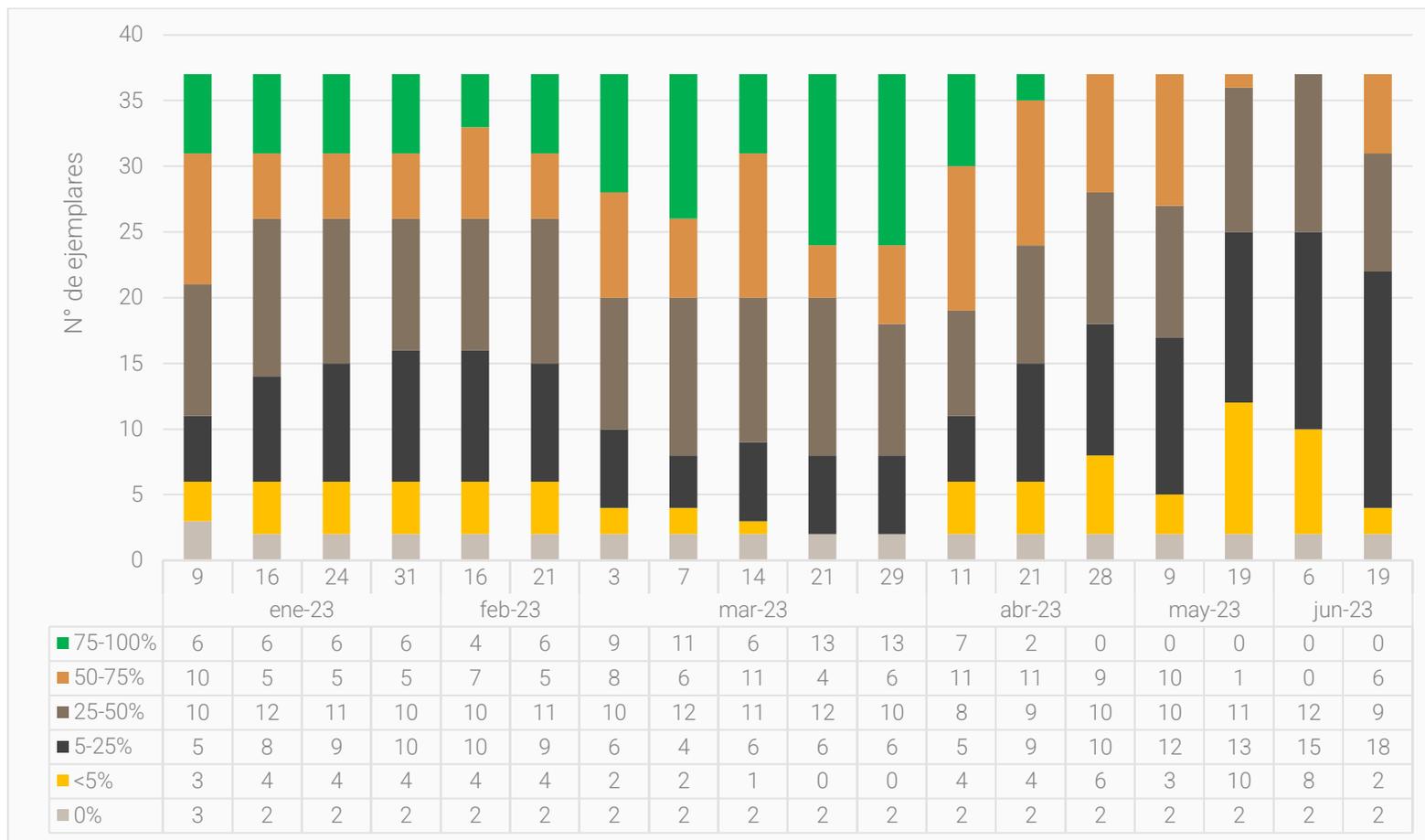
* Los números en la tabla corresponden a la cantidad de ejemplares por categoría de vigor Fuente: GMA, 2022 y 2023

Fuente: Elaboración propia, 2023

5.2.2 Porcentaje de copa viva

Tal como se mencionó en la sección anterior, Los ejemplares secos, y por lo tanto sin presencia de copa viva se han mantenido constantes en 2 individuos durante las prospecciones realizadas en el primer semestre del 2023, con la excepción del primer monitoreo realizado el 09 de enero, donde se registraron 3 individuos secos (0% de copa viva). Los ejemplares con copa <5% muestran un mínimo de 0 ejemplares (registrados en las campañas del 21 y 29 de marzo), mientras que el máximo alcanzó 10 individuos en la campaña del 19 de mayo. Los resultados indican un aumento de los ejemplares con <5% de copa viva en el periodo, lo cual es concordante con la estacionalidad, ya que se observa un aumento hacia los meses de receso vegetativo (temporada invernal). Los efectos de la estacionalidad son más notorios al analizar los ejemplares con copa viva entre 25-50%, donde el mínimo equivalente a 4 individuos se registra en la campaña del 7 de marzo, mientras que el máximo, llega a 18 individuos registrados en la campaña del 19 de junio. Los individuos con copa viva entre 25-50% muestran un comportamiento relativamente estable en el tiempo, con una leve tendencia a la baja, el mínimo se registró en la campaña del 11 de abril con 8 individuos, mientras que el máximo se registró en las campañas del 16 de enero, 7 y 21 de marzo y 6 de junio. Al observar la categoría 50-75%, se aprecia una alta variación entre monitoreos, con lo cual no se logra visualizar una tendencia de los datos en el tiempo; el valor mínimo se registró en la campaña del 6 de junio donde no se registraron individuos con esta categoría, mientras que el valor máximo se registró en las campañas del 14 de marzo y 11 y 21 de abril con 11 individuos. Respecto a los ejemplares con copa viva de 75-100%, se aprecia que los máximos se registran en las épocas favorables (13 ejemplares registrados en las campañas del 21 y 29 de marzo), mientras que los mínimos se registraron en la época invernal (0 ejemplares con esta categoría a partir del monitoreo del 29 de abril hasta el 19 de junio).

Figura 5-24. Evolución del porcentaje de copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego



* Los números en la tabla corresponden a la cantidad de ejemplares por categoría de copa viva Fuente: GMA, 2022 y 2023

Fuente: Elaboración propia, 2023

5.2.3 Estado de los elementos asociados al programa de riego

A través de las prospecciones semanales (ver Anexo 8), se constata que el principal desperfecto en los componentes del sistema de riego corresponde a roturas en las líneas de abastecimiento de agua y piquetes en las cañerías. En menor medida, se han encontrado pérdida de presión y fugas.

Tabla 5-6. Principales desperfectos detectados en los componentes del sistema de riego

Fecha de detección	Tipo de afectación	Árbol afectado	Fecha de reparación
09-01-2023	Rotura en línea	A-45 y A-46	07-03-2023
31-01-2023	Piquete	A-43	-
16-02-2023	Piquete	A-07, A-08 y A-58.	21-03-2023
21-02-2023	Piquete	A-44	21-03-2023
03-02-2023	Pérdida de presión sector 2	N/A	-
28-04-2023	Rotura en línea	A-07 y A-08	09-05-2023
09-05-2023	Rotura en línea	A-58 y A07	09-05-2023
19-06-2023	Fuga en válvula de venteo	A-30	-

Fuente: Elaboración propia en base a Anexo 8, 2023

5.3 Caracterización de la flora y vegetación

A continuación, se presentan los resultados asociados al monitoreo trimestral de la flora y vegetación del primer semestre 2023, el cual contempla los monitoreos de enero y abril de 2023. La base datos obtenida en las campañas de monitoreo del primer semestre del año 2023 se presentan en el Anexo 2 (vegetación) y Anexo 3 (Flora).

5.3.1 Vegetación

5.3.1.1 Superficie

La quebrada de Camar posee una superficie total de 4.044,04 ha, de las cuales 439,66 ha (10,87%) están ocupadas por vegetación y 3.604,38 ha (89,13%) corresponden a otras superficies (zonas de vegetación escasa, zonas agrícolas, red vial y zonas pobladas, entre otras). La Tabla 5-7 muestra las superficies y porcentajes de representatividad en el área de estudio según las formaciones vegetales:

Tabla 5-7. Formaciones vegetales y otras superficies presentes en la quebrada de Camar

Formación	Cobertura (%)	Enero 2023		Abril 2023	
		Superficie		Superficie	
		(ha)	Participación (%)	(ha)	Participación (%)
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> - <i>Ephedra multiflora</i> (Rica rica - Pingo pingo)	Ralo	5,15	0,13%	20,38	0,50%
	Muy abierto	35,95	0,89%	11,79	0,29%
Subtotal		41,1	1,02%	32,17	0,80%
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i> - <i>Atriplex imbricata</i> (Cachiyuyo - Ojalar)	Ralo	9,99	0,25%	15,05	0,37%
	Muy abierto	10,11	0,25%	14,5	0,36%
Subtotal		20,1	0,50%	29,55	0,73%
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)	Rala	59,68	1,48%	89,97	2,22%
	Muy abierto	150,57	3,72%	136,97	3,39%
	Abierto	22,47	0,56%	29,47	0,73%
	Semidenso	1,43	0,04%	1,43	0,04%
Subtotal		234,15	5,79%	257,84	6,38%
Matorral de <i>Tiquilia atacamensis</i> (Káuchal)	Ralo	74,73	1,85%	101,46	2,51%
	Muy abierto	37,82	0,94%	8,65	0,21%
	Abierto	0,17	0,00%	0,17	0,00%
Subtotal		112,72	2,79%	110,28	2,73%
Total Matorrales		408,07	10,09%	429,84	10,63%
Bosque de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo)	-	9,34	0,23%	9,34	0,23%
Subtotal		9,34	0,23%	9,34	0,23%
Pradera de <i>Distichlis spicata</i> (Gramma salada)	Ralo	0,24	0,01%	0,24	0,01%
	Muy abierto	0,24	0,01%	0,24	0,01%
Subtotal		0,48	0,01%	0,48	0,01%
Total superficie cubierta por vegetación		417,89	10,33%	439,66	10,87%
Zona agrícola		7,32	0,18%	7,32	0,18%
Zona de vegetación escasa		3.573,62	88,37%	3.551,84	87,83%
Zona poblada		5,13	0,13%	5,13	0,13%
Áreas intervenidas		8,51	0,21%	8,51	0,21%
Tranque		0,24	0,01%	0,24	0,01%
Red vial		31,34	0,77%	31,34	0,77%
Subtotal otras superficies		3.626,16	89,67%	3.604,38	89,13%
Total general		4.044,05	100,00%	4.044,05	100,00%

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tal como se señala en la tabla anterior, las formaciones vegetales con mayor superficie dentro de la quebrada corresponden a los matorrales con 408,7 ha (enero) y 429,84 ha (abril), lo que representa el 10,1% y 10,6% de la superficie total de la quebrada respectivamente. En menor proporción, se encuentran las formaciones boscosas con 9,34 ha (0,2% de la quebrada) y praderas con 0,48 ha (0,1% de la quebrada) en ambos

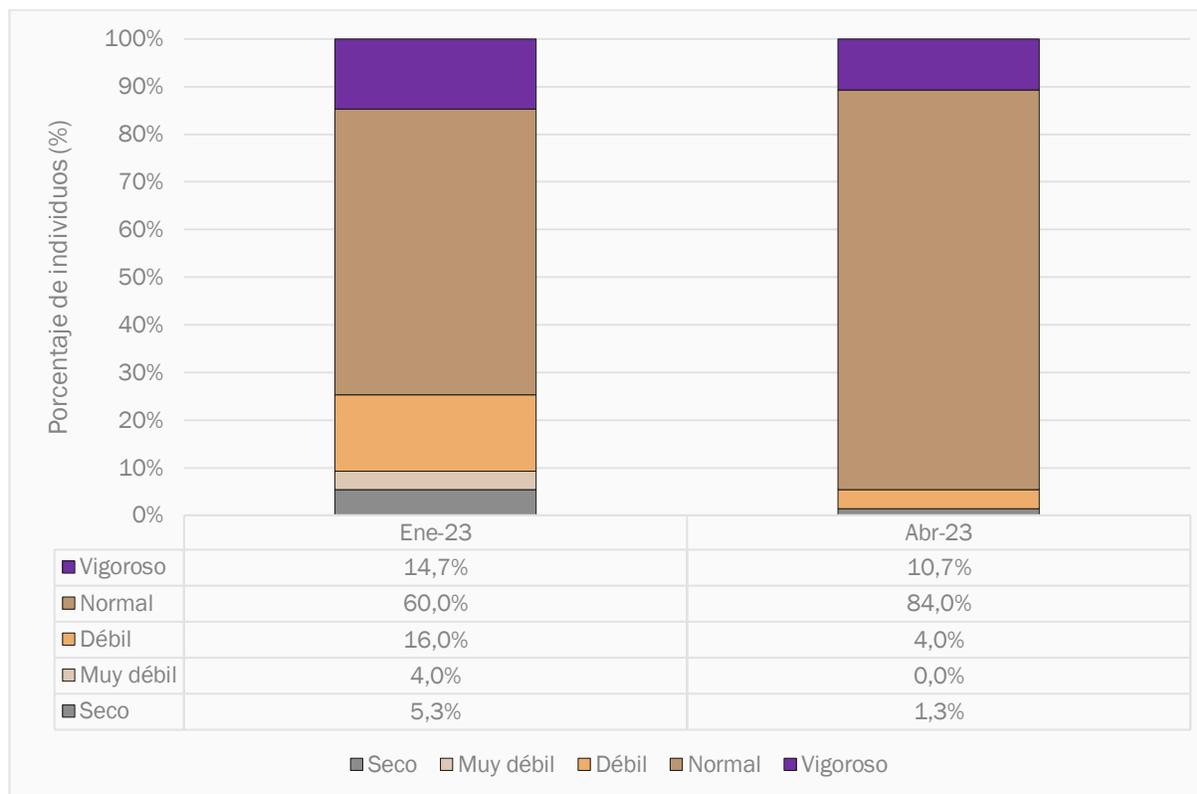
periodos, que no han presentado variaciones. La mayor parte de la quebrada corresponde a zonas de vegetación escasa con 3.551,84 (87,3% de la quebrada) reportado en abril 2023, cuya cobertura de especies vegetales es menor al 5%. El 1,3% de la superficie restante se divide en el área ocupada por la red vial (31,3 ha) y las zonas agrícolas, zonas pobladas, áreas intervenidas y el tranque de agua asociadas al pueblo de Camar (21,2) ha. El mapa de vegetación asociados a estas superficies para los periodos de enero y abril 2023 se adjunta en el Anexo 4.

A continuación, se presenta una descripción general de las formaciones y tipos vegetacionales identificados.

5.3.1.2 Estado de vitalidad y sanitario

De las 75 observaciones de vegetación realizadas en primer semestre 2023 (enero y abril), la mayoría se ubicó en la categoría de vitalidad Crecimiento normal, concentrando el 60,00% de las muestras en enero y el 84,00% en abril, equivalente a 45 y 63 descripciones de terreno respectivamente. Por su parte, en enero, un 14,7% (11 muestras) se ubicó en la categoría de vitalidad excepcionalmente vigoroso, mientras que en abril este porcentaje disminuye a 10,7% (8 muestras) en esta misma categoría; en la categoría débil se observó un 16,0% en enero, al identificarse 12 unidades con esta categoría, mientras que en abril este porcentaje disminuye a 4,0% al identificarse solo 3 unidades. En la categoría muy débil, se observó un 4,0% (3 unidades) en enero, mientras que no se observaron unidades en esta categoría en el mes de abril. Finalmente, en la categoría Seco se observó un 5,3% (4 unidades vegetacionales) en enero, mientras que en abril sólo se observó un 1,3% que equivale a 1 unidad vegetacional. Respecto al estado fitosanitario de los polígonos visitados, además de lo registrado respecto a la afectación antrópica y/o natural por daño animal (ver acápite 5.3.1.5), no se observan signos de otros tipos de daños.

Figura 5-25. Variación de la vitalidad en la vegetación de la Quebrada de Camar

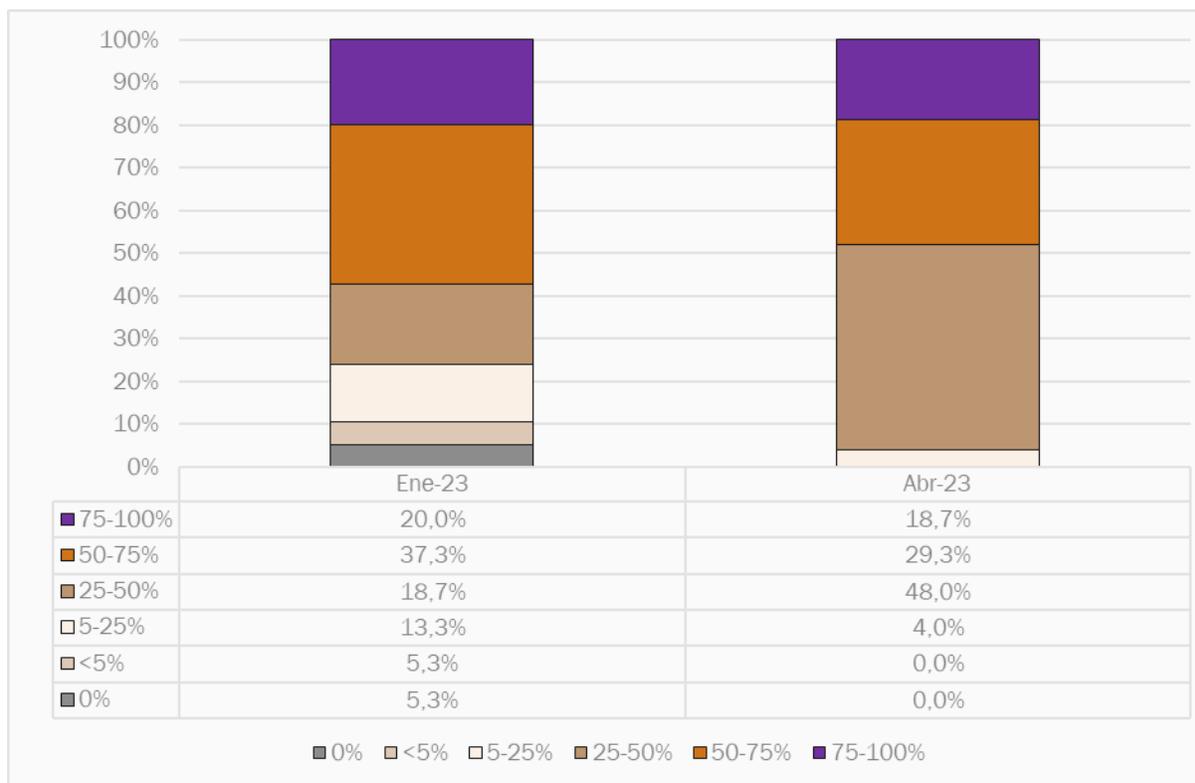


Fuente: Elaboración propia, 2023

5.3.1.3 Porcentaje copa viva

Los resultados del porcentaje de copa viva se presentan en la Figura 5-26. A nivel general, de las 75 descripciones de vegetación realizadas en enero 2023, el 37,3% de las muestras (28 unidades) presentan copa viva entre 50-75%, mientras que, en abril, esta categoría disminuye a 29,3% (22 unidades). Por otra parte, el 20,0% (15 unidades vegetacionales) se observó con copa viva entre 75-100% en enero, mientras que en abril este valor disminuye a 18,7% (14 unidades vegetacionales). El rango de copa viva entre 25-50% presentó un 18,7% (14 unidades) en el mes de enero, mientras que en abril se observó un 48,0% (36 unidades). En la categoría entre 5-25% y la categoría 0% se observó un 13,3% (4 unidades) respectivamente en el mes de enero, mientras que en abril no se reportaron individuos en ninguna de las dos categorías.

Figura 5-26. Variación del porcentaje de copa viva en la vegetación de la Quebrada de Camar

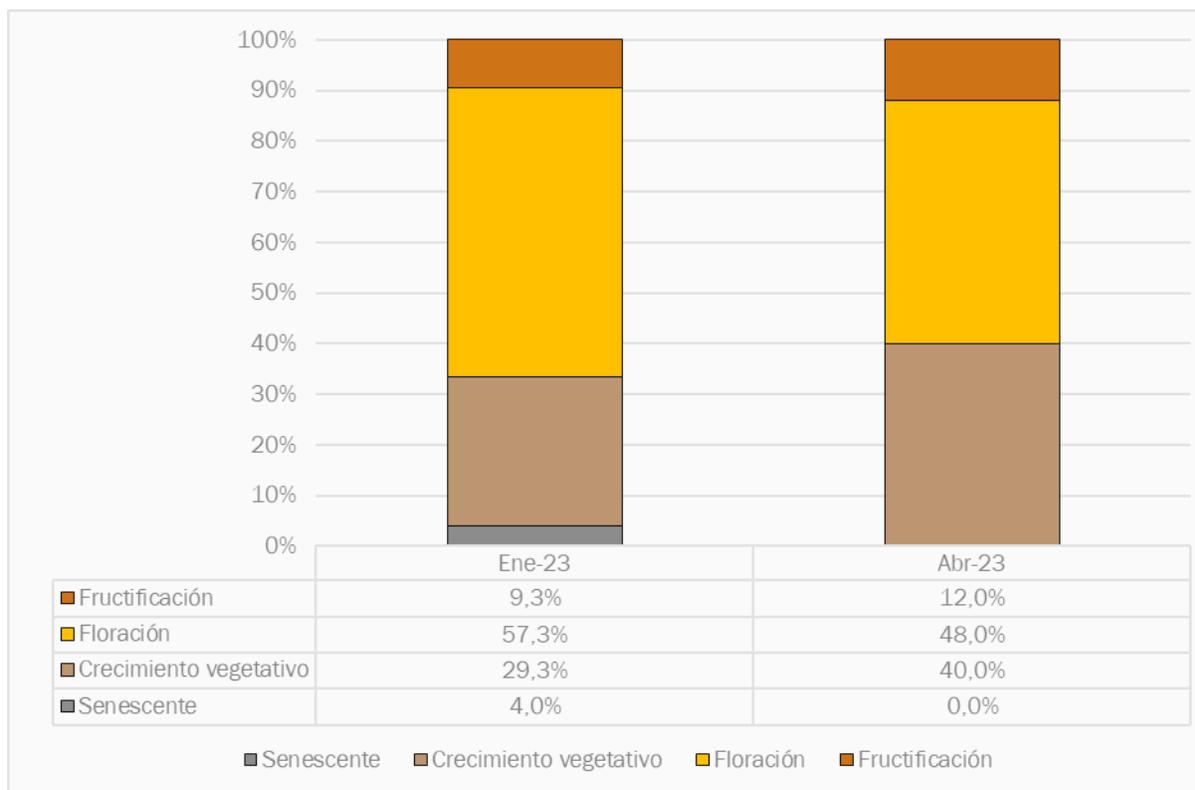


Fuente: Elaboración propia, 2023

5.3.1.4 Estado fenológico

La variación del estado fenológico de las 75 unidades vegetacionales descritas en enero y abril 2023 se presentan en la Figura 5-27. Tal como se observa, la categoría floración tuvo el porcentaje más alto en enero, con un 57,3%, equivalente a 43 unidades vegetacionales. En abril, este valor disminuye a 48,0% (36 unidades). La categoría crecimiento vegetativo alcanzó un 29,3% (22 unidades) en enero, mientras que en abril aumenta a 40,0% (30 unidades). La categoría fructificación presentó un 9,3% en enero, equivalente a 7 unidades, mientras que en abril este valor aumenta a 12,0%, equivalente a 9 unidades. Finalmente, la categoría senescente presentó un 4,0% (3 unidades) en enero, mientras que no se observaron registros en esta categoría en el mes de abril.

Figura 5-27. Variación del estado fenológico en la vegetación de la Quebrada de Camar



Fuente: Elaboración propia, 2023

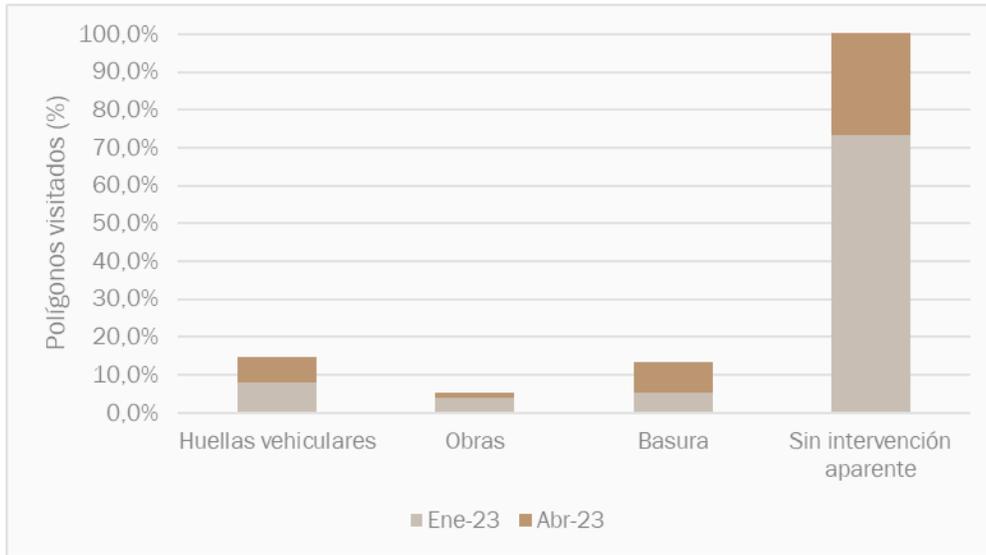
5.3.1.5 Afectación antrópica y/o natural

Respecto a la afectación natural por daño animal, en el monitoreo de enero de 2023, se registraron signos de animales principalmente por la presencia de fecas de burro en un 9,30% (7 polígonos), mientras que en abril 2023 no se reportó presencia de fecas. Sin embargo, se observó afectación directa por ramoneo en individuos de *Neltuma alba* (informe de “Análisis de vitalidad de algarrobos – abril 2023” de la quebrada de Camar, Acción 24 del PdC - Res. Ex N° 4/Rol F-041.2016, aprobado mediante Resolución N° 38 el 29 de agosto de 2022 por la Superintendencia del Medio Ambiente). Cabe destacar que durante el periodo de estudio, no se constató la presencia de afectación por plagas.

Con respecto a la afectación antrópica sobre la vegetación dentro de la quebrada de Camar, de las 75 unidades vegetacionales (polígonos) visitadas en enero de 2023, se registraron signos de intervención antrópica en el 17,33% (13 polígonos). De éstos, el 8,00% (6 polígonos) se registraron con presencia de huellas vehiculares, el 5,3% (4 polígonos) se registró con presencia de basura, y el 4,00% (3 polígonos) con signos de obras. Por otra parte, en abril 2023, también se registraron signos de intervención antrópica en el 17,33% de ellas (13 unidades vegetacionales). Dentro de los polígonos con daño antrópico (13), destaca la presencia de basura (8,0%; 6 polígonos), seguido por la presencia de huellas vehiculares, las que se presentan en el 6,7% del total (5 polígonos). Por último, se reporta la presencia de obras (1,3%; 1 polígono) (Fotografía 5-1).

Además, el número de polígonos sin intervención aparente aumentó en un 8,0% respecto a enero de 2023 (Figura 5-28).

Figura 5-28. Tipos de daño antrópico



Fuente: elaboración propia, 2023

Fotografía 5-1. Registros fotográficos de presencia de huellas informales de camioneta y basura en el área de estudio



(Coordenadas UTM 595.111E - 7.408.017N)



(Coordenadas UTM 595.053E - 7.412.402N)

Fuente: Registro fotográfico en terreno, abril 2023

No se registraron en este período daños recientes asociados a tala, poda, extracción o descepado de individuos de especies vegetales dentro de la quebrada. Sin embargo, cabe mencionar que existen signos antiguos de este tipo de intervención en algunos individuos de mayor tamaño de *Neltuma alba* ubicados en las proximidades de la ruta internacional.

5.3.2 Flora

La quebrada de Camar, se emplaza en la formación vegetal Desierto del Salar de Atacama, la cual abarca la gran cuenca del Salar de Atacama y sus alrededores. Además, posee una gran homogeneidad en cuanto a paisaje y presenta grandes extensiones carentes completamente de vegetación, especialmente en el interior del Salar. Sin embargo, en su borde y hacia el sur, se encuentran comunidades esteparias desarrolladas (Gajardo, 1994).

Además, de los ambientes naturales mencionados, se debe señalar que, dentro de los límites de la cuenca del Salar de Atacama, también se pueden apreciar algunas áreas con formación de especies del género *Prosopis*²² (Gajardo, 1994), o establecimiento de poblaciones de forma natural. Estas áreas, en muchos casos, son de pequeña superficie.

5.3.2.1 Riqueza florística

Tal como se muestra en la Tabla 5-8, en el monitoreo de enero 2023 se registraron 20 taxa, mientras que, en abril 2023, se encontraron 6 taxa que no se habían encontrado anteriormente en la quebrada dentro del contexto de la Acción 24 del Programa de Cumplimiento (PdC). De éstas, 2 se encontraron en transectos y 4 se encontraron fuera de transectos, por lo que corresponden a colecta libre. De las 2 taxa encontradas en transectos, una (1) corresponde a una especie nativa (*Exodeconus integrifolius*) y la otra (1), corresponde a una especie introducida (*Tribulus terrestris*). Las taxa de colecta libre (4), corresponden a especies nativas (*Allionita incarnata*, *Cistanthe amarantoides*, *Cristaria dissecta*, y *Euphorbia amandi*).

Lo anterior, amplía la riqueza florística de la quebrada de 20 taxa en enero 2023 a 26 taxa en abril 2023.

Tabla 5-8. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio

Nº	Nombre Científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	Enero 2023	Abril 2023
1	<i>Adesmia atacamensis</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-
2	<i>Adesmia rahmeri</i>	Poaceae	Hierba anual	Indeterminado	-	
3	<i>Allionia incarnata</i> *	Boraginaceae	Hierba perenne	Nativo	-	(*)
4	<i>Aloysia deserticola</i>	Verbenaceae	Arbusto	Nativo	X	X
5	<i>Ambrosia artemisioides</i>	Asteraceae	Arbusto	Nativo	-	-
6	<i>Atriplex atacamensis</i>	Poaceae	Hierba anual	Nativo	X	X
7	<i>Atriplex imbricata</i> var. <i>Imbricata</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	X	X
8	<i>Cistanthe amarantoides</i> *	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	-	(*)
9	<i>Cistanthe celosioides</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	X	-
10	<i>Cistanthe salsoloides</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	-	X
11	<i>Cristaria dissecta</i> *	Asteraceae	Hierba perenne	Nativo	-	(*)

²² Desintegración del género en *Neltuma*, *Strambocarpa* y *Prosopis* en 2022.

Tabla 5-8. Riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio

Nº	Nombre Científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	Enero 2023	Abril 2023
12	<i>Distichlis spicata</i>	Montiaceae	Hierba perenne	Endémico	X	X
13	<i>Ephedra multiflora</i>	Montiaceae2	Hierba anual	Endémico	X	X
14	<i>Euphorbia amandi*</i>	Montiaceae	Hierba anual	Nativo	-	(*)
15	<i>Exodeconus integrifolius</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	-	X
16	<i>Hoffmannseggia doellii</i>	Malvaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-
17	<i>Lupinus oreophilus</i>	Boraginaceae	Hierba anual	Nativo	-	-
18	<i>Phragmites australis</i>	Brassicaceae	Hierba anual	Nativo	-	-
19	<i>Prosopis alba</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-
20	<i>Prosopis tamarugo</i>	Ephedraceae	Arbusto	Nativo	-	-
21	<i>Solanum chilense</i>	Poaceae	Hierba anual	Nativo	-	-
22	<i>Tarasa operculata</i>	Euphorbiaceae	Hierba anual	Nativo	-	X
23	<i>Tessaria absinthioides</i>	Solanaceae	Hierba anual	Nativo	X	X
24	<i>Tiquilia atacamensis</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X
25	<i>Tribulus terrestris</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Endémico	-	X
26	<i>Urmenetea atacamensis</i>	Juncaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-
Riqueza dentro de los puntos de muestreo					8	10
Riqueza fuera de los puntos de muestreo					-	5
Riqueza total					8	15

(*) = Registro fuera de parcela; (x) = Presencia de la especie; (-) = Ausencia de la especie

Fuente: Elaboración propia, 2023

5.3.2.2 Abundancia

En la Tabla 5-9 se presenta la frecuencia de las especies registradas en enero y abril 2023, de acuerdo con la cantidad de puntos de monitoreo donde apareció cada taxa. La especie más frecuente en ambos trimestres fue *Tessaria absinthioides* presente en 55 puntos de monitoreo en enero y en 57 puntos en abril. Esto corresponde al 9,83% y 10,45% del total de puntos de muestreo respectivamente. En menor medida se registró *Tiquilia atacamensis* presente en 15 puntos de monitoreo (1,63% del total) en enero y 24 puntos (1,23% del total de puntos) en abril. La especie *Atriplex atacamensis* se registró en 17 puntos de monitoreo (1,41% del total) en enero y en 25 puntos (1,97% del total) en abril.

Tabla 5-9. Cobertura de las especies en transectos durante primer semestre 2023

N°	Especie	Enero 2023		Abril 2023	
		N° de puntos de muestreo	% del total de puntos de muestreo	N° de puntos de muestreo	% del total de puntos de muestreo
1	<i>Adesmia sp.</i>	0	0,00%	0	0,00%
2	<i>Aloysia deserticola</i>	8	1,05%	14	0,54%
3	<i>Atriplex atacamensis</i>	17	1,41%	25	1,97%
4	<i>Atriplex imbricata</i>	7	0,21%	6	0,11%
5	<i>Cistanthe salsoloides</i>	3	0,08%	5	0,02%
6	<i>Distichlis spicata</i>	20	0,58%	16	0,86%
7	<i>Ephedra multiflora</i>	5	0,22%	5	0,11%
8	<i>Exodeconus integrifolius</i>	0	0,00%	8	0,04%
9	<i>Phragmites australis</i>	0	0,00%	0	0,00%
10	<i>Tarasa operculata</i>	0	0,00%	2	0,01%
11	<i>Tessaria absinthioides</i>	55	9,83%	57	10,45%
12	<i>Tiquilia atacamensis</i>	15	1,63%	24	1,23%
13	<i>Tribulus terrestris</i>	0	0,00%	1	0,01%

Fuente: Elaboración propia, 2023

5.4 Parámetros del suelo

5.4.1 Monitoreo mensual de CHS

El monitoreo del contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) se realiza desde febrero 2022 con el objetivo de dar cuenta de su evolución temporal y su posible relación con la vitalidad de la población de Algarrobos presente en la quebrada de Camar. Para ello, se muestrean mensualmente 40 puntos (ver Tabla 4-19).

De acuerdo con los análisis de laboratorio realizados por la Entidad Técnico Fiscalizadora “ALS Life Sciences Chile” (código ETFA 029-03), los resultados del monitoreo del primer semestre 2023 no indican tendencias marcadas de mayores CHS ni al oeste ni al este de la quebrada (Figura 5-29). Sin embargo, se observan diferencias de promedios entre puntos con y sin sistema de riego. En general, el CHS da cuenta de un promedio semestral del $2,58\% \pm 0,42\%$. El valor máximo fue registrado en el punto D20 el cual registró un CHS de 13,64% en el mes de marzo, mientras que el valor mínimo fue registrado en el punto B21 con un CHS de 0,00% en el mes de mayo. Cabe destacar que ambos puntos no se encuentran afectados a sistema de riego. Los resultados del laboratorio se adjuntan en Anexo 5.

Tal como se observa en la Figura 5-29, donde se registran los valores mensuales de CHS, los resultados del monitoreo de enero 2023 indican un promedio de $0,55\% \pm 1,07\%$, mientras los resultados de febrero 2023 indica un promedio de $2,73\% \pm 1,92\%$. Marzo y abril 2023 registran un promedio de $3,61\%$ respectivamente, con desviaciones estándares de $2,24\%$ y $1,83\%$. Cabe destacar que marzo registra valores bastante heterogéneos y los valores máximos históricos²³ para el 37,5% de los puntos de muestreo, entre los cuales destacan el punto D20 (sin sistema de riego) con un valor de $13,64\%$ de CHS y el punto A12 (con sistema de riego) cuyo valor es $6,08\%$ de CHS. El mes de mayo registra un promedio de $2,80\% \pm 1,97\%$, mientras que el mes de junio registra un promedio de $2,16\% \pm 1,43\%$, con valores considerablemente heterogéneos que van del mínimo de $0,05\%$ (B04) y un máximo de $6,42\%$ (A17). En consecuencia, el promedio más bajo se reportó en el mes de enero con $0,55\%$ CHS mientras que el promedio máximo se reportó en los meses de marzo y abril con $3,61\%$ de CHS respectivamente.

²³ Considerando el período comprendido entre febrero 2022 a junio 2023.

Figura 5-29. Contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en la quebrada de Camar – primer semestre 2023

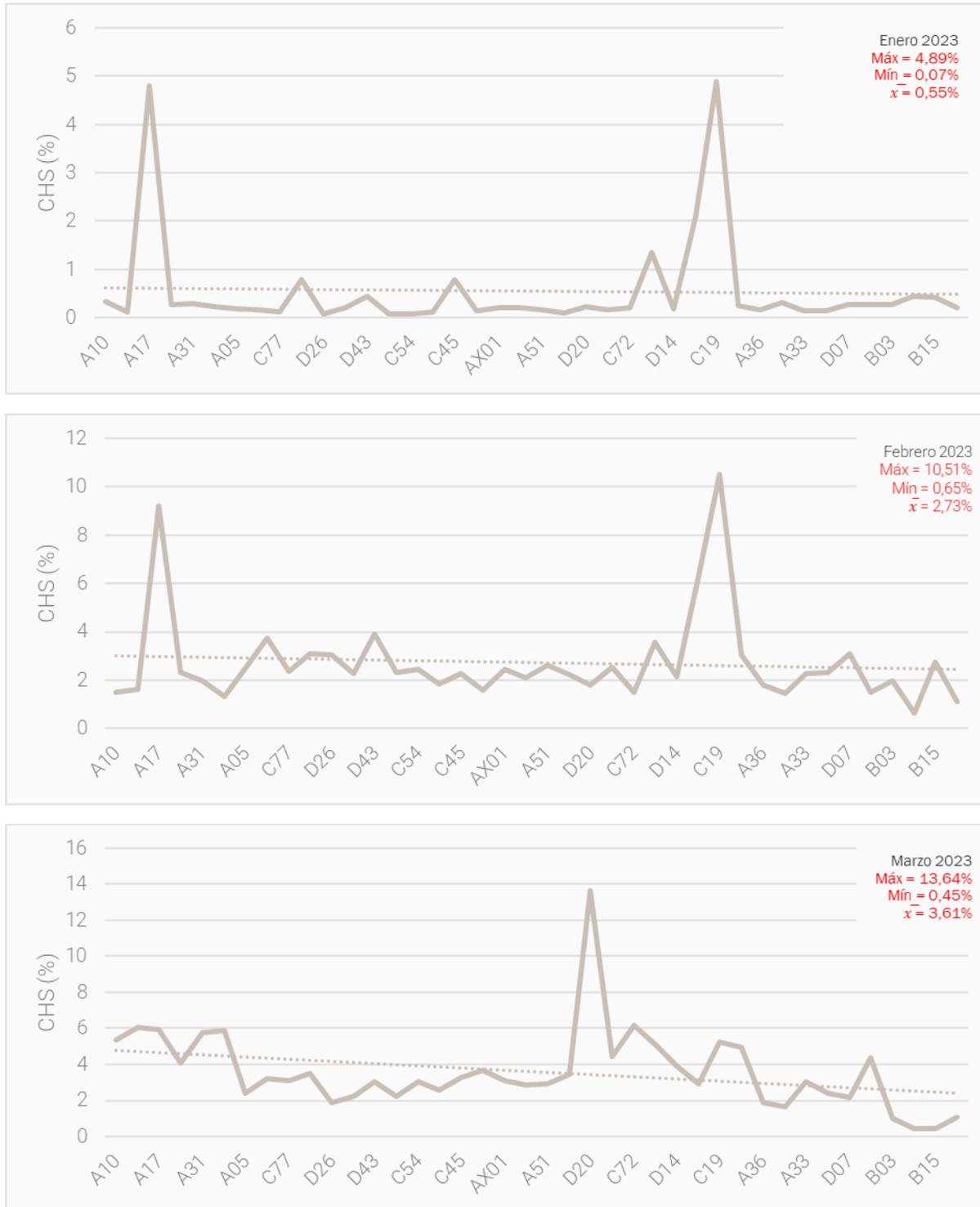
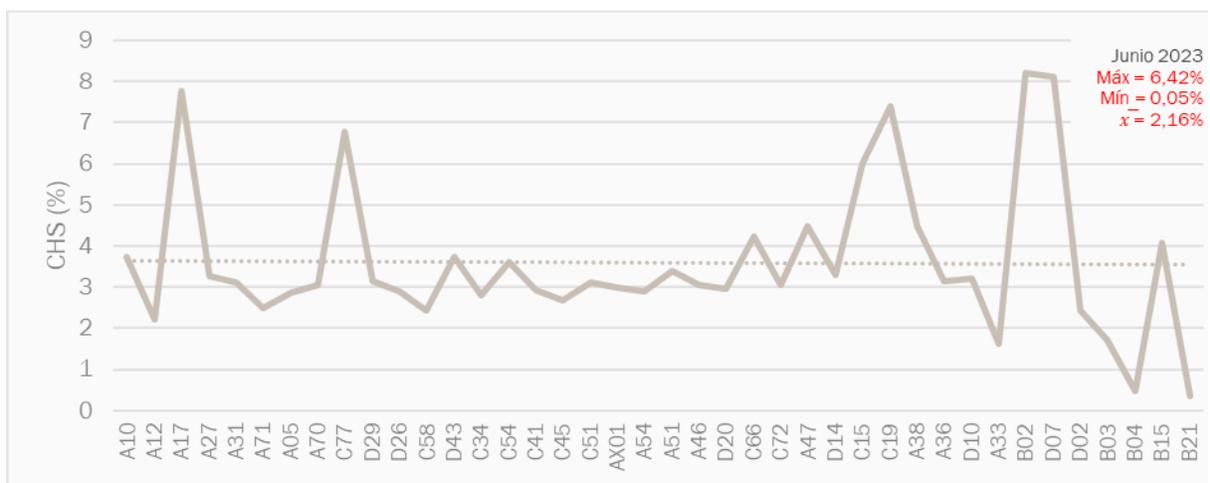
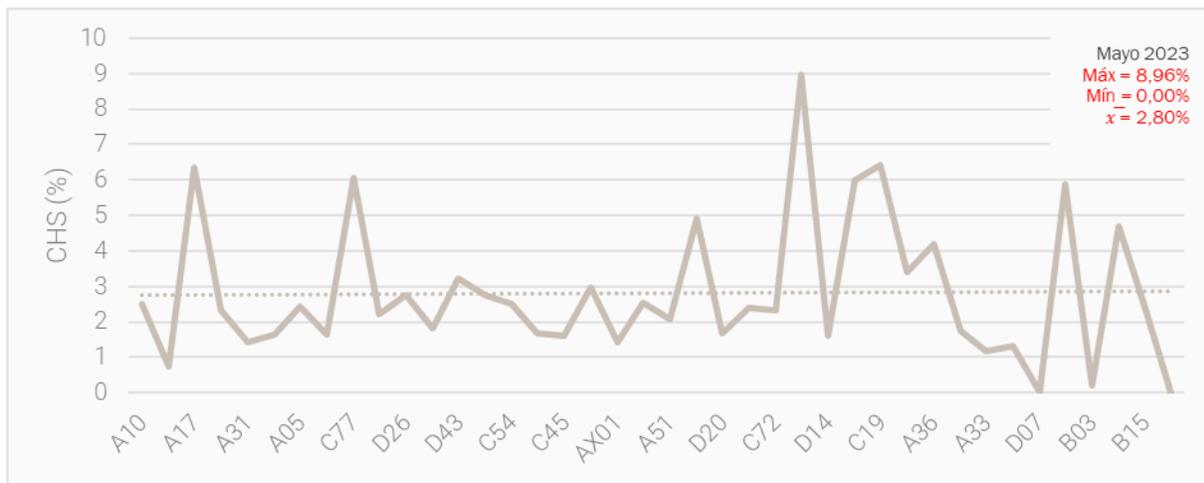
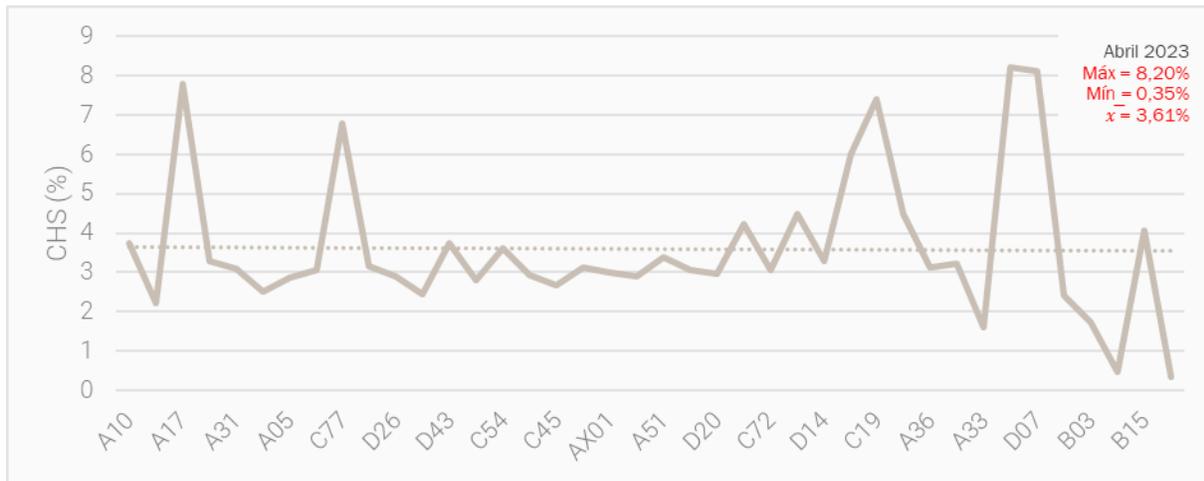


Figura 5-29. Contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en la quebrada de Camar – primer semestre 2023



* Puntos se encuentran ordenados en sentido oeste-este, en función de la cercanía al Salar de Atacama.

Fuente: Elaboración propia, 2023

Cabe destacar que en noviembre 2022 se implementó la Acción 28 de Plan de cumplimiento (implementación de un sistema de riego en algunos individuos de algarrobos), cuya ejecución comenzó en diciembre de 2022. Al respecto, el promedio de CHS mensual aumentó a $0,39 \pm 1,06\%$, presentando mayor variabilidad que los meses anteriores; un mayor análisis respecto a la evolución del CHS en el tiempo y el efecto de la implementación del sistema de riego se aborda en la sección 6.4. de las discusiones.

Tal como se observa en la Tabla 5-10 y en la Figura 5-30, existe una variación en el tiempo respecto al porcentaje de humedad del suelo en los individuos con y sin sistema de riego. En el monitoreo de junio 2023, el valor máximo reportado fue en el individuo A-17 y C-19 con 6,24% y 5,98% de CHS respectivamente. A diferencia del mes de mayo, los valores máximos fueron en el individuo A-47 y C-19 con 8,96% y 6,42% de CHS respectivamente. Se observa una disminución en el promedio del porcentaje de CHS con respecto al mes de mayo 2023 en el 40% de los individuos con sistema de riego, con una variación en torno al 2,26%.

Tabla 5-10. CHS en individuos de *Neltuma alba* con y sin sistema de riego

Individuo	Coordenadas UTM Datum WGS 84 19S		CHS (%) Sin instalación de riego			CHS (%) Con instalación de riego						
	Este	Norte	Sep-22	Oct-22	Nov-22 ²⁴	Dic-22	Ene-23	Feb-23	Mar-23	Abr-23	May-23	Jun-23
A-12	597.223	7.409.975	0,35	0,15	0,05	0,21	0,13	1,62	6,08	2,21	0,73	1,7
A-17	597.603	7.409.916	0,45	0,14	2,14	5,62	4,81	9,22	5,97	7,77	6,36	6,42
A-31	597.792	7.409.953	0,36	0,38	0,07	0,18	0,27	2,31	4,07	3,11	1,42	1,74
A-33	598.759	7.409.902	0,33	0,25	0,07	0,1	0,29	1,97	5,75	1,61	1,18	1,43
A-36	598.732	7.409.766	0,23	0,37	0,08	0,31	0,15	2,29	3,02	3,14	4,18	2,37
A-38	598.677	7.409.695	0,35	0,37	0,08	0,31	0,17	1,81	1,86	4,47	3,4	3,8
A-46	598.492	7.409.741	0,30	0,3	0,04	0,21	0,26	3,05	4,93	3,06	4,92	1,88
A-47	598.581	7.409.758	0,69	0,69	0,03	3,68	0,11	2,25	3,43	4,49	8,96	2,51
C-15	598.603	7.409.693	0,35	0,09	4,22	2,04	1,35	3,57	5,15	6,00	5,98	5,98
C-19	598.630	7.409.704	0,29	0,06	5,03	3,4	0,13	1,62	6,08	7,39	6,42	5,64

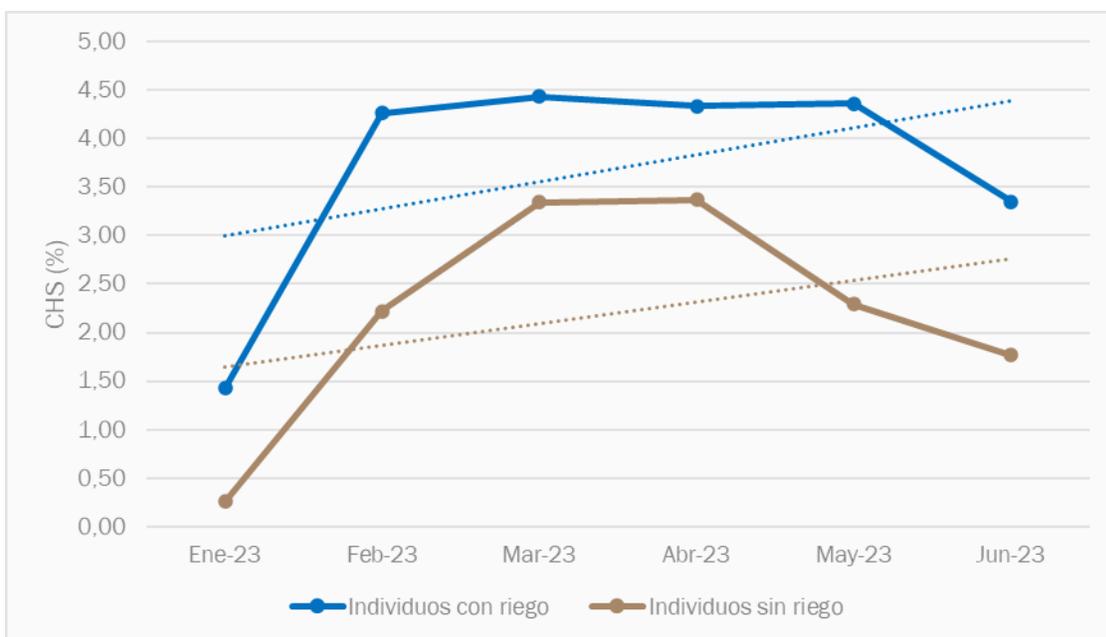
Fuente: elaboración propia, 2023

²⁴ Mes de implementación del sistema de riego.

La Figura 5-30 muestra los valores de los individuos con riego (11 individuos, correspondientes a las series A y C) y sin riego (29 individuos, correspondientes a las series A, B, C y D) en el tiempo, donde se observa que el promedio máximo alcanzado en los individuos con riego se reportó en marzo 2023 (4,43% de CHS), mientras que el promedio máximo en los individuos sin riego se reportó en abril 2023 (3,37% de CHS). El promedio de CHS de los individuos con sistema de riego aumentó considerablemente en el mes de febrero, con una diferencia de 2,84% respecto a enero, manteniendo un promedio elevado sobre 4,30% durante los meses de marzo, abril y mayo. En junio el promedio disminuyó respecto al mes de mayo 2023 con un diferencial de 1,01%. Por su parte, el promedio de los individuos sin sistema de riego aumenta considerablemente en febrero con un diferencial 1,96% respecto a enero, y disminuye marcadamente en mayo con una diferencia de 1,08% respecto a abril, valor que continúa disminuyendo en el mes de junio.

La gráfica muestra que si bien ambos grupos aumentaron su promedio en febrero de 2023 debido a las precipitaciones de febrero y marzo²⁵, el promedio de los individuos con sistema de riego varía en menor medida que el promedio de los individuos sin sistema de riego, el cual ha disminuido considerablemente desde febrero 2023 hasta la fecha.

Figura 5-30. Variación mensual del contenido de humedad del suelo en individuos de *Neltuma alba* con y sin sistema de riego



Fuente: Elaboración propia, 2023

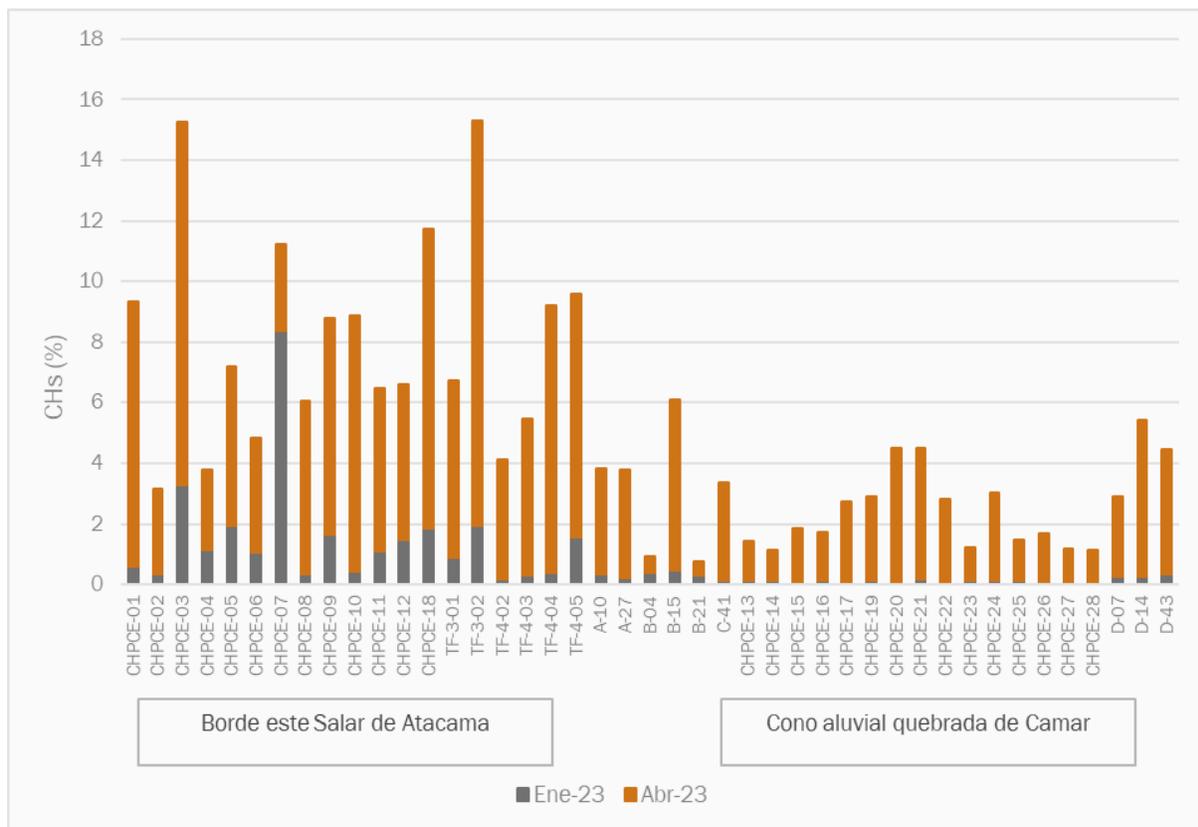
²⁵ SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. <https://www.agrometereologia.cl>

5.4.2 Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE

5.4.2.1 Contenido de humedad

Los resultados asociados al total de puntos de medición de contenido de humedad del suelo (43) se muestran en la Figura 5-31. Tal como se observa, los valores de CHS aumentaron en abril 2023 con respecto a lo reportado en enero 2023. Existe un aumento en el CHS en el 97,67% de los puntos respecto al mes de enero de 2023. El promedio de contenido de humedad de suelo en los puntos del Borde Este del salar pasó de 1,52% (enero de 2023) a 6,57% (abril de 2023). Por otra parte, el promedio de contenido de humedad de suelo en los puntos del cono aluvial pasó de 0,18% (enero de 2023) a 2,53% (abril de 2023). Esta considerable diferencia probablemente se relacione directamente con los eventos de precipitaciones acontecidos durante febrero y marzo de 2023, los cuales registraron una precipitación acumulada de 28,8 y 22,6 mm respectivamente²⁶.

Figura 5-31. Variación mensual del contenido de humedad del suelo en la Quebrada de Camar



Fuente: Elaboración propia, 2023

²⁶ SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. <https://www.agrometereologia.cl>

5.4.2.2 pH del sustrato

Los resultados asociados al pH del sustrato correspondientes al trimestre de abril 2023 indican que los suelos de la quebrada de Camar poseen valores de pH que van de 5,94 (moderadamente ácido) a 9,05 (muy fuerte alcalino). Tal como se observa en los resultados de pH para cada punto monitoreado (Anexo 7 se adjuntan los certificados del laboratorio ETFA) 7, la mayoría de los puntos monitoreados se registraron como fuertemente alcalino (55,81%), mientras que el resto de los resultados se dividen en moderadamente alcalinos (23,26%) y muy fuertemente alcalino (20,93%) (Tabla 5-11).

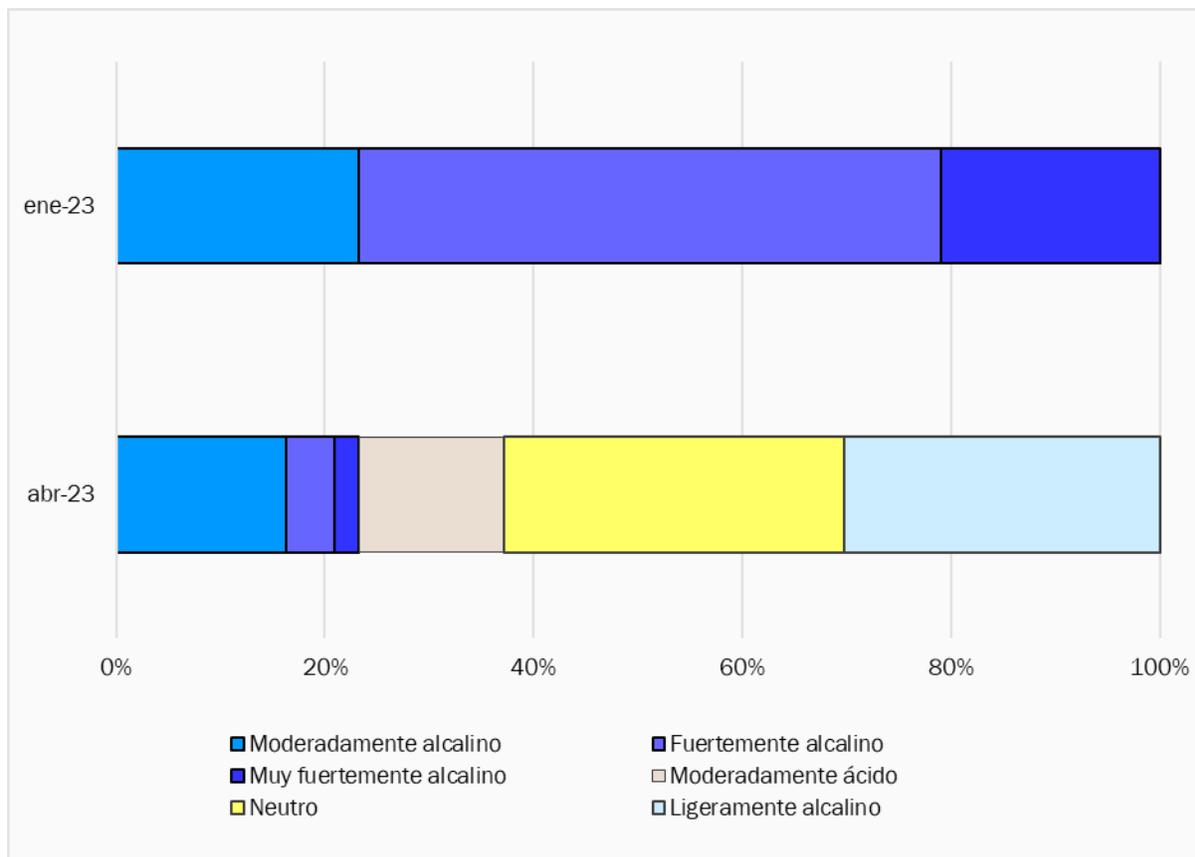
Tabla 5-11. Resultados de pH del suelo

Categorías de pH	pH	Enero 2023 (%)	Abril 2023 (%)
Extremadamente ácido	3,5 – 4,4	-	-
Muy fuertemente ácido	4,5 – 5,0	-	-
Fuertemente ácido	5,1 – 5,5	-	-
Moderadamente ácido	5,6 – 6,0	-	14,0%
Ligeramente ácido	6,1 – 6,5	-	-
Neutro	6,6 – 7,3	-	32,6%
Ligeramente alcalino	7,4 – 7,8	-	30,2%
Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4	23,3%	16,3%
Fuertemente alcalino	8,5 – 9,0	55,8%	4,7%
Muy fuertemente alcalino	> 9,0	20,9%	2,3%
Total		100,0%	100,0%

* (-) indica que no hubo puntos de monitoreo dentro de la categoría en este período.

Fuente: Schoeneberger et al., 2002

Figura 5-32. Proporción de puntos de monitoreo por categoría de pH del sustrato



Fuente: Elaboración propia, 2023

5.4.2.3 Salinidad del sustrato

Los resultados asociados a la conductividad eléctrica y salinidad del suelo se muestran en la Tabla 5-12 y Figura 5-33. Al respecto se observa una variación en la proporción de puntos de monitoreo de conductividad eléctrica y grado de salinidad entre lo reportado en enero y abril 2023. Existe una disminución de 23,26% en los puntos que se categorizaron como fuertemente salinos en abril 2023, los que corresponden en su totalidad a puntos ubicados en la zona correspondiente al borde este del Salar de Atacama. Por otra parte, se observa un aumento en abril (con diferencial de 7%) en el porcentaje de puntos con baja conductividad eléctrica, es decir, los categorizados como moderadamente salinos, ligeramente salinos, y no salinos. En enero, se observa que el 66,67% de los puntos del borde este correspondían a la categoría fuerte y moderadamente salino, mientras que, en el cono aluvial, el 88,89% de los puntos correspondió a la categoría no salino. En abril 2023, el 73,68% de los puntos del borde este presenta categoría fuerte y moderadamente salina, mientras que, en los puntos del cono aluvial el 95,83% corresponde a la categoría no salino.

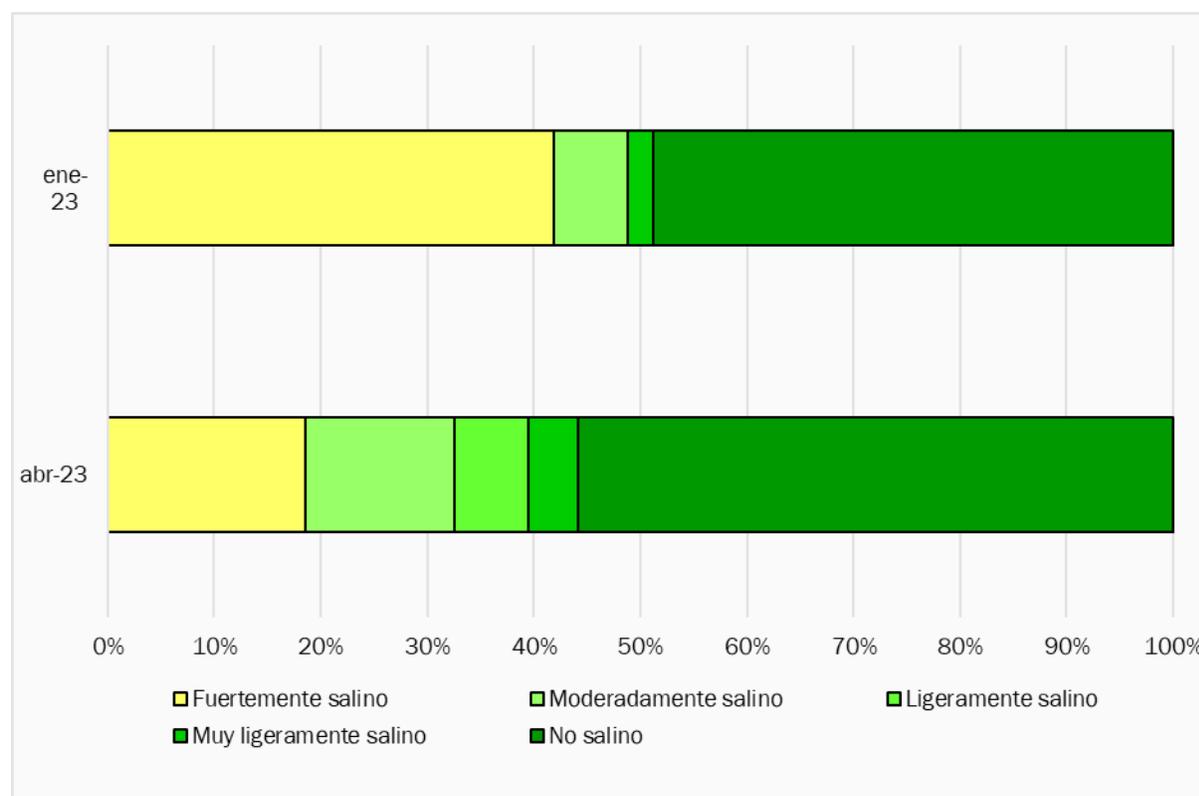
Tabla 5-12. Resultados de conductividad eléctrica del suelo

Categorías de salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	Enero 2023 (%)	Abril 2023 (%)
No salino	0 - 0,98	48,84%	55,81%
Muy ligeramente salino	0,98 - 1,71	2,33%	4,65%
Ligeramente salino	1,71 - 3,16	0,00%	6,98%
Moderadamente salino	3,16 - 6,07	6,98%	13,95%
Fuertemente salino	> 6,07	41,86%	18,60%
Total		100%	100%

“-“indica que no hubo puntos de monitoreo dentro de la categoría en este período.

Fuente: USDA NRCS, 2001

Figura 5-33. Proporción de puntos de monitoreo por categoría de salinidad del sustrato



Fuente: Elaboración propia, 2023

Para mayor detalle, en Anexo 7 se presentan los informes de laboratorio ETFA.

6 Discusiones

6.1 Monitoreo de ejemplares de *Neltuma alba* (algarrobos)

A la fecha de junio 2023, entre todas las series monitoreadas, existe un acumulado de 88 ejemplares desaparecidos o desprendidos. De estos, 12 fueron desprendidos por aluviones en temporadas previas al 2019 (Serie A). A lo anterior, se suman eventos de escorrentías luego de las precipitaciones registradas en los meses de febrero y marzo 2023²⁷. Estos eventos causaron la desaparición de al menos 13 individuos en abril 2023²⁸. El resto de los ejemplares se desconoce la causa exacta de su desaparición, aludiendo posiblemente a desprendimientos por acción de animales (ramoneo) y/o humanos.

A la fecha (junio 2023) se han identificado 16 individuos correspondientes a regeneración de *Strombocarpa tamarugo*. Esta especie no se ha encontrado en su etapa adulta dentro de la quebrada, por lo que, según conversaciones con comuneros de Camar, es posible que estos individuos se hayan establecido en la zona a través de semillas provenientes del sector de Tambillo, debido a que la comunidad ha utilizado pasto para forraje proveniente de esa zona.

En vista de que se ha producido una variación en el universo de individuos, generando imprecisiones en la evaluación temporal y distorsión en la comparación histórica, es que los ejemplares desaparecidos e individuos de *P. tamarugo* son excluidos de los análisis. De esta forma, se analizan los resultados de los 265 ejemplares que se encuentran en pie hasta la fecha (junio 2023).

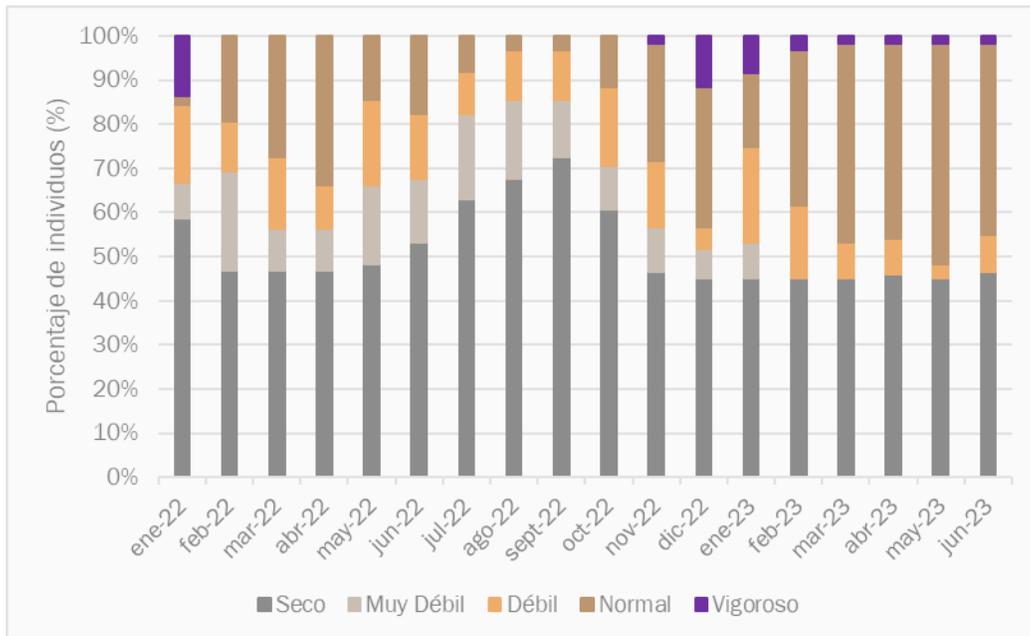
6.1.1 Estado de vitalidad y sanitario

Respecto a la variación histórica (enero 2022 a junio 2023) en la vitalidad de la serie A, la categoría Seco alcanzó un promedio de 51,60% \pm 8,64%, mientras que el valor máximo se reportó en septiembre 2022 con un 72,58% (45 individuos) (ver Figura 6-1). La categoría Normal obtuvo un promedio de 24,08% \pm 15,20%, registrando el valor máximo en mayo 2023 con un 50,0% (30 individuos). La categoría Débil alcanzó un promedio de 12,52% \pm 4,96%, obteniendo el valor máximo en enero 2023 con un 19,35% (13 individuos). La categoría Muy débil reporta un promedio de 9,27% \pm 7,09%, con un valor máximo registrado en febrero 2022 con un 22,58% (14 individuos). Finalmente, la categoría Excepcionalmente vigorosa reporta un promedio de 2,52% y el valor máximo se registró en enero 2022 con un 3,73% (7 individuos).

²⁷ SQM en línea, <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. www.agrometeorologia.cl

²⁸ En abril 2023 se sumaron 32 individuos desaparecidos. Sin embargo, no se puede determinar con certeza que todos los individuos hayan desaparecido en ese período y producto de las escorrentías debido a que en marzo 2023 el terreno fue suspendido y no fue posible registrar un total de 179 de individuos. De los 179 individuos no registrados en marzo, 27 se registraron desaparecidos en el mes de abril y de ellos, 11 registran observaciones explícitas de desaparición producto de la escorrentía.

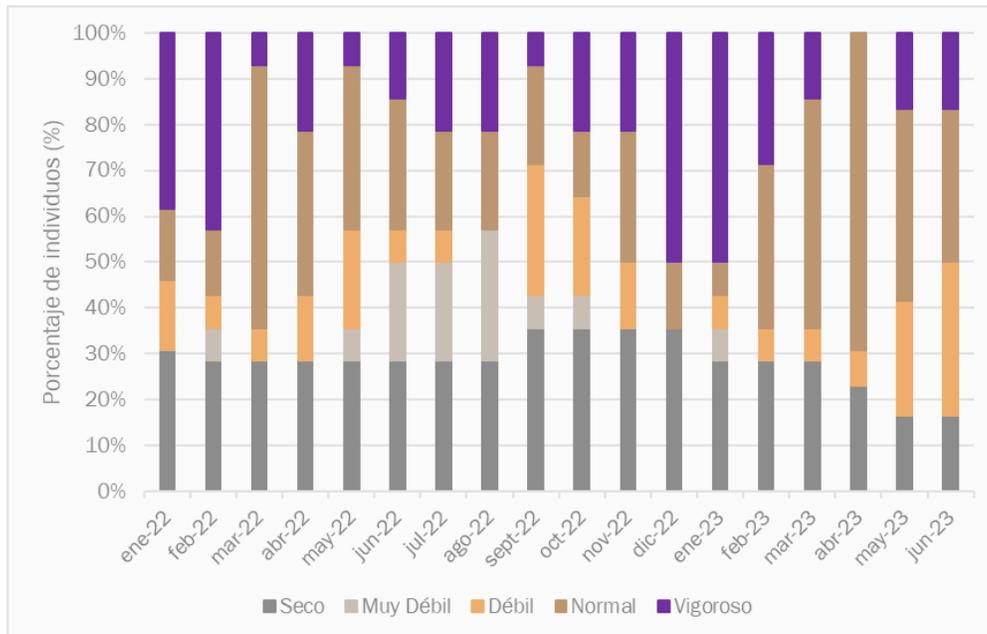
Figura 6-1. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia, 2023

Tal como se muestra en la Figura 6-2, respecto a la variación histórica (enero 2022 a junio 2023) en la vitalidad de la serie B, la categoría Normal alcanzó un promedio de 30,30% ± 20,49% y el valor máximo se observó en abril 2023 con un 69,23%. Luego, la categoría Seco obtuvo un promedio de 28,65% ± 5,84%, mientras que el valor máximo se reportó en septiembre 2022, (al igual que en la serie A), con un valor de 35,71% (5 individuos). La categoría Excepcionalmente vigorosa reporta un promedio de 22,24% ± 16,86% y el valor máximo se registró en enero 2022 con un 3,73% (7 individuos). La categoría Débil acumula un promedio de 12,86% ± 11,61%, con un valor máximo reportado en junio 2023 con un 33,33% (4 individuos). Finalmente, la categoría muy débil reporta un promedio de 5,95% ± 2,92% y el valor máximo se observó en agosto 2022 con un 28,57% equivalente a 4 individuos.

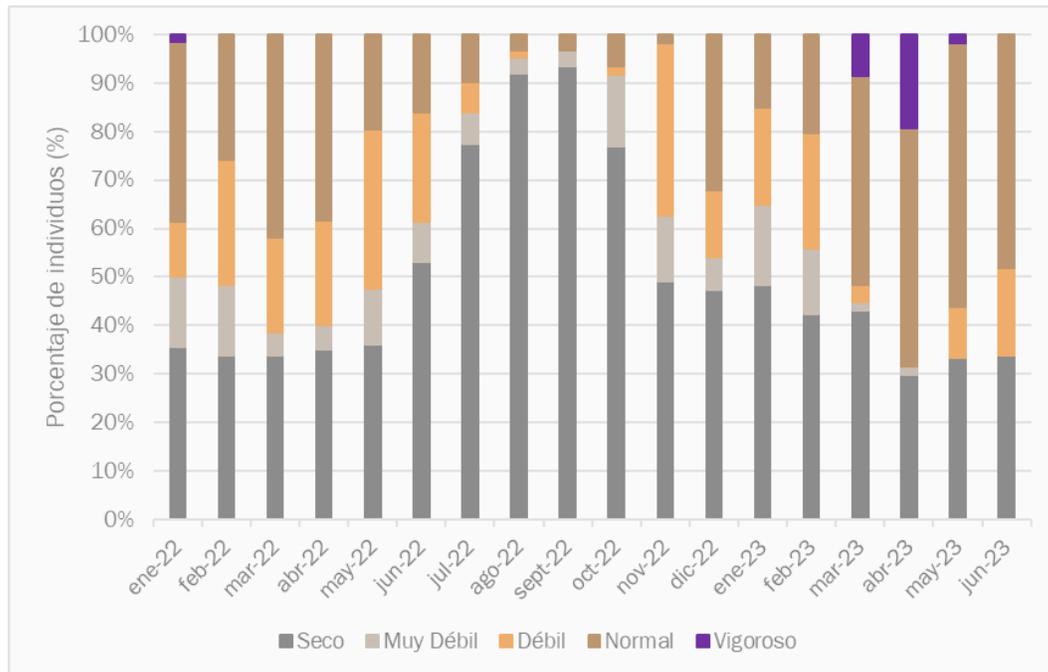
Figura 6-2. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la variación histórica (enero 2022 a junio 2023) en la vitalidad de la serie C, la categoría Seco obtuvo un promedio de $49,72\% \pm 20,80\%$, mientras que el valor máximo se reportó en septiembre 2022, (al igual que las series anteriores), con un valor de $93,55\%$ (58 individuos). La categoría Normal alcanzó un promedio de $25,87\% \pm 17,58\%$ y el valor máximo se observó en mayo 2023 con un $54,39\%$ (31 individuos). Luego, la categoría Débil reporta un promedio de $14,88\% \pm 11,21\%$ y el valor máximo se observó en noviembre 2022 con un $35,59\%$ equivalente a 21 individuos. La categoría Muy débil acumula un promedio de $7,78\% \pm 5,71\%$, con un valor máximo reportado en enero 2023 con un $16,67\%$ (10 individuos). Finalmente, la categoría Excepcionalmente vigorosa reporta un promedio de $1,74\% \pm 4,84\%$ y el valor máximo se registró en abril 2023 con un $19,30\%$ (11 individuos).

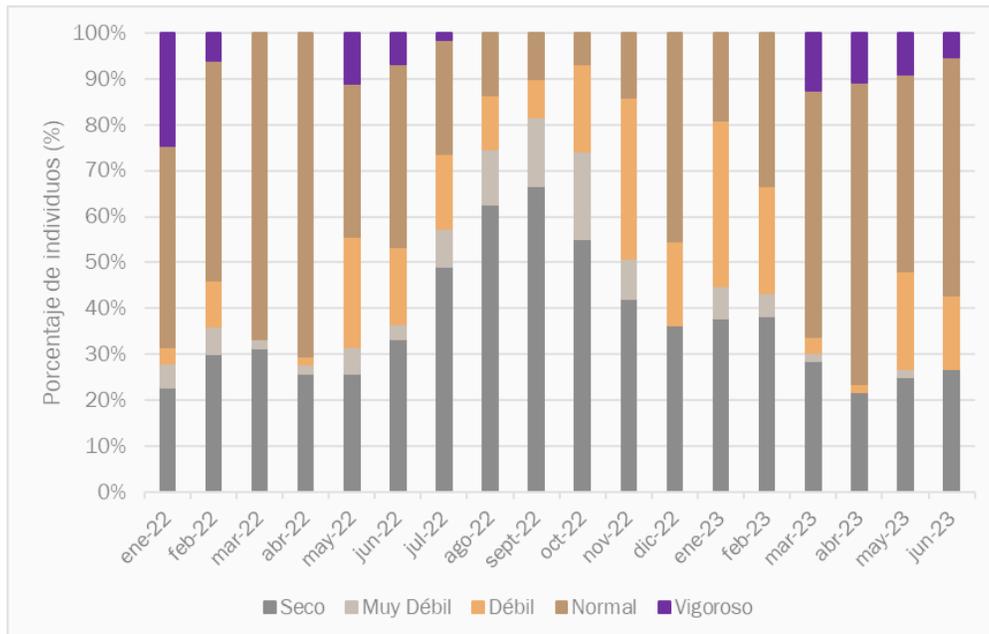
Figura 6-3. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la variación histórica (enero 2022 a junio 2023) en la vitalidad de la serie D, la categoría Normal alcanzó un promedio de $37,93\% \pm 19,97\%$ y el valor máximo se observó en abril 2022 con un $70,37\%$ (38 individuos). La categoría Seco obtuvo un promedio de $36,67\% \pm 13,59\%$, mientras que el valor máximo se reportó en septiembre 2022, (al igual que las series anteriores), con un valor de $66,67\%$ (40 individuos). La categoría Débil reporta un promedio de $14,85\% \pm 10,82\%$ y el valor máximo se observó en enero 2023 con un $36,21\%$ equivalente a 21 individuos. La categoría Muy débil acumula un promedio de $5,68\% \pm 5,32\%$, con un valor máximo reportado en octubre 2022 con un $18,97\%$ (11 individuos). Finalmente, la categoría Excepcionalmente vigorosa reporta un promedio de $4,87\% \pm 6,71\%$ y el valor máximo se registró en enero 2022 con un $24,56\%$ (14 individuos).

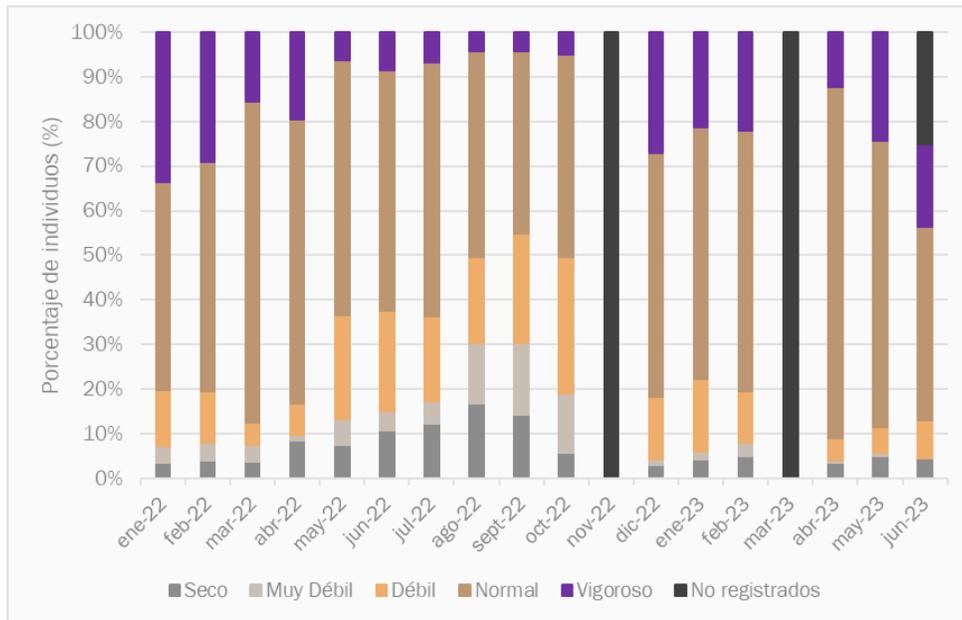
Figura 6-4. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la variación histórica (enero 2022 a junio 2023) en la vitalidad de la serie E, la categoría Normal alcanzó un promedio de $53,16\% \pm 9,87\%$ y el valor máximo se observó en abril 2023 con un $78,62\%$ (114 individuos). La categoría Excepcionalmente vigorosa reporta un promedio de $15,58\% \pm 9,85\%$ y el valor máximo se registró en enero 2022 con un $33,58\%$ (46 individuos). La categoría Débil obtuvo un promedio de $14,05\% \pm 7,72\%$, mientras que el valor máximo se reportó en octubre 2022, con un valor de $30,57\%$ (48 individuos). La categoría Seco reporta un promedio de $6,72\% \pm 4,24\%$ y el valor máximo se registró en agosto 2022 con un $16,77\%$ equivalente a 27 individuos. Finalmente, la categoría Muy débil acumula un promedio de $4,60\% \pm 5,01\%$, con un valor máximo reportado en septiembre 2022 con un $16,05\%$ (26 individuos).

Figura 6-5. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie E

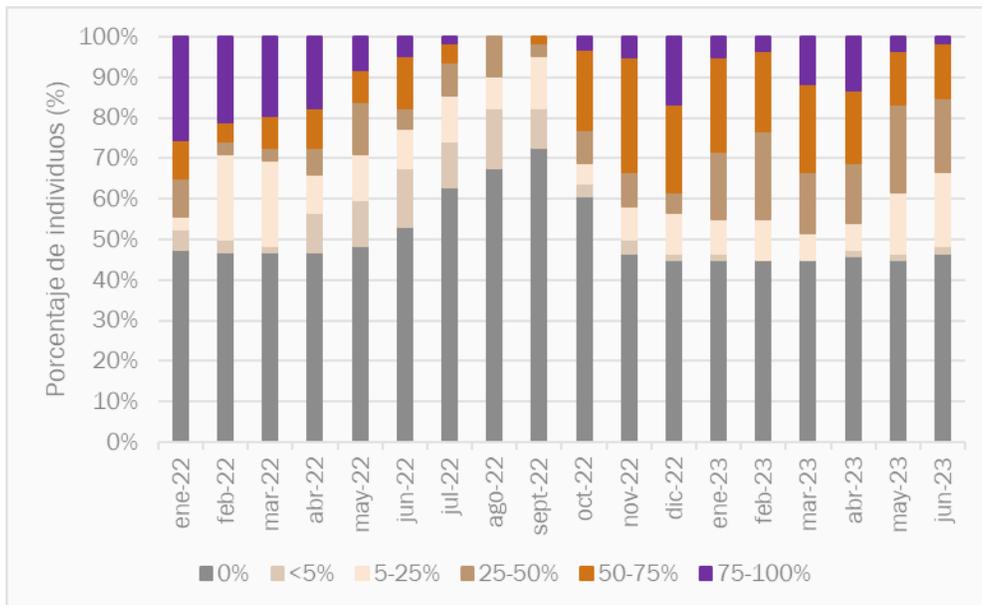


Fuente: Elaboración propia, 2023

6.1.2 Copa viva

En relación con la variación histórica en el porcentaje de copa viva, en la serie A, se observó una disminución sostenida de los individuos que presentan rango de copa viva 75-100% a partir del mes de mayo, pasando de una proporción de individuos dentro de esta categoría del 11,67% en marzo al 1,67% en junio. El rango 50-75% reporta una situación similar, pasando de una proporción de individuos en esta categoría del 21,67% en marzo a 13,33% en junio. Al mismo tiempo, se reporta un aumento de la categoría 5-25% a partir del mes de mayo 2023, pasando de 6,56% en abril a 15,00% en mayo. Las categorías de menor porcentaje de follaje verde (0% y <5%) presentan promedios que se han mantenido estable a lo largo del tiempo con un promedio en torno a 45,43% y 1,11% respectivamente, con una variación en torno al 0,80% respectivamente. A diferencia del primer semestre de 2022, se observó una disminución de los individuos que presentan rango de copa 75-100% más tardía, ya que en 2022 esta disminución se observó desde el mes de marzo, pasando de una proporción de individuos dentro de esta categoría del 57,1% en febrero al 21,5% en junio. Además, se observó un aumento en la proporción de individuos pertenecientes a las categorías de menor porcentaje de follaje verde (0% y <5%) a partir de abril 2022, mientras que, en el presente semestre, estas categorías no presentaron mayores variaciones.

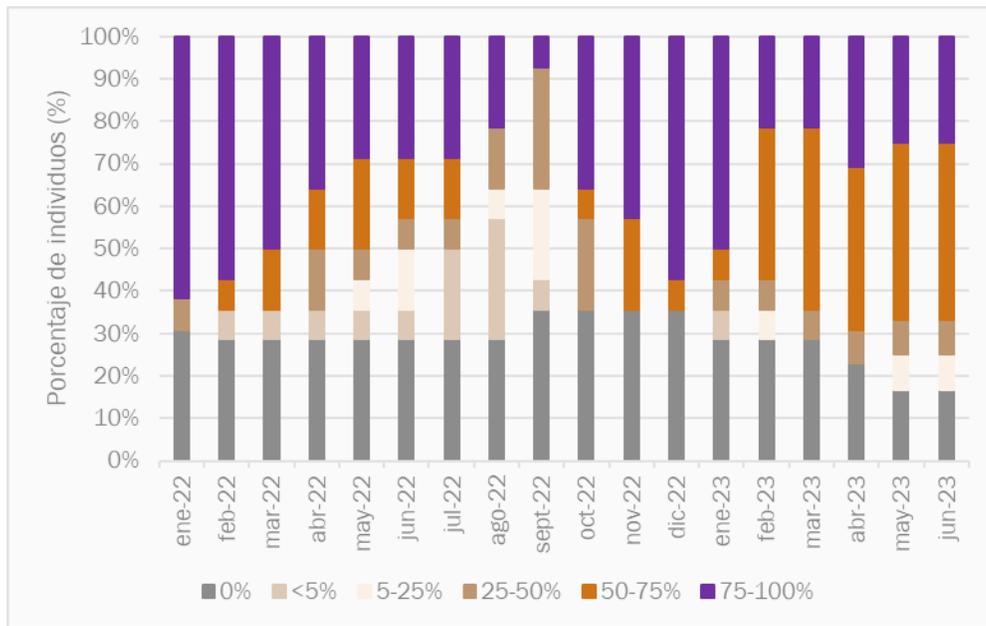
Figura 6-6. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia, 2023

Tal como se muestra en la Figura 6-2, respecto a la variación histórica (enero 2022 a junio 2023) en la vitalidad de la serie B, la categoría de copa viva 75-100% obtuvo un promedio de $34,89\% \pm 15,08\%$ y el valor máximo se registró en consecutivamente entre septiembre y diciembre 2022 con un $61,54\%$. La categoría de copa viva 0% obtuvo un promedio de $28,65\% \pm 5,54\%$, mientras que, el valor máximo se reportó consecutivamente entre septiembre y diciembre 2022 con un valor de $35,71\%$ (5 individuos). La categoría entre 50-75% de copa viva reporta un promedio de $18,27\% \pm 15,32\%$ y el valor máximo se registró en marzo 2023 con un $42,86\%$ (6 individuos). La categoría entre 25-50% acumula un promedio de $8,53\% \pm 7,43\%$, con un valor máximo reportado en septiembre 2022 con un $28,57\%$ (4 individuos). Finalmente, la categoría <5% reporta un promedio de $5,56\% \pm 7,96\%$ y el valor máximo se registró en agosto 2022 con un $28,57\%$ equivalente a 4 individuos y la categoría entre 5-25% obtuvo un promedio de $5,56\% \pm 7,96\%$ con un valor máximo de $28,57\%$ reportado en agosto 2022 (4 individuos).

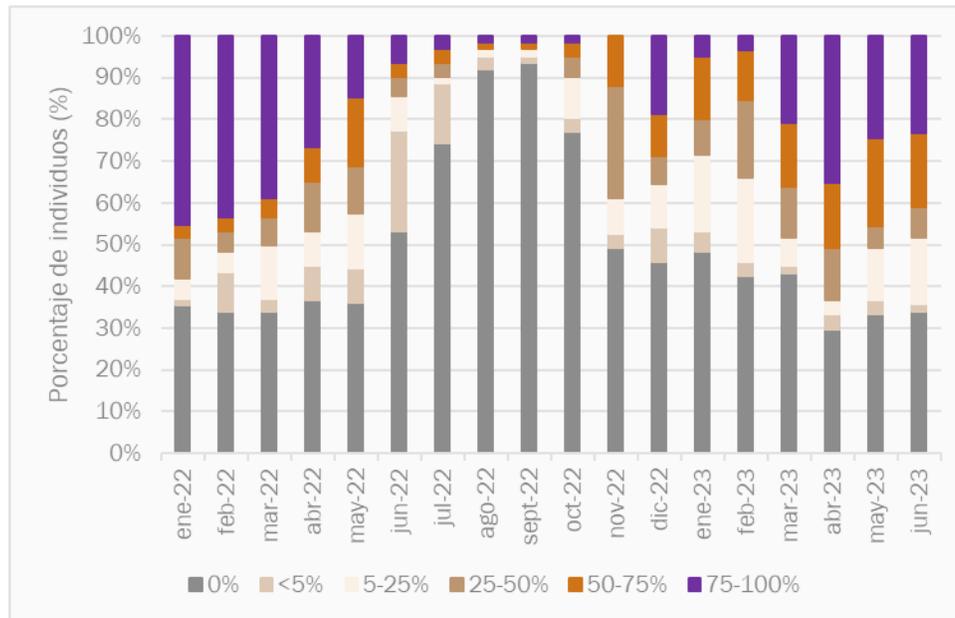
Figura 6-7. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: Elaboración propia, 2023

La Figura 6-8 muestra la variación histórica (enero 2022 a junio 2023) en la vitalidad de la serie C. La categoría de copa viva 0% registró un promedio de $43,54\% \pm 20,51\%$ y el valor máximo se registró en septiembre 2022 con un $93,55\%$. La categoría de copa viva entre 75-100% obtuvo un promedio de $17,44\% \pm 15,08\%$ y el valor máximo se reportó en enero 2022 con un $45,16\%$. El resto de las categorías (50-75%, 5-25%, 50-75%) registran promedios de $9,34\%$, $9,05\%$ y $8,60\%$ respectivamente con desviaciones alrededor del $6,47\%$, $5,66\%$ y $6,54\%$ respectivamente. La categoría de copa viva <5% registra un promedio de $6,04\% \pm 5,73\%$.

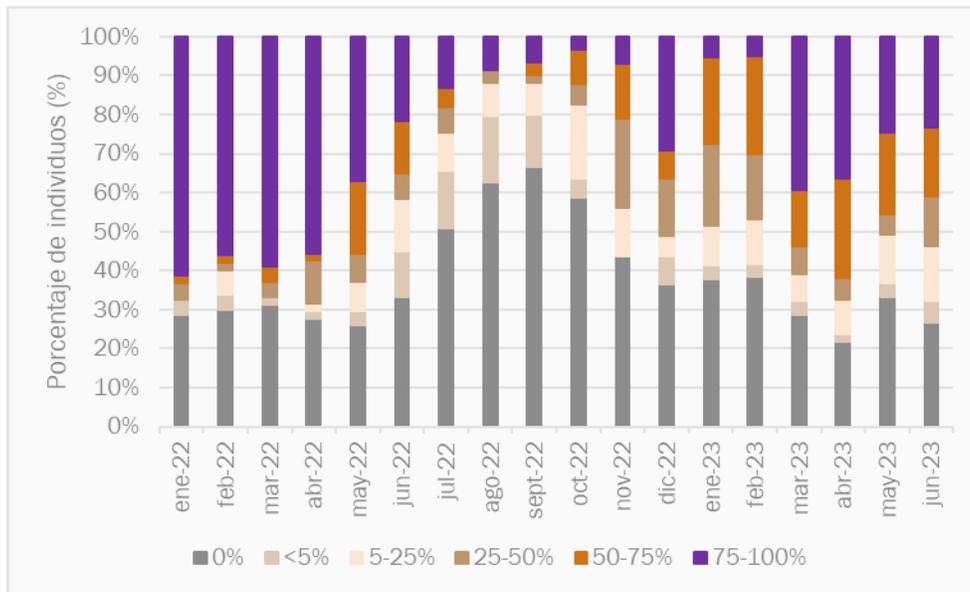
Figura 6-8. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia, 2023

La Figura 6-8 muestra la variación histórica (enero 2022 a junio 2023) en la vitalidad de la serie D. La categoría de copa viva 0% registró un promedio de $37,93\% \pm 13,34\%$ y el valor máximo se registró en septiembre 2022 con un $66,67\%$ (40 individuos). La categoría de copa viva entre 75-100% obtuvo un promedio de $27,32\% \pm 20,43\%$ y el valor máximo se reportó en enero 2022 con un $61,22\%$ (30 individuos). La categoría 50-75% registra un promedio de $11,34 \pm 8,72\%$, con un valor máximo de $25,45\%$ (15 individuos) en abril 2023. Las categorías entre 25-50% y 5-25% reportan promedios de $8,72\%$ y $8,71\%$ con desviaciones estándares de $6,30\%$ y $4,95\%$ respectivamente. Sus valores máximos fueron de $22,81\%$ (13 individuos) y $18,97\%$ (11 individuos) respectivamente. Finalmente, la categoría <5% reporta un promedio de $5,88\% \pm 4,91\%$ con un valor máximo de $16,95\%$ registrado en agosto 2022.

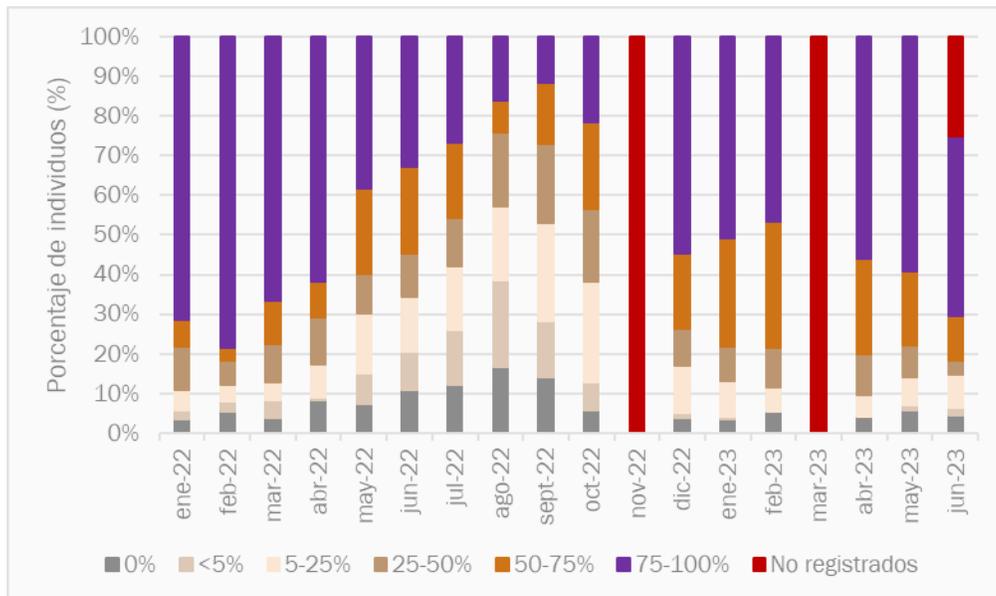
Figura 6-9. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia, 2023

La Figura 6-8 muestra la variación histórica (enero 2022 a junio 2023) en la vitalidad de la serie E. La categoría de copa viva entre 75-100% registró un promedio de 47,07% ± 21,57% y el valor máximo se registró en febrero 2022 con un 78,38% (116 individuos). La categoría 50-75% registró un promedio de 17,07% ± 8,20% con un valor máximo de 31,90% (52 individuos) registrado en febrero 2023. Las categorías 5-25% y 25-50% registran un promedio de 11,68% y 11,22% respectivamente, con valores máximos de 25,48% (40 individuos) y 19,75% (32 individuos) respectivamente. La categoría <5% registra un promedio de 5,60% ± 6,46% con un valor máximo de 21,74% (35 individuos) en agosto 2022.

Figura 6-10. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie E

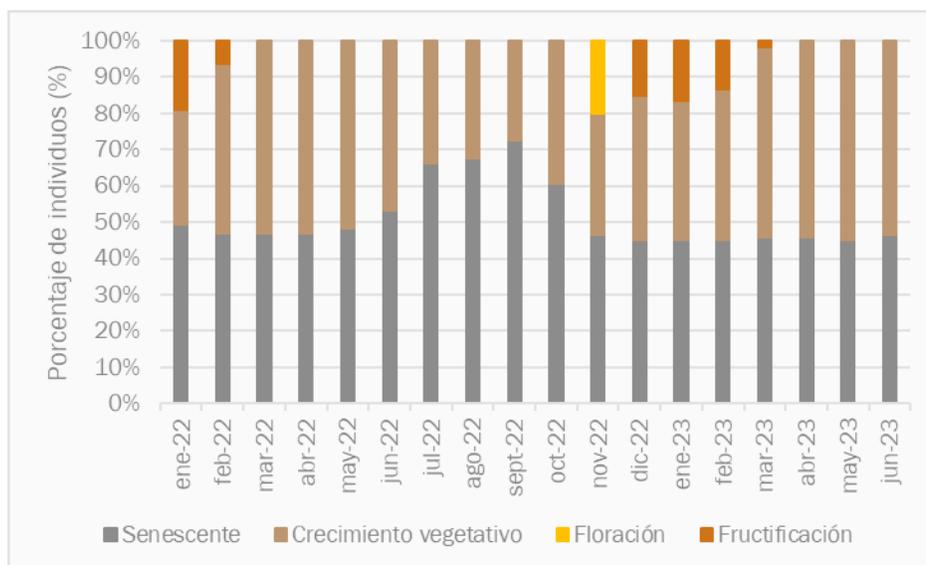


Fuente: Elaboración propia, 2023

6.1.3 Fenología

La variación histórica en el estado fenológico, en el caso de la serie A se muestran en la Figura 6-11. La categoría Senescente registra un promedio de $51,30\% \pm 8,97\%$ y tiene un valor máximo de $72,58\%$ (45 individuos) registrado en septiembre 2022. La categoría Crecimiento vegetativo registra un promedio de $43,58\% \pm 9,32\%$ con un valor máximo de $55,00\%$ (33 individuos) en mayo 2023. La categoría fructificación registra un promedio de $4,01\% \pm 6,85\%$ con un valor máximo de $19,05\%$ (12 individuos) reportado en enero 2022. Finalmente, la categoría Floración registra un promedio de $1,11\%$ y el valor máximo fue de $20,00\%$ (12 individuos) registrada en noviembre 2022.

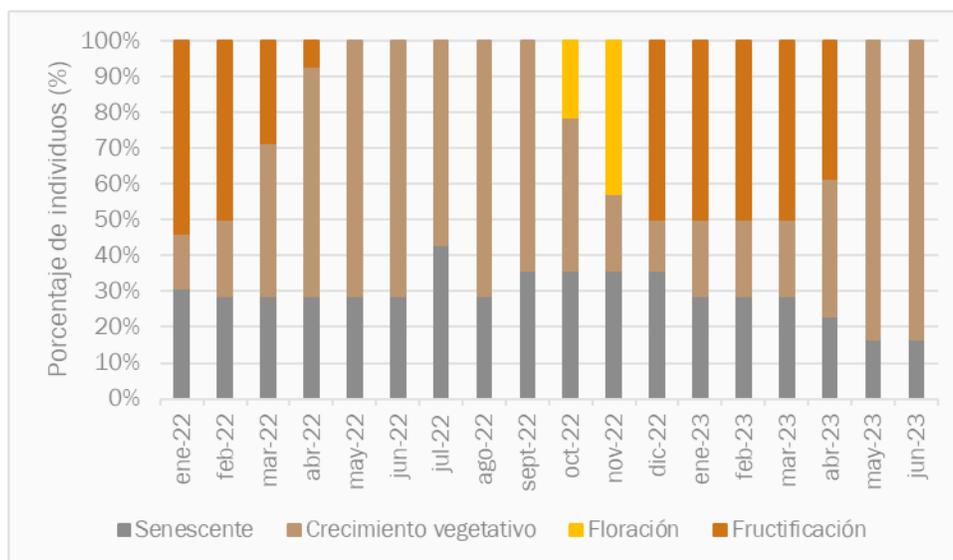
Figura 6-11. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia, 2023

La variación histórica en el estado fenológico, en el caso de la serie B se muestran en la Figura 6-112. La categoría Crecimiento vegetativo registra un promedio de 45,98% ± 24,92% con un valor máximo de 83,33% (10 individuos) en mayo 2023. La categoría Senescente registra un promedio de 29,45% + 6,48% con un valor máximo de 42,86% (12 individuos) reportado en julio 2022. La categoría Fructificación registra un promedio de 21,00% con un valor máximo de 53,85% (7 individuos) en enero 2022. La categoría Floración registra un promedio de 3,57% con un valor máximo de 42,86% (6 individuos) en noviembre 2022.

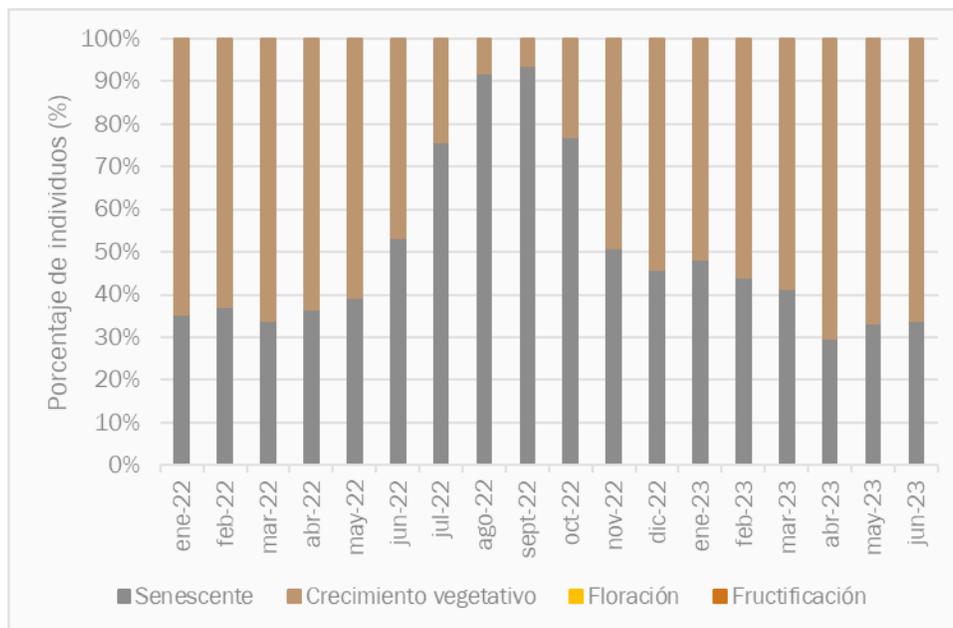
Figura 6-12. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: Elaboración propia, 2023

La variación histórica en el estado fenológico, en el caso de la serie C se muestran en la Figura 6-113. La categoría Senescente registra un promedio de 50,08% ± 20,39% con un valor máximo de 93,55% (58 individuos) en septiembre 2022. La categoría crecimiento vegetativo registra un promedio de 49,92% ± 20,39% con un valor máximo de 70,18% (40 individuos) en abril 2023. Los individuos de la serie C no registran individuos en categorías Floración ni Fructificación debido a que se trata en su totalidad de individuos juveniles y secos y, por lo tanto, no han alcanzado desarrollo reproductivo.

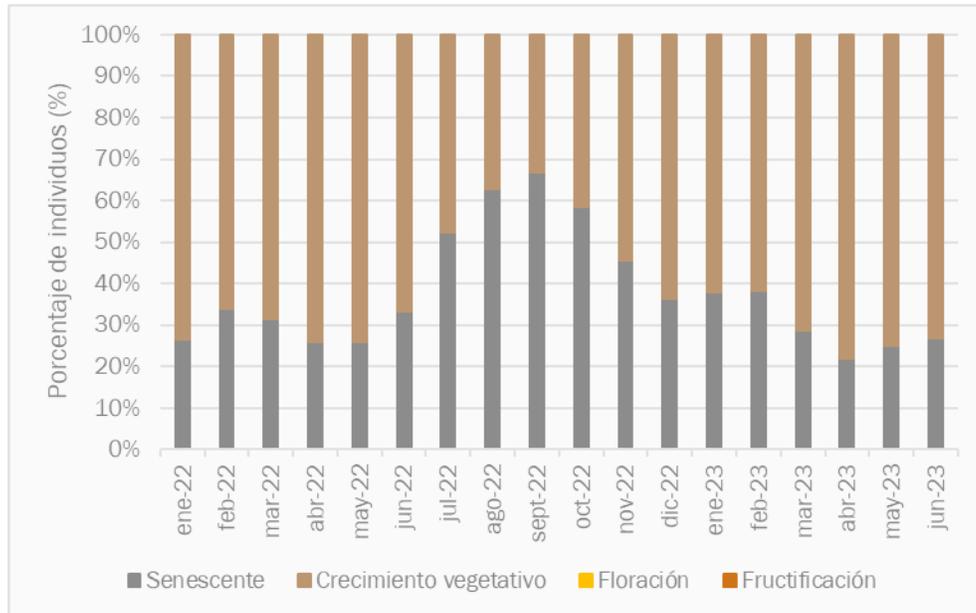
Figura 6-13. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia, 2023

La variación histórica en el estado fenológico, en el caso de la serie D se muestran en la Figura 6-114. La categoría Crecimiento vegetativo registra un promedio de 62,34% ± 13,88% con un valor máximo de 78,18% (43 individuos) en abril 2023. La categoría Senescente registra un promedio de 37,66% ± 13,88% con un valor máximo de 66,67% (40 individuos) en septiembre 2022. Los individuos de la serie D, al igual que los de la serie C, no registran individuos en categorías Floración ni Fructificación debido a que se trata en su totalidad de individuos juveniles y secos y, por lo tanto, no han alcanzado desarrollo reproductivo.

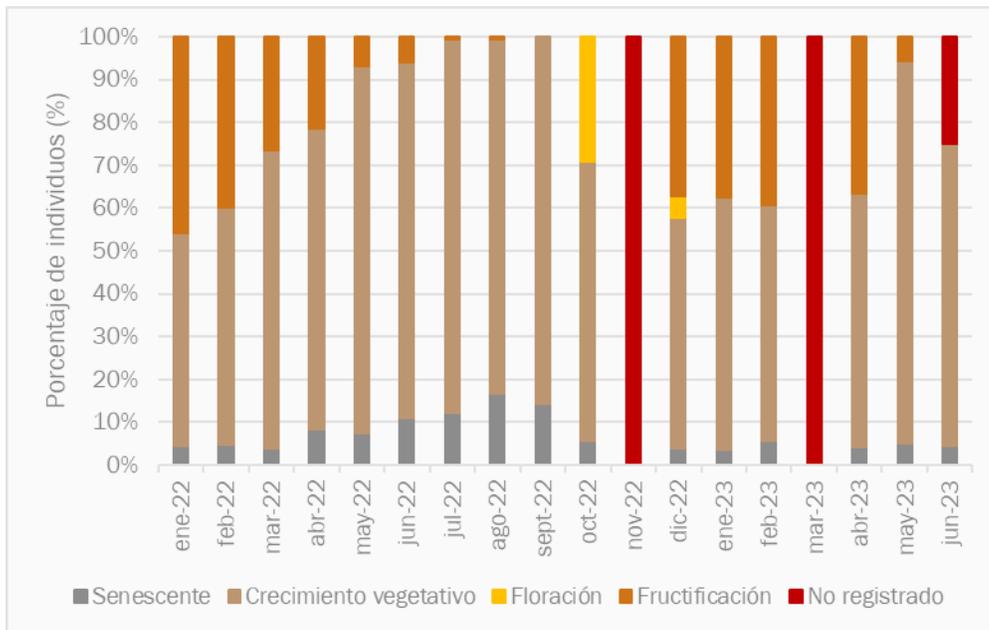
Figura 6-14. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia, 2023

La variación histórica en el estado fenológico, en el caso de la serie E se muestran en la Figura 6-115. La categoría Crecimiento vegetativo registra un promedio de $71,52\% \pm 14,84\%$ con un valor máximo de $89,29\%$ (125 individuos) en mayo 2023. La categoría Fructificación registra un promedio de $19,01\% \pm 17,84\%$ con un valor máximo de $45,99\%$ (63 individuos) en enero 2022. La categoría Senescente registra un promedio de $7,32\% \pm 4,17\%$ con un valor máximo de $16,77\%$ (27 individuos) en agosto 2022. Finalmente, la categoría Floración registra un promedio de $2,15\% \pm 7,83\%$ con un valor máximo de $29,30\%$ (46 individuos) en octubre 2022.

Figura 6-15. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie E



Fuente: Elaboración propia, 2023

La pérdida de follaje como respuesta a las condiciones ambientales asociadas a la temporada de invierno, es una situación fenológica normal para la especie *Neltuma alba* y se ha podido observar en las prospecciones realizadas mes a mes (ver Fotografía 6-1). Se ha evidenciado que poblaciones de otras especies de algarrobo (*Neltuma chilensis* y *Neltuma flexuosa*) pasan por una fase de senescencia foliar durante los meses de invierno debido a la disminución de la temperatura del aire y fotoperíodo, provocando la pérdida parcial y/o total del follaje (Arguello et al., 1992; Caro et al., 1997), por lo que la disminución de los individuos pertenecientes a las categorías con mayor proporción de copa verde, así como el aumento de individuos secos y sin presencia de follaje verde estaría dado por los procesos fenológicos propios de la especie y no debiera significar un deterioro a largo plazo de la vitalidad de los individuos. En efecto, se esperaría que la senescencia foliar de los individuos se mantuviera o aumentara durante los meses que dura el invierno (julio y agosto) y que, al aumentar temperaturas, en los meses siguientes se reactiven los procesos fenológicos de crecimiento vegetativo y posteriormente la floración durante los meses de octubre y noviembre, de acuerdo con lo que indica la bibliografía (Caro et al., 1997).

Fotografía 6-1. Pérdida de follaje debido a senescencia foliar en temporada de invierno



Árbol A-37 (Coordenadas UTM 598.698E 7.409.766N)
Mayo 2023



Árbol A-37 (Coordenadas UTM 598.698E 7.409.766N)
Junio 2023



Árbol C-07 (Coordenadas UTM 598.568E-7.409.678N)
Mayo 2023



Árbol C-07 (Coordenadas UTM 598.568E-7.409.678N)
Junio 2023

Fuente: Registro fotográfico en terreno, 2023

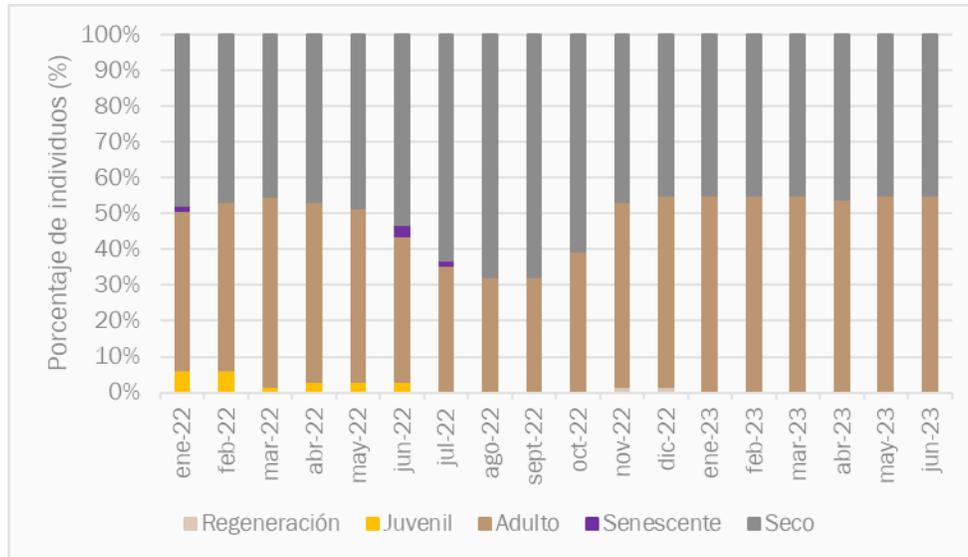
6.1.4 Etapa de crecimiento

La etapa de crecimiento de los individuos pertenecientes a las distintas series evaluadas se ha ajustado de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 4-9, los cuales se ajustaron considerando las particularidades morfológicas de los individuos prospectados. Su implementación implicó un cambio en la categorización de algunos individuos, sobre todo en aquellos pertenecientes a la serie C, dado que, se habían catalogado como regeneración durante un periodo prolongado de tiempo dada su baja altura. Estos cambios se abordan en los párrafos y figuras siguientes, para cada una de las series evaluadas.

Respecto a la variación histórica en la etapa de crecimiento vegetativo de la serie A, la categoría Seco obtuvo el mayor promedio con un valor de 50,53% ± 8,2%, con un valor máximo de 67,74% (42 individuos) reportado en septiembre 2022. La categoría Adulto registra un promedio de 47,59% ± 8,2%, con un valor máximo de

55,00% (33 individuos) en los meses de marzo 2022 y enero hasta junio 2023. La categoría juvenil reporta individuos entre enero 2022 (5 individuos) y junio 2022 (2 individuos), los que posteriormente cambiaron a categoría adulta, de acuerdo con un ajuste de criterio basado en las especificaciones de la Tabla 4-9. La categoría Senescente solo reporta dos registros en enero (A-08) y julio 2022 (AX-02), los que posteriormente cambiaron a etapa adulto.

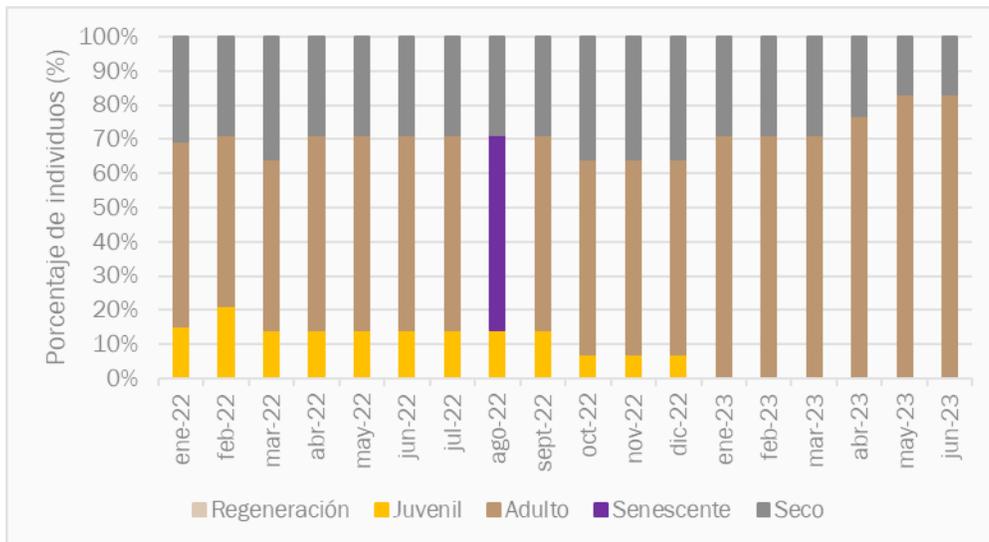
Figura 6-16. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la variación histórica en la etapa de crecimiento vegetativo de la serie B, la categoría Adulto obtuvo el mayor promedio con un valor de 59,38% ± 18,3%, con un valor máximo de 83,3% (10 individuos) reportado en mayo y junio 2023. La categoría Seco registra un promedio de 28,65% ± 5,5%, con un valor máximo de 35,71% (5 individuos) en los meses de marzo 2022 y entre octubre y diciembre 2022. La categoría juvenil solo reporta individuos durante el año 2022, registrando un promedio de 3,17% ± 13,5%, con un valor máximo de 21,43% (3 individuos) en febrero 2022. La categoría Senescente solo reporta datos en agosto 2022 con un 57,14 equivalente a 8 individuos.

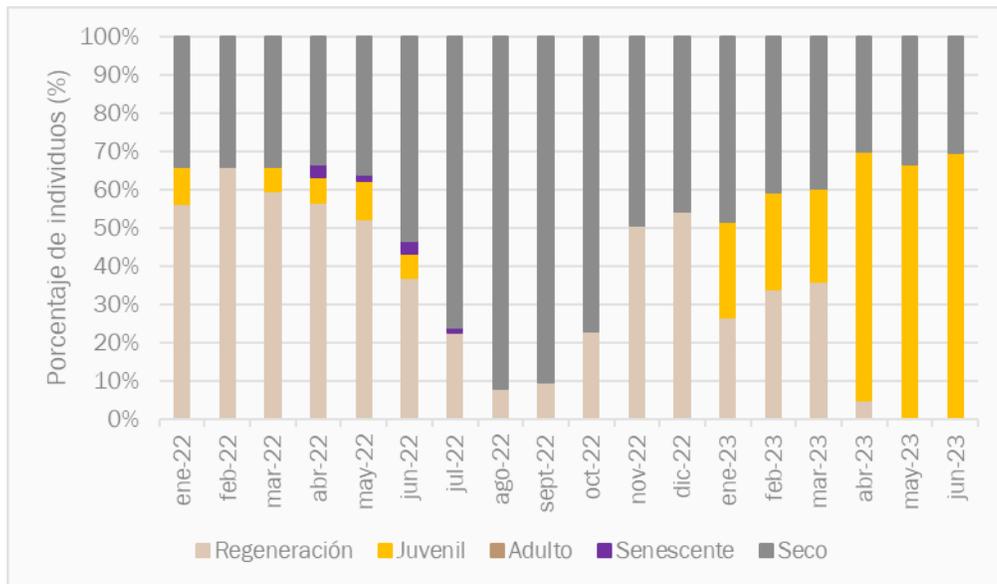
Figura 6-17. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la variación histórica en la etapa de crecimiento vegetativo de la serie C (ver Figura 6-18), la categoría Seco registra el mayor promedio con un valor de $48,69\% \pm 20,7\%$ con un valor máximo de $91,94\%$ (57 individuos) en agosto 2022. La categoría Regeneración registra un promedio de $33,27\% \pm 22,3\%$, con un valor máximo de $66,13\%$ (41 individuos) en febrero 2022. La categoría Juvenil registra un promedio de $17,49\% \pm 24,5\%$, con un valor máximo de $69,64\%$ (39 individuos) en junio 2023. La categoría Senescente solo reporta individuos entre abril y julio 2022, registrando un promedio de $0,55\% \pm 1,1\%$, con un valor máximo de $3,3\%$ (2 individuos) en abril 2022. Como se ha mencionado anteriormente, la disminución en el porcentaje de individuos en etapa de regeneración desde abril 2023 se debe a una actualización en la categoría de 60 individuos (20 individuos de la serie C, 22 individuos de la serie D y 18 individuos de la serie E) que se encontraban en etapa de regeneración (ver Fotografía 6-2). La actualización consideró el hecho que corresponden a individuos que llevan más de un año de establecimiento, con diámetros basales $>2,5$ cm y, además, presentan nudos en sus tallos asociados a crecimientos vegetativos de temporadas anteriores. Además, en la serie D, durante abril 2023, al menos un $29,41\%$ de los individuos reportados como secos en marzo 2023 cambió a etapa juvenil, situación que podría deberse a las condiciones climáticas favorables que se dieron luego de las precipitaciones reportadas en febrero y marzo 2023.

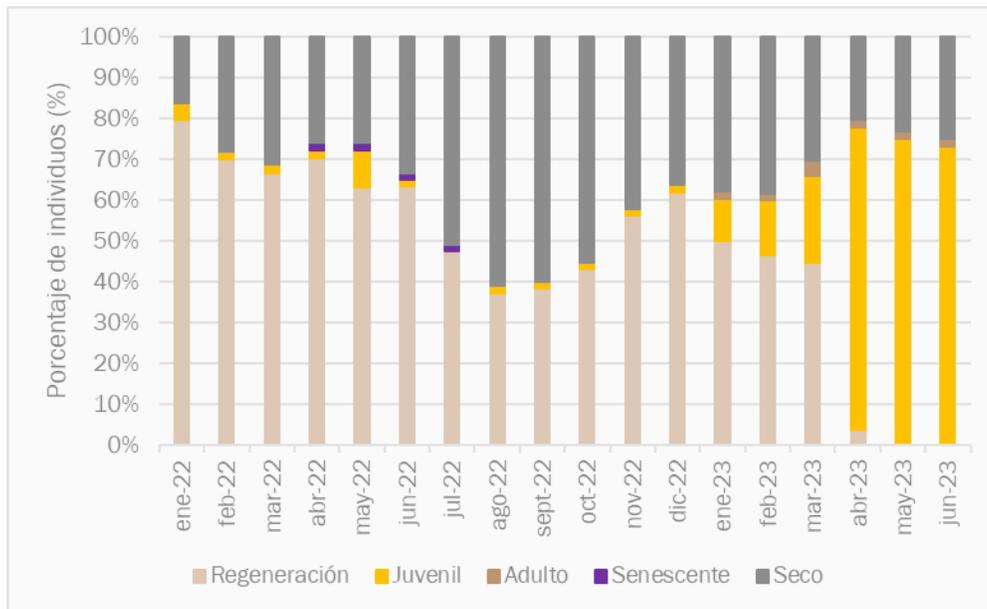
Figura 6-18. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia, 2023

Respecto a la variación histórica en la etapa de crecimiento vegetativo de la serie D (ver Figura 6-19), la categoría Regeneración registra el mayor promedio con un valor de $46,79\% \pm 24,1\%$ con un valor máximo de $79,59\%$ (39 individuos) en enero 2022. La categoría Seco registra un promedio de $35,64\% \pm 13,5\%$, con un valor máximo de $61,02\%$ (36 individuos) en agosto 2022. La categoría Juvenil registra un promedio de $16,49\% \pm 27,1\%$, con un valor máximo de $75,0\%$ (42 individuos) en mayo 2023. La categoría Adulto solo reporta individuos desde enero 2023, registrando un promedio de $0,69\% \pm 1,1\%$, con un valor máximo de $3,57\%$ (2 individuos) en marzo 2023. Al igual que la serie C, debido a la recategorización de individuos en etapa de regeneración a etapa juvenil, el porcentaje de individuos en regeneración disminuye considerablemente a partir del mes de abril 2023, mientras que el porcentaje de individuos en etapa juvenil aumenta.

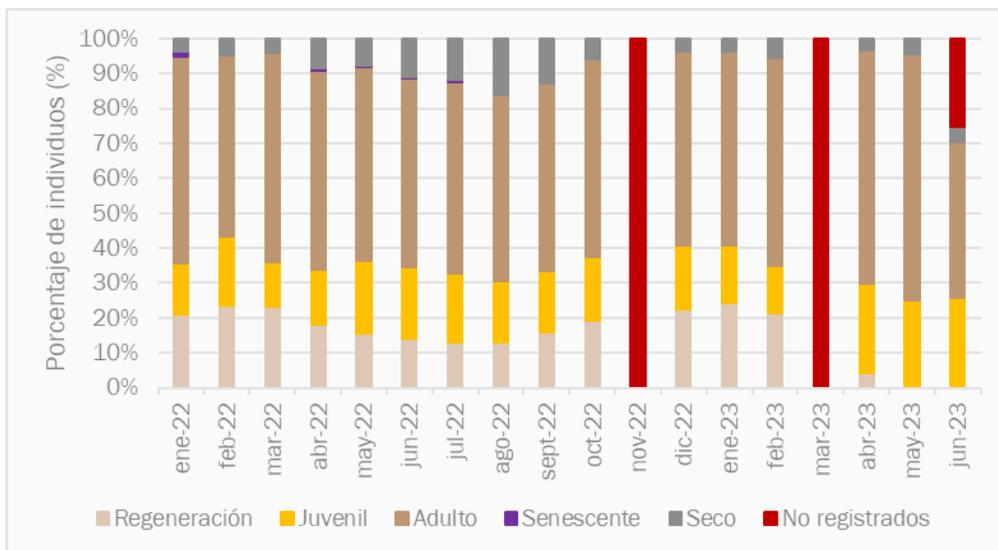
Figura 6-19. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia, 2023

La variación en la etapa de crecimiento de la serie E se muestra en la Figura 6-20. La categoría Adulto presenta el mayor promedio con un valor de $57,74\% \pm 4,63\%$, con un valor máximo de $70,71\%$ (99 individuos) en mayo 2023. La categoría Juvenil obtuvo un promedio de $19,38\% \pm 5,52\%$, con un valor máximo de $34,57\%$ (28 individuos) en junio 2023. La categoría Regeneración obtuvo un promedio de $15,60\% \pm 7,7\%$, con un valor máximo de $24,2\%$ (40 individuos) en enero 2023. La categoría Seco registra un promedio de $0,25\% \pm 0,45\%$, con un valor máximo de $1,46\%$ (2 individuos) en enero 2022.

Figura 6-20. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie E



Fuente: Elaboración propia, 2023

Fotografía 6-2. Recategorización etapa de crecimiento individuos serie C, D y E



C-03 (Coordenadas UTM 598117E - 7409483N)

Mayo 2022



C-03 (Coordenadas UTM 598117E - 7409483N)

Mayo 2023

Fotografía 6-2. Recategorización etapa de crecimiento individuos serie C, D y E



D58 (Coordenadas UTM 599249E - 7409977N)

Mayo 2022



D58 (Coordenadas UTM 599249E - 7409977N)

Mayo 2023



E-31 (Coordenadas UTM 605891E - 7411099N)

Mayo 2023



E-31 (Coordenadas UTM 605891E - 7411099N)

Mayo 2023

Fuente: Registro fotográfico en terreno, 2023

6.1.5 Afectación antrópica y/o natural

Desde el comienzo de los reportes mensuales del Plan de Cumplimiento se han observado algunos signos que evidencian el daño animal en varios ejemplares de *Neltuma alba* en la quebrada de Camar. Los signos que se observan principalmente son la presencia de fecas, huellas y desgarramiento de ramas. Esta última se define como ramoneo y es la principal evidencia de la presencia de burros en el área. En el caso de los renovales que sufren afectación por ramoneo, se observa la pérdida de la dominancia apical y la emisión de varios rebrotes en un mismo individuo, dando como resultado plantas con varios fustes (Donoso et al., 2013), y además, el proceso de desarrollo de sus estructuras vegetativas y reproductivas puede verse afectado, retrasados y/o inhibidos por estos factores como la interrupción del ciclo de fructificación (frutos sin la presencia

de semillas), la pérdida de follaje o el debilitamiento de individuos debido a los daños generados en la corteza de los mismos (Cruz, 1997), situación que se observa en la mayoría de los individuos correspondientes a las series C y D.

Al analizar la afectación animal desde enero de 2023 en las distintas series, se observa que en la serie A, el promedio de afectación animal para la serie A es de 44,73%, mientras que el valor máximo de afectación fue reportado en el mes de mayo con un 57,63% (34 individuos). Respecto a la serie B, se observa el mismo número de individuos con afectación en mayo y junio 2023, siendo la serie que presenta el mayor porcentaje de individuos con ramoneo en relación con el número total de individuos (83,33%). Respecto a la serie C, el valor máximo de afectación fue reportado en el mes de abril con un 77,97%, mientras que el promedio fue de 44,40%. Respecto a la serie D, se reporta un promedio de 44,87%, mientras que, el valor máximo reportado fue en el mes de abril con un 81,48%. Finalmente, en la serie E, el valor máximo de afectación fue de 61,74% y también se reportó en abril.

En el caso de las series C, D y E, existe una relación directa entre el porcentaje de individuos con copa viva en rango 75-100% y el porcentaje de individuos ramoneados. En el caso de la serie C, el 35,09% (20 individuos) presentan copa viva entre 75-100%, de los cuales todos presentan signos de ramoneo. En la serie D, el 36,36% de los individuos presenta copa viva 75-100% (20 individuos), de los cuales todos presentan signos de ramoneo. Finalmente, en la serie E, el 55,86% (81 individuos) presenta copa viva entre 75-100%, de los cuales, 50 individuos presentan signos de ramoneo.

Fotografía 6-3. Afectación animal – primer semestre 2023



A-37 (Coordenadas UTM 598698E - 7409766N)

Junio 2023



D-16 (Coordenadas UTM 598562E - 7409705N)

Junio 2023

Fuente: Registro fotográfico terreno, junio 2023

Respecto a la afectación antrópica, en general los promedios no superan el 6,0% de individuos con afectación. Sin embargo, el promedio más alto de afectación se registra en la serie E ($19,26\% \pm 20,23\%$). Cabe destacar que la serie E registra los valores más altos de afectación debido principalmente a la ubicación de los individuos dentro del poblado de Camar, los que suelen estar más cercanos a caminos y ser susceptibles a sufrir intervenciones no programadas lo cual es llevado a cabo por los propios comuneros (ver Fotografía 6-4).

Fotografía 6-4. Afectación antrópica – primer semestre 2023



E-02 (Coordenadas UTM 605.751 E - 7.411.098 N)

Mayo 2023



E-23 (Coordenadas UTM 604.555 E - 7.411.161 N)

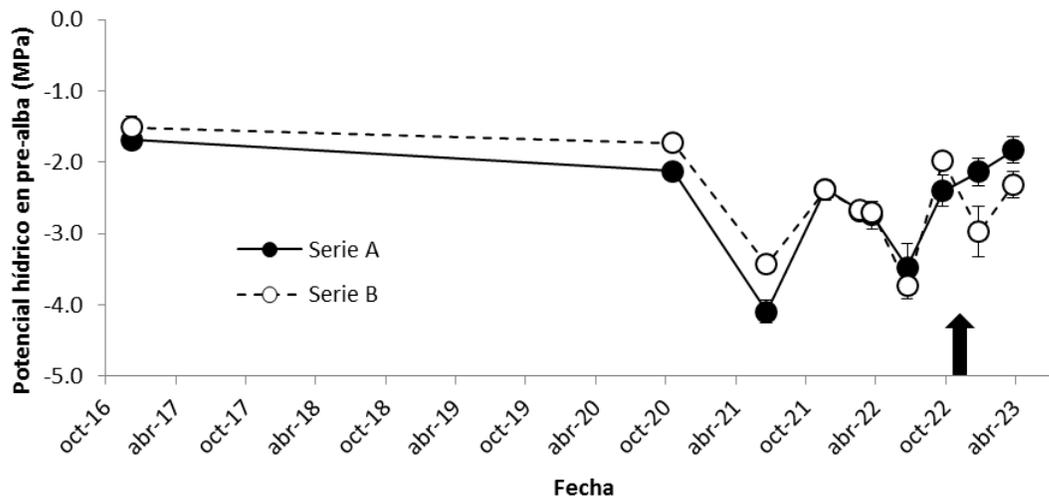
Mayo 2023

Fuente: Registro fotográfico terreno, mayo 2023

6.1.6 Fisiología de algarrobos

En la Figura 6-21 se observa la evolución en el tiempo (desde noviembre de 2016 hasta abril de 2023) del potencial hídrico en pre-alba en los árboles de la serie A y B. Se observa que en los meses de julio (2021 y 2022) se presentan los valores más bajos de potencial (inferiores a $-3,0$ MPa), tanto para la serie A como para la serie B. Por otro lado, antes de la aplicación de riego (diciembre 2022) la serie B alcanzó valores superiores o similares a los de la serie A, mientras que, en las últimas dos campañas, con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores a los de la serie B.

Figura 6-21. Variación histórica del potencial hídrico en pre-alba para árboles de las series A y B *

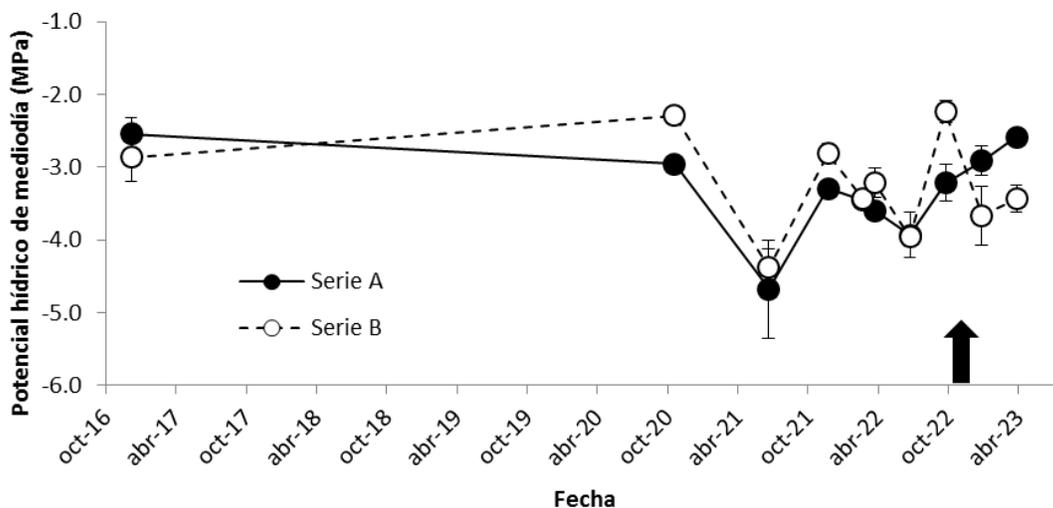


*Las barras verticales representan el error estándar de la media. La flecha representa el inicio de la aplicación de riego en los árboles de la serie A.

Fuente: Informe de estado hídrico en algarrobo de la Quebrada de Camar, Anexo 11

La Figura 6-22 muestra la variación histórica del potencial hídrico de mediodía en los árboles de la serie A y B. Al igual que en el potencial hídrico en pre-alba, se aprecia que en los meses de julio (2021 y 2022) se presentan valores más bajos de potencial de cada año (en 2021 alcanzan valores inferiores a los -4,0 MPa), tanto para la serie A como para la serie B. Por otro lado, antes de la aplicación de riego la serie B alcanza valores superiores o similares a los de la serie A, mientras que, en las últimas dos campañas, con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores a los de la serie B.

Figura 6-22. Variación histórica del potencial hídrico de mediodía para árboles de las series A y B

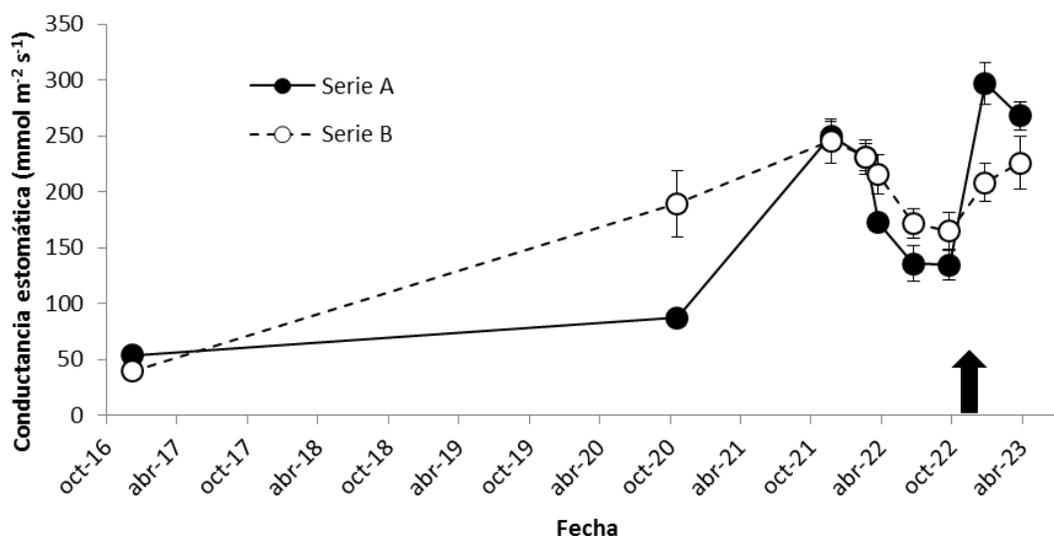


Fuente: Informe de estado hídrico en algarrobo de la Quebrada de Camar, Anexo 11

Al observar la conductancia estomática en abril de 2023 no se encontraron diferencias entre las series A y B-C, ni entre individuos con y sin riego, ni entre individuos aguas arriba y abajo de la tubería, contrario a lo observado en la campaña de enero 2023, donde los individuos de la serie B-C y sin riego alcanzaron valores más bajos. Esta ausencia de diferencias se debe a que en la campaña abril de 2023, los árboles con riego (serie A) disminuyeron su valor de conductancia estomática, mientras que los árboles sin riego aumentaron su valor, respecto de la campaña enero de 2023.

Al analizar la variación histórica en la conductancia estomática en los árboles de la serie A y B (Figura 6-23), se observa que antes de la aplicación de riego, la serie B alcanzó valores superiores o similares a los de la serie A (durante 2021 y 2022), mientras que, en las últimas dos campañas (enero y abril de 2023), con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores a los de la serie B.

Figura 6-23. Variación histórica de la conductancia estomática para árboles de las series A y B



Fuente: Informe de estado hídrico en algarrobo de la Quebrada de Camar, Anexo 11

En general, al analizar la dinámica temporal de las variables medidas, se observa un patrón similar en el potencial hídrico en pre-alba y mediodía, donde los valores obtenidos en los meses de julio son los más bajos de cada año, tanto para la serie A como para la serie B. Este cambio temporal de potenciales coincide con lo evaluado en *Strombocarpa tamarugo*, donde se observa un patrón de menor potencial hídrico de pre-alba en la época de invierno, y un mayor valor en la época estival (SAP, 2021). Por otro lado, se observa un efecto de la aplicación del riego, ya que previo a esta aplicación, los valores de potencial hídrico y conductancia estomática de la serie B eran superiores o similares a los de la serie A. Posteriormente, iniciado el riego en los árboles de la serie A, estos alcanzaron valores superiores a la serie B en las tres variables medidas.

6.1.7 Biomasa de algarrobos

Los resultados del estudio de estimación de biomasa aérea en individuos de algarrobos dan cuenta que se trata en su mayoría de árboles con más de un fuste (plurifustales) y varias ramas principales. En la campaña de enero de 2023, una gran proporción de los individuos censados (69,30% del total) presentó algún nivel

de vitalidad en sus fustes y sólo el 30,70% de estos (59 individuos) se registró seco. En la campaña de abril de 2023, el 73,00% de los individuos censados presenta algún nivel de vitalidad en sus fustes y sólo un 27,00% de estos (51 individuos) se registró seco.

En enero de 2023, gran parte de estos (79,00%) se concentran en las clases diamétricas de menor tamaño (< 5 cm), presentando alturas medias que no superan los 50 cm. En contraste, los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) sólo representa el 6,30% y pueden alcanzar hasta los 6,6 m de altura, lo cual indica que la estructura de la población se concentraría en individuos jóvenes o de poco desarrollo y con una alta capacidad de retoñación. Por su parte, en la campaña de abril de 2023, el (82,00%) se concentró en las clases diamétricas de menor tamaño (< 5 cm), presentando alturas medias que no superan los 50 cm. En contraste, los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) sólo representa el 7,40% y pueden alcanzar hasta los 7 m de altura, lo cual indica que la estructura de la población se concentraría en individuos jóvenes o de poco desarrollo y con una alta capacidad de retoñación, estructura que se ha mantenido constante en el periodo analizado.

Los valores de biomasa aérea en ambas campañas (enero y abril de 2023) se encuentran entre los rangos reportados por otros autores para *P. pallida* (Padrón y Navarro 2004); *P. juniflora* (Birhane et al., 2017). Los valores de biomasa de los individuos de menor tamaño (<2,5 cm Dbe) se encuentran cercanos a lo reportado por Felker et al., (1989) para *P. alba* y por Aronson et al., (2002) para *P. alba* y *P. chilensis*. Sin embargo, los valores de ambos estudios provienen de plantaciones de estas especies. Es importante señalar, que los valores de biomasa constituyen una aproximación a los valores reales de biomasa. Esto debido a que proviene de valores promedios de distintas funciones disponibles en la bibliografía estadísticamente seleccionadas, y no de un muestreo destructivo particular para la construcción de funciones locales de biomasa para la población en estudio. La distribución porcentual de la biomasa aérea leñosa de los individuos (29,6% corresponde al fuste, 62,4% a ramas) se encuentran entre lo reportado para el género *Prosopis* (Aronson, et al., 2002; Padrón y Navarro 2004, Khan, et al., 2011).

Los resultados de la campaña de abril de 2023 indican que existe un incremento en la media del diámetro basal equivalente (1,2 cm) y en área basal acumulada (0,4767 m² al año), pero una leve disminución en las alturas medias calculadas para la población entre los años 2022 y 2023, lo cual daría cuenta de un crecimiento de los árboles. Además, los árboles registran un aumento en la biomasa de ramas (438,8 kg) y biomasa aérea Total (206,3 kg), pero una disminución de la biomasa para las componentes Fustes (111,4 kg) y Hojas (103,5 kg), siendo significativos los cambios en particular para el último periodo analizado (enero 2023-abril 2023) y en las Series C y D.

Si bien las magnitudes registradas son superiores a lo reportado en la medición anterior (enero 2023), con cambios que rondan entre un 4,00% a un 46,00%, es importante señalar que estas variables al ser propias de un modelamiento son altamente sensibles a errores instrumentales que pueden ser causados por perturbaciones naturales frecuente en estos ecosistemas, como por ejemplo el enterramiento o desenterramiento de los árboles por arrastre de arena, que hace variar muchas veces las alturas (no marcadas en el individuo) donde se realizan las mediciones de los diámetros basales principalmente.

La proporción de individuos con fruto reportada en la campaña de abril 2023 es baja (2,10% de la población), lo que sumado a una drástica disminución en la cantidad de frutos (de 628,0 a sólo 8 vainas por árbol en promedio), indicaría más bien a que estos corresponden a frutos que persisten en el árbol una vez terminado

el peak de fructificación de la población. La acumulación de información en el tiempo permitirá determinar de mejor forma el ciclo fenológico relacionado a la producción de frutos. Por otro lado, la producción de frutos se concentra en árboles de la Serie B, que presentan un mayor desarrollo en diámetro basal equivalente y de volumen de copa, lo cual indicaría una relación entre el tamaño o desarrollo de los individuos (como indicador de la edad) y su capacidad de fructificación.

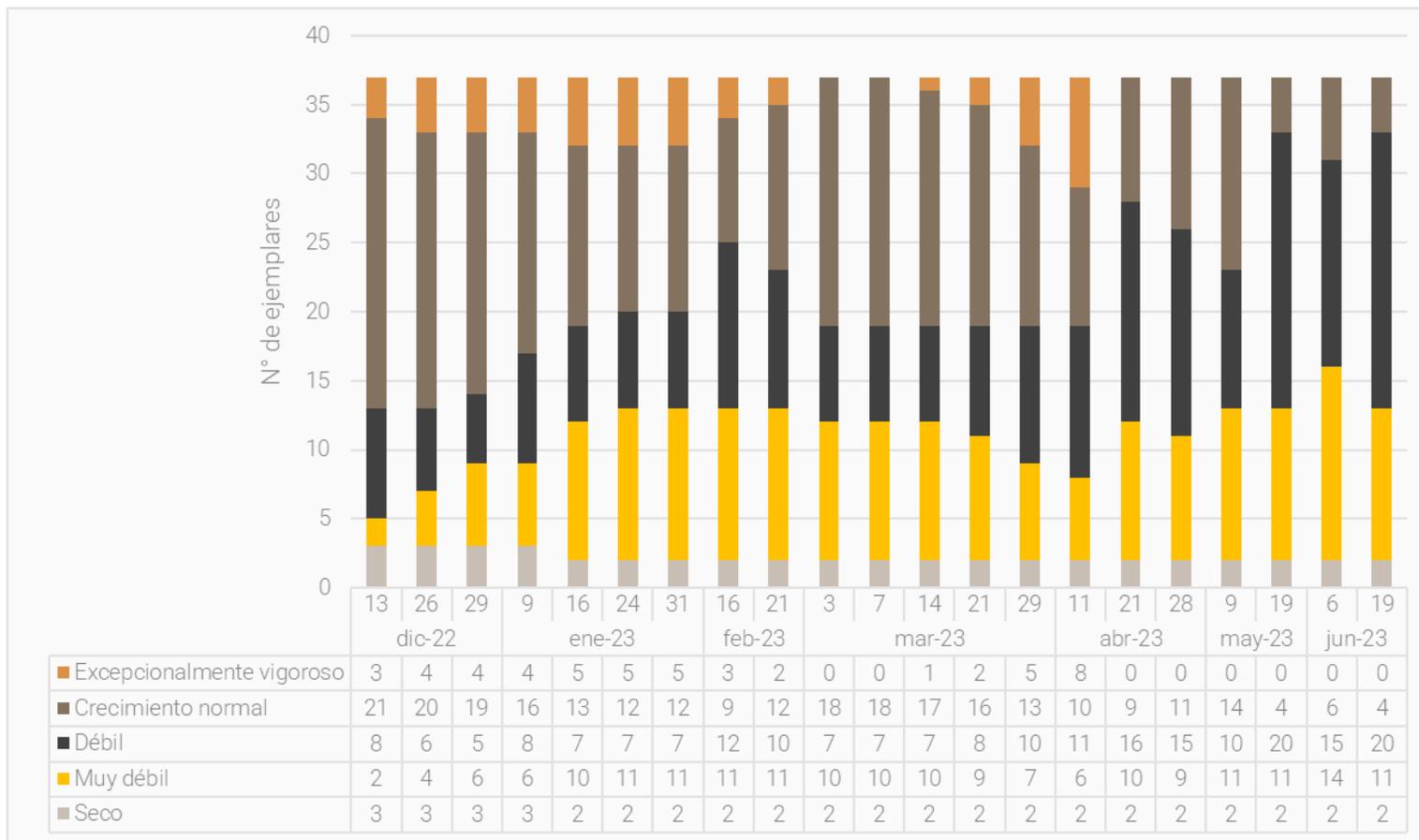
6.2 Evaluación de ejemplares de *Neltuma alba* (algarrobos) con sistema de riego

Se ha evaluado la vitalidad y porcentaje de copa viva de 37 ejemplares de algarrobo sometidos a riego a partir del 21 mediciones realizadas entre diciembre de 2022 y junio de 2023. Se presenta la evolución temporal de estos parámetros para dicho periodo. Cada uno de los 21 reportes de riego se exponen en el Anexo 8 del presente informe.

6.2.1 Vitalidad

Los ejemplares secos se han mantenido relativamente constantes durante las prospecciones realizadas entre 2022 y 2023, se aprecia que durante las 3 campañas de diciembre 2022 y la primera del 2023 (9 de enero), se registraron 3 individuos secos y a partir de la segunda campaña del 2023 (16 de enero), este número bajó a 2 ejemplares, los cuales se mantienen hasta los monitoreos de junio. Los ejemplares muy débiles muestran un mínimo de 2 ejemplares (registrados en la campaña del 13 de diciembre 2022), mientras que el máximo alcanzó 14 individuos en la campaña del 06 de junio 2023. Los resultados indican un aumento de los ejemplares muy débiles en el periodo, lo cual es concordante con la estacionalidad, ya que se observa un aumento hacia los meses de receso vegetativo (temporada invernal). El efecto de la estacionalidad se vuelve más evidente al analizar los ejemplares débiles, donde el mínimo equivalente a 5 individuos se registra en la campaña del 29 de diciembre de 2022. Mientras que el máximo, llega a 20 individuos registrados en las campañas del 19 de mayo y 19 de junio. Por otra parte, los individuos con crecimiento normal muestran un comportamiento opuesto, donde los máximos se registran en las épocas más favorables (meses de verano y principios de otoño), específicamente en la prospección del 13 de diciembre 2022, donde se registraron 21 individuos en esta categoría. Mientras que el mínimo se registró en las campañas de 19 de mayo y 19 de junio con solo 4 ejemplares. Por otra parte, los individuos excepcionalmente vigorosos se presentan de forma más aislada, donde el máximo se registró en la campaña del 11 de abril con 8 ejemplares, mientras que el mínimo llega a 0 individuos en las campañas del 3 y 7 de marzo, 21 y 28 de abril, y en todas las campañas de mayo y junio.

Figura 6-24. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego



* Los números en la tabla corresponden a la cantidad de ejemplares por categoría de vigor Fuente: GMA, 2022 y 2023

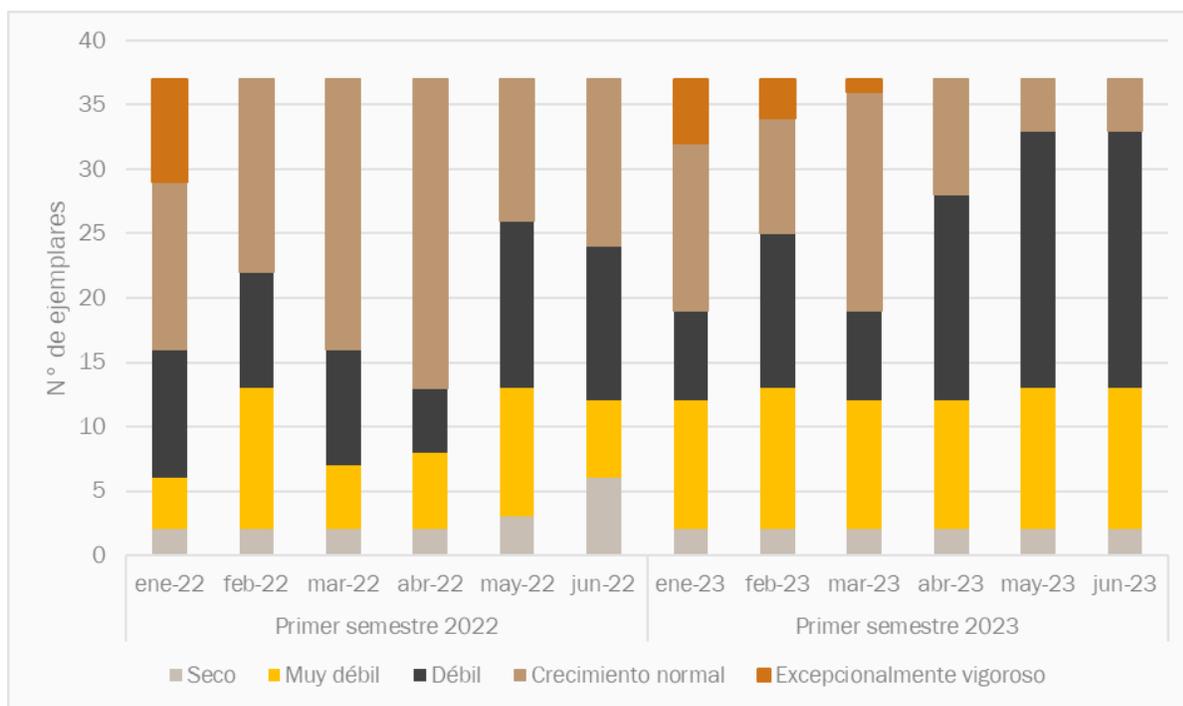
Fuente: Elaboración propia, 2023

6.2.1.1 Evaluación de los árboles bajo sistema de riego respecto al primer semestre del año 2022

Para evaluar la vitalidad de los ejemplares bajo sistema de riego, se ha comparado este parámetro con los datos colectados durante el primer semestre del 2022 (Figura 6-25). En general se observa que en el primer semestre del 2022 (situación sin riego), la cantidad de ejemplares en cada categoría de vigor es variable mes a mes, observándose un aumento de los ejemplares secos hacia la época de receso vegetativo de las plantas, mientras que en el primer semestre del 2023 (situación con riego), los ejemplares secos se mantienen en 2 individuos durante todo el semestre. Ocurre una situación similar con la cantidad de ejemplares muy débiles, donde la situación sin riego muestra una alta variabilidad mes a mes, mientras que la situación con riego muestra que estos ejemplares varían entre 10 a 11 ejemplares durante todo el periodo con riego.

En las categorías de vigor Débil, Crecimiento normal y Excepcionalmente vigoroso, se observa que en el primer semestre del 2022 (situación sin riego), la cantidad de ejemplares en estas categoría de vigor es variable mes a mes, situación que se mantiene durante el primer semestre 2023 (situación con riego), pero mostrando un comportamiento de la vegetación que se asocia a los cambios estacionales propios de la especie, donde los individuos débiles aumentan hacia la época invernal y los individuos con crecimiento normal y excepcionalmente vigorosos aumentan durante el verano.

Figura 6-25. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego

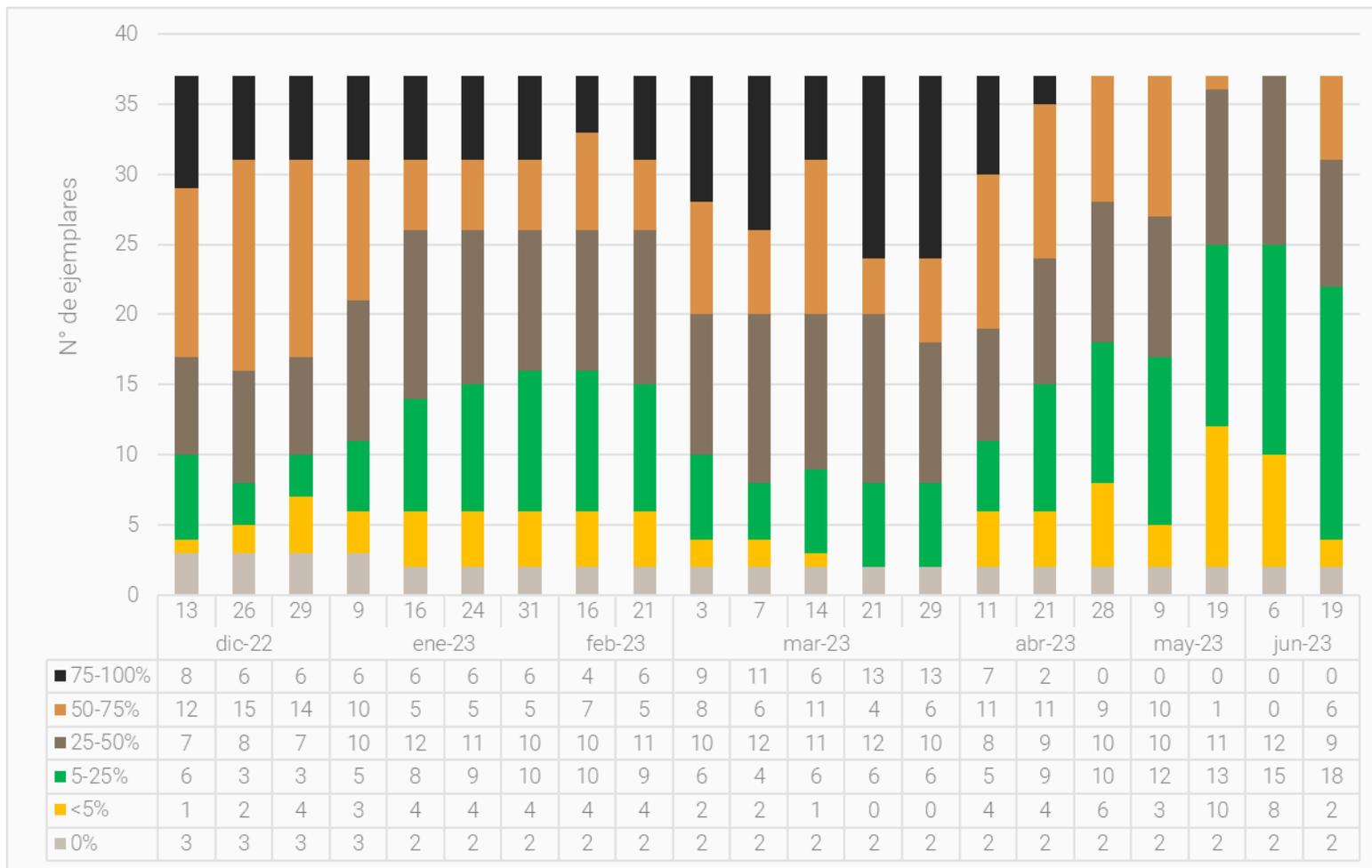


Fuente: Elaboración propia, 2023

6.2.2 Porcentaje de copa viva

Tal como se mencionó en la sección anterior, los ejemplares secos o con 0% de copa viva se han mantenido relativamente constantes durante las prospecciones realizadas entre 2022 y 2023, se aprecia que durante las 3 campañas de diciembre 2022 y la primera del 2023 (9 de enero), se registraron 3 individuos secos y a partir de la segunda campaña del 2023 (16 de enero), este número bajó a 2 ejemplares, los cuales se mantienen hasta los monitoreos de junio 2023. Los ejemplares con copa <5% muestran un mínimo de 0 ejemplares (registrados en las campañas del 21 y 29 de marzo 2023), mientras que el máximo alcanzó 10 individuos en la campaña del 19 de mayo 2023. Los resultados indican un aumento de los ejemplares con <5% de copa viva en el periodo, lo cual es concordante con la estacionalidad, ya que se observa un aumento hacia los meses de receso vegetativo (temporada invernal). Los efectos de la estacionalidad son más notorios al analizar los ejemplares con copa viva entre 25-50%, donde el mínimo equivalente a 3 individuos se registra en la campaña del 26 y 29 de diciembre 2022, mientras que el máximo, llega a 18 individuos registrados en la campaña del 19 de junio 2023. Los individuos con copa viva entre 25-50% muestran un comportamiento relativamente estable en el tiempo, con una leve tendencia al alza, el mínimo se registró en las campañas del 13 y 29 de diciembre 2022 con 7 individuos, mientras que el máximo se registró en las campañas del 16 de enero, 7 y 21 de marzo y 6 de junio. Al observar la categoría 50-75% se aprecia una alta variación entre monitoreos y una leve tendencia a la baja; el valor mínimo se registró en la campaña del 6 de junio donde no se registraron individuos con esta categoría, mientras que el valor máximo se registró en la campaña del 26 de diciembre 2022 con 15 individuos. Respecto a los ejemplares con copa viva de 75-100% se aprecia que los máximos se registran en las épocas favorables (13 ejemplares registrados en las campañas del 21 y 29 de marzo), mientras que los mínimos se registraron en la época invernal (0 ejemplares con esta categoría a partir del monitoreo del 29 de abril hasta el 19 de junio).

Figura 6-26. Evolución del porcentaje de copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego



* Los números en la tabla corresponden a la cantidad de ejemplares por categoría de copa viva. Fuente: GMA, 2022 y 2023

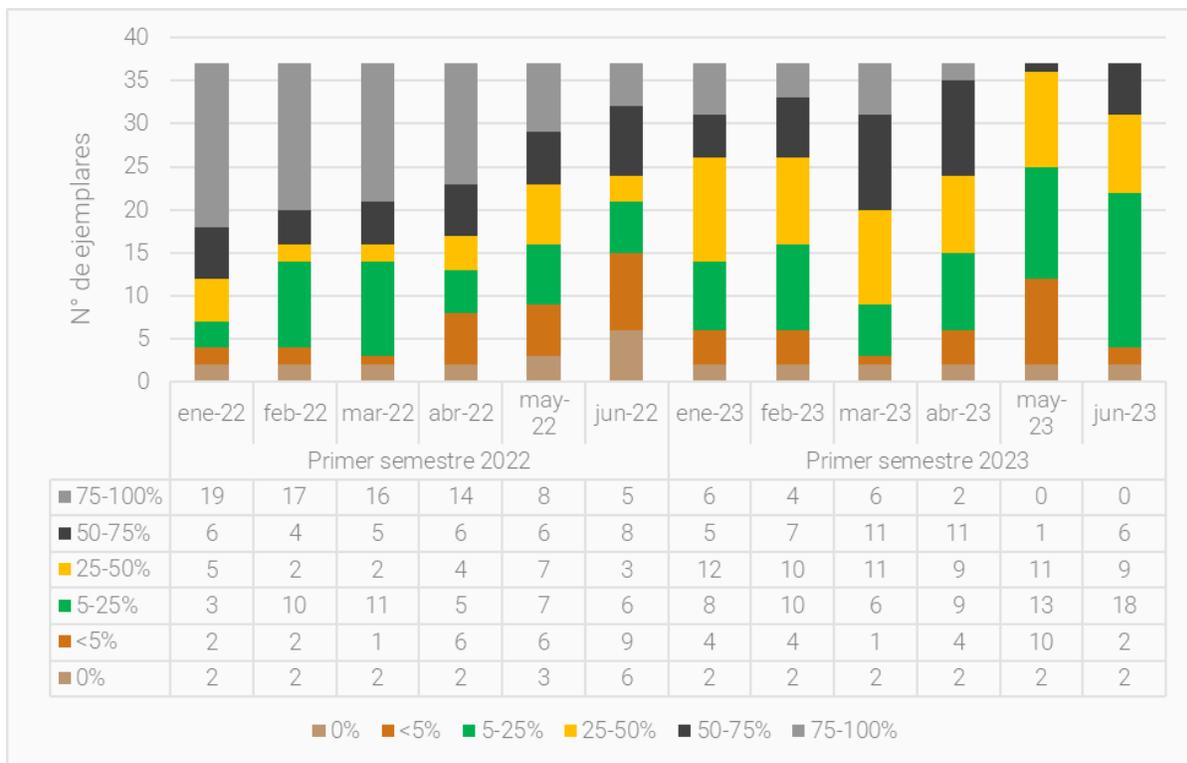
Fuente: Elaboración propia, 2023

6.2.2.1 Evaluación de los árboles bajo sistema de riego respecto al primer semestre del año 2022

Para evaluar el porcentaje de copa viva de los ejemplares bajo sistema de riego, se ha comparado este parámetro con los datos colectados durante el primer semestre del 2022 (Figura 6-25). En general se observa que en el primer semestre del 2022 (situación sin riego), el follaje de los individuos se muestra sensible a las condiciones ambientales propias de la estacionalidad en el periodo, dado que a medida que se acerca el receso vegetativo, la copa muestra una respuesta inmediata, al disminuir su volumen, lo que se traduce en un aumento de los individuos sin copa y con follaje <5%, y una disminución de los individuos con mayor proporción de copa viva.

Esta situación se vuelve menos evidente al evaluar el periodo con riego, donde los ejemplares sin copa se mantienen en 2 individuos durante todo el primer semestre del 2023 y los individuos con copa viva <5% no muestran una tendencia al aumento hacia el periodo de receso vegetativo. Se observa que los ejemplares mantuvieron algún grado de copa viva (proporción de árboles en las categorías 5-25%, 25-50% y 50-75%), durante todo el primer semestre del 2023, incluso en la época de receso vegetativo.

Figura 6-27. Evolución del porcentaje de copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego



Fuente: Elaboración propia, 2023

6.3 Vegetación

6.3.1 Superficie

La superficie de la Quebrada de Camar presenta variaciones en el tiempo. Tal como se observa en la Figura 6-28, la variación en el tiempo (abril 2021 a abril 2023) del matorral de *Tessaria absinthioides* reporta un promedio de 244,82 ha \pm 9,86 ha con un valor máximo de 257,84 ha reportado en abril 2023. A su vez, este matorral representa en promedio un 58,98% \pm 1,39% de la superficie total cubierta de matorrales de la Quebrada de Camar.

El matorral de *Tiquillia atacamensis* registra un promedio de 114,97 ha \pm 2,92 ha, y el valor máximo registrado es de 117,7 ha en los meses de abril 2021 y enero 2022. Este matorral representa en promedio un 27,73% de la superficie total de matorrales.

El matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* registra un promedio de 22,79 ha \pm 3,39 ha con un valor máximo de 29,55 ha reportado en abril 2023. Este matorral representa en promedio un 5,49% de la superficie total cubierta de matorrales de la Quebrada.

El matorral de *Aloysia deserticola* registra un promedio de 32,45 ha \pm 9,76 ha, y registra un valor máximo de superficie de 41,40 ha reportado en octubre 2022 y enero 2023. Este matorral representa en promedio un 7,79% de la superficie total cubierta por matorrales.

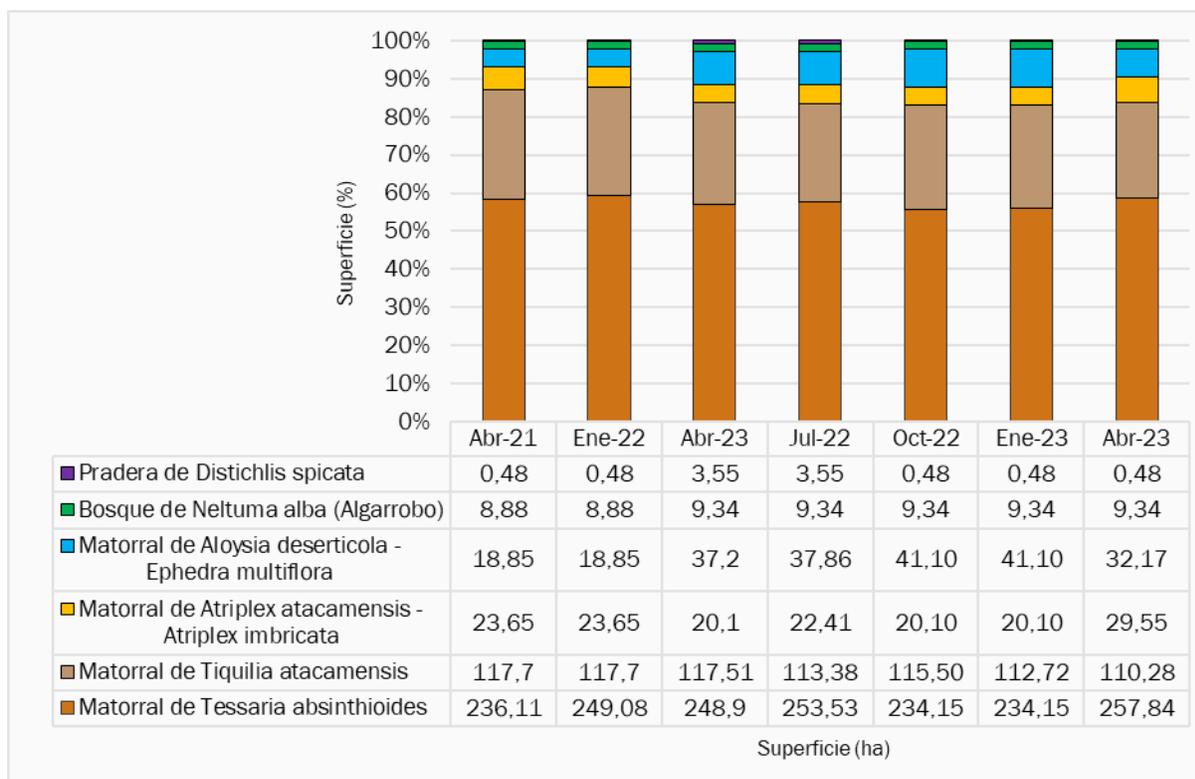
Las superficies de Bosque de *Neltuma alba* y pradera de *Distichlis spicata* registran un promedio de 9,21 ha \pm 0,22 ha y 1,36 ha \pm 1,50 ha respectivamente. Estas superficies cubiertas de vegetación no presentan mayores variaciones en el tiempo.

Tabla 6-1. Variación histórica de superficie de matorrales en la quebrada

Matorral	Superficie (ha)						
	Abri-21	Ene-22	Abr-22	Jul-22	Oct-22	Ene-23	Abr-23
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	236,11	249,08	248,9	253,53	234,15	234,15	257,84
Matorral de <i>Tiquillia atacamensis</i>	117,7	117,7	117,51	113,38	115,50	112,72	110,28
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i> - <i>Atriplex imbricata</i>	23,65	23,65	20,1	22,41	20,10	20,10	29,55
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> - <i>Ephedra multiflora</i>	18,85	18,85	37,2	37,86	41,10	41,10	32,17
Total superficie Matorrales	396,31	409,28	423,71	427,18	410,85	408,07	429,84

Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 6-28. Evolución de la superficie de las formaciones vegetacionales presentes en la quebrada de Camar



(*) Porcentaje de hectáreas calculado en relación al total de superficie cubierta por matorrales (sin considerar Bosque de Neltuma alba ni Pradera de Distichlis spicata).

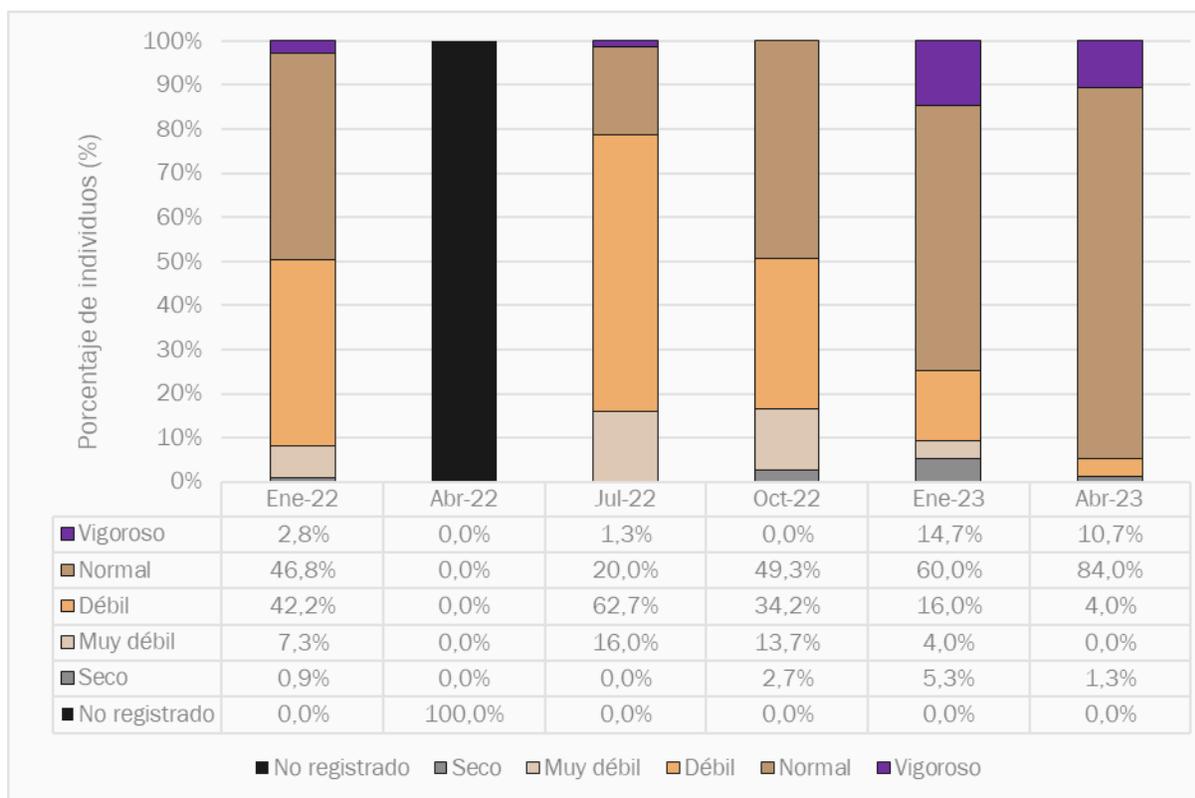
Fuente: Elaboración propia, 2023

6.3.2 Estado de vitalidad y sanitario

Tal como se muestra en la Figura 6-29, el estado vital de las 75 unidades de vegetación ha presentado variaciones en el tiempo. El porcentaje de polígonos en categoría normal registra un promedio de 52,0% ± 23,1% con un valor máximo de 83,8% (62 unidades vegetacionales) en abril 2023. La categoría Débil registra un promedio de 32,1% ± 22,6%, mientras que el valor máximo fue de 62,7% (47 unidades) en julio 2022. La categoría Muy débil registra un promedio de 8,2% ± 6,6% y un valor máximo de 16,0% (12 unidades) registradas en julio 2022. La categoría Excepcionalmente vigorosa obtuvo un promedio de 5,9% ± 6,5%, con un valor máximo de 14,7% (11 unidades) registradas en enero 2023. Respecto al estado fitosanitario de los polígonos visitados, además de lo registrado respecto a la afectación animal y antrópica (ver acápite 5.3.5), no registran signos de otros tipos de daños.

Al comparar el período analizado (enero y abril de 2023), se observa un aumento en el número de polígonos en categoría Normal en abril de 2023 con un diferencial positivo de 24,0%, mientras que se observa una disminución en el número de polígonos en estado vital Débil con un diferencial de 12,0%. Los polígonos en estado Seco, Muy débil y Excepcionalmente vigoroso también disminuyeron en abril de 2023 con un diferencial de 4,0% respectivamente.

Figura 6-29. Variación histórica de la vitalidad en la vegetación de la Quebrada de Camar

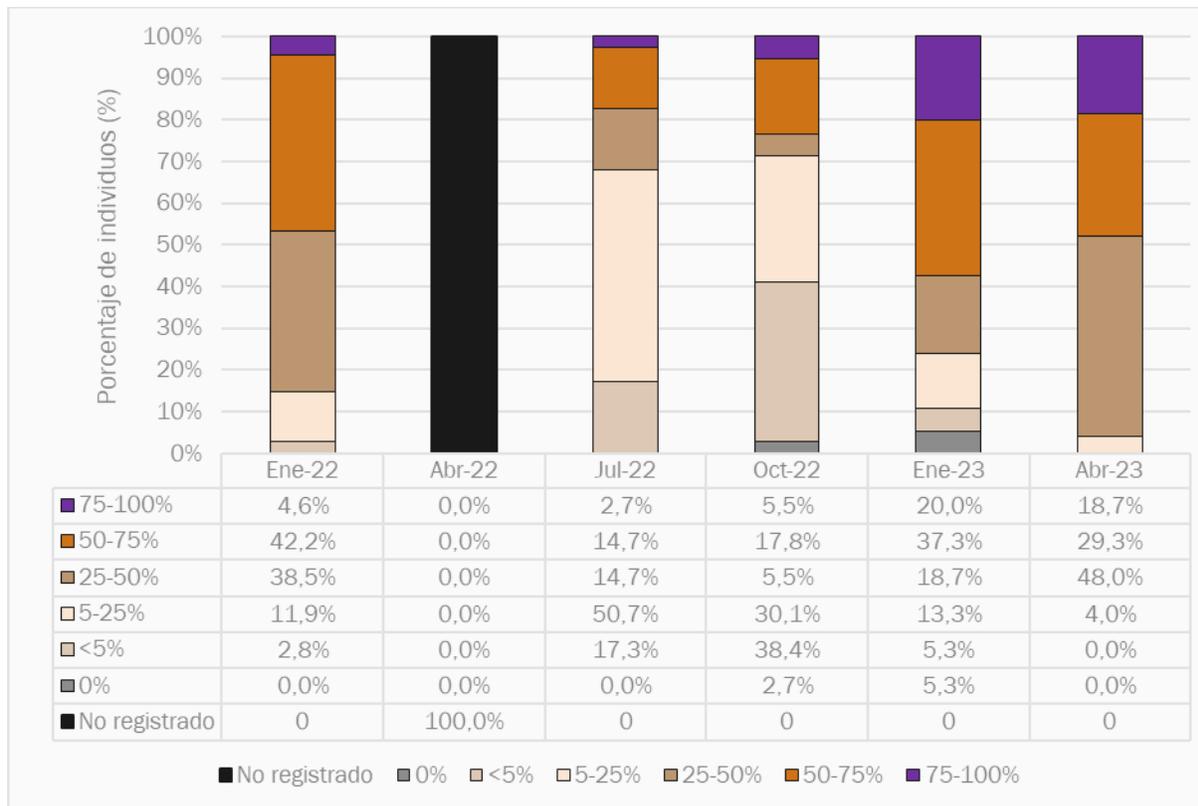


Fuente: Elaboración propia, 2023

6.3.3 Porcentaje copa viva

Tal como se muestra en la Figura 6-30 la categoría de copa viva entre 50-75% reporta el mayor promedio con un valor de $28,7\% \pm 12,3\%$ con un valor máximo de $42,2\%$ (46 unidades) en enero 2022, La categoría de copa entre 25-50% reporta un promedio de $25,2\% + 17,8\%$ con un valor máximo de $48,6\%$ (36 unidades) reportadas en abril 2023. La categoría de copa entre 5-25% con un promedio de $21,5\% \pm 19,1\%$ y un valor máximo de $50,7\%$ (38 unidades) reportado en julio 2022. La categoría de copa $<5\%$ reporta un promedio de $12,8\% \pm 15,8\%$ con un valor máximo de $38,4\%$ (28 unidades) registrados en octubre 2022. La categoría entre 75-100% reporta un promedio de $10,4\% \pm 8,5\%$ con un valor máximo de $20,3\%$ (15 unidades) registradas en enero 2023. Finalmente, la categoría 0% reporta un promedio de $1,4\% \pm 1,9\%$ con un valor máximo $4,1\%$ (3 unidades) reportadas en enero 2023.

Figura 6-30. Variación histórica del porcentaje de copa viva en la vegetación de la Quebrada de Camar



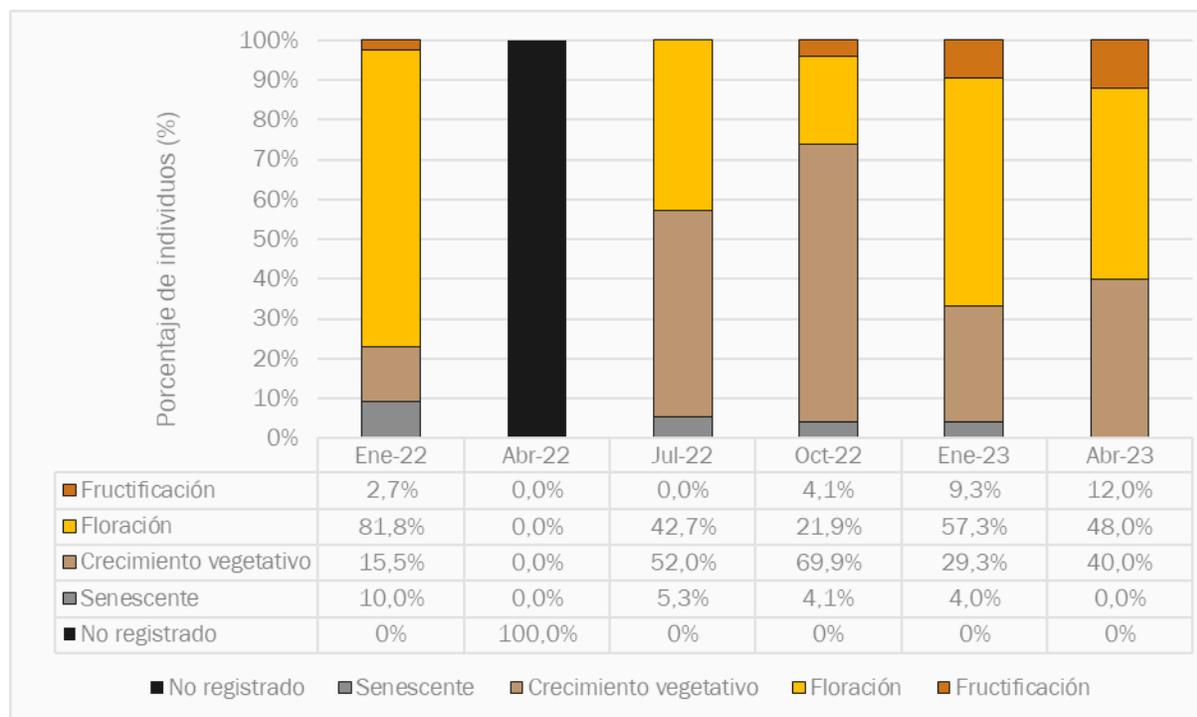
Fuente: Elaboración propia, 2023

6.3.4 Estado fenológico

Tal como se muestra en la Figura 6-31, el estado fenológico con mayor promedio reportado fue Floración con un valor de $50,3\% \pm 21,9\%$ y obtuvo un valor máximo de $81,8\%$ (90 unidades) en enero 2022. La categoría Crecimiento vegetativo registró un promedio de $41,3\% \pm 20,9\%$ con un valor máximo de $69,9\%$ (51 unidades)

en octubre 2022. La categoría Fructificación registra un promedio de $5,6\% \pm 4,9\%$ con un valor máximo de 12,0% (9 unidades) registradas en abril 2023.

Figura 6-31. Variación histórica del estado fenológico en la vegetación de la Quebrada de Camar



Fuente: Elaboración propia, 2023

6.3.5 Afectación antrópica y/o natural

Los monitoreos trimestrales dan cuenta que desde el comienzo de los reportes trimestrales se han observado algunos signos que evidencian el daño antrópico y en menor medida la afectación natural por daño animal en las plantas o sitios de monitoreo de la vegetación de Camar. Los signos que se observan principalmente son la presencia de huellas vehiculares, obras, y basura, además de desgarrar de ramas por parte de burros silvestres (ramoneo).

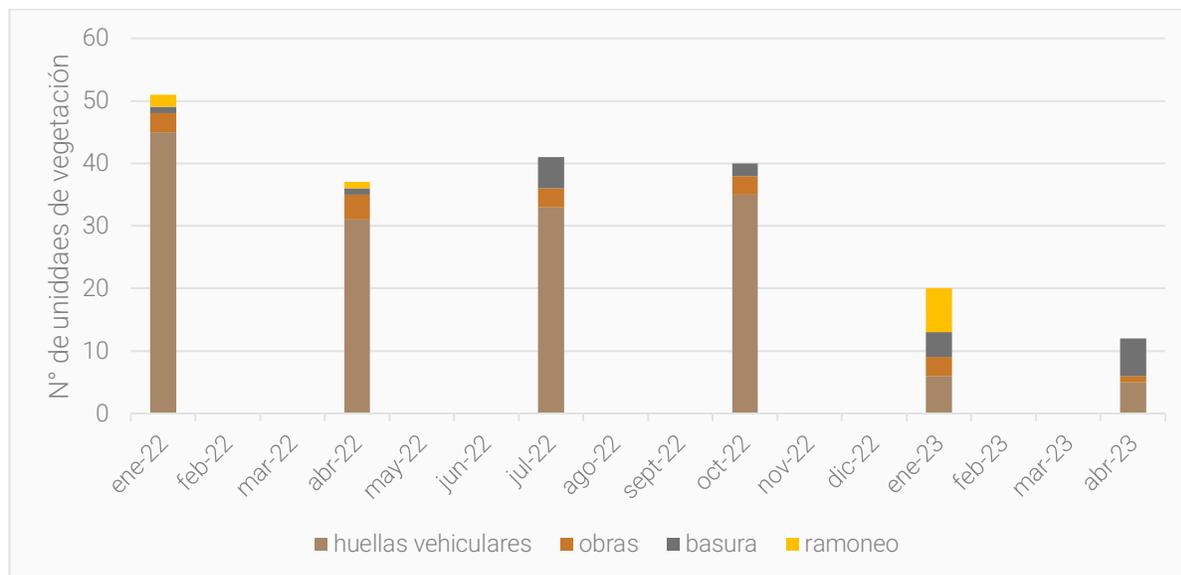
Al analizar la afectación animal y antrópica desde enero de 2022 a abril 2023 se observa la presencia de huellas vehiculares corresponde a la principal afectación en las unidades de vegetación, estas corresponden a una perturbación de los sitios, ya que el tránsito vehicular por caminos no habilitados puede afectar a la flora y fauna del sector, así como también a los atributos del paisaje, en menor medida ha encontrado presencia de obras dentro de las unidades, las que están asociadas principalmente al mejoramiento de la ruta B-371 y al camino entre pozos, en menor medida se ha encontrado presencia de basura en las unidades prospectadas.

La afectación animal (ramoneo) se ha encontrado en pocas oportunidades, dado que la vegetación de matorral (presencia de *Tessaria absinthioides*, *Atriplex atacamensis*, *Distichlis spicata* y otras plantas), se

consideran de bajo interés la dieta para los burros silvestres, dado que se observa mayor presencia de este tipo de daño, en los árboles de Algarrobo que crecen en la quebrada.

Se observa una disminución de la presencia de huellas vehiculares en el sector en los monitoreos del 2023, lo cual se atribuye a la implementación de medidas, como el uso de caminos autorizados. La presencia de basura no se muestra con baja en el tiempo, pero se mantiene entre 1 y 5 unidades de vegetación (Figura 6-32).

Figura 6-32. Afectación animal y antrópica



Fuente: Elaboración propia, 2023

6.4 Flora

6.4.1 Riqueza florística

Tal como se muestra en la Tabla 6-2, la riqueza florística en la quebrada de Camar presenta variaciones en el tiempo. La riqueza florística acumula 26 taxa hasta abril 2023. Según Gutiérrez (2008), los períodos cortos e infrecuentes de intensas lluvias aumentan la humedad del suelo, lo que regula el patrón de productividad de la biota del desierto. Lo anterior podría explicar la presencia de las 6 nuevas taxa registradas en abril 2023²⁹, donde, además, la napa es profunda, por lo que eventos de precipitaciones son considerablemente favorables para el crecimiento y desarrollo de algunas especies.

²⁹ SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. <https://www.agrometereologia.cl>

Tabla 6-2. Variación histórica en la riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio

Nº	Nombre Científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	Enero 2022	Abril 2022	Julio 2022	Octubre 2022	Enero 2023	Abril 2023
1	<i>Adesmia atacamensis</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Nativo	(*)	(*)	X	X	(*)	(*)
2	<i>Adesmia rahmeri</i>	Poaceae	Hierba anual	Indeterminado	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
3	<i>Allionia incarnata</i>	Boraginaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	(*)
4	<i>Aloysia deserticola</i>	Verbenaceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	X	X	X
5	<i>Ambrosia artemisioides</i>	Asteraceae	Arbusto	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
6	<i>Atriplex atacamensis</i>	Poaceae	Hierba anual	Nativo	X	X	X	X	X	X
7	<i>Atriplex imbricata</i> var. <i>Imbricata</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	X	X	X	X	X	X
8	<i>Cistanthe amarantoides</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	-	-	-	-	-	(*)
9	<i>Cistanthe celosioides</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	X	X	(*)	(*)	X	(*)
10	<i>Cistanthe salsoloides</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	(*)	(*)	X	X	-	X
11	<i>Cristaria dissecta</i>	Asteraceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	(*)
12	<i>Distichlis spicata</i>	Montiaceae	Hierba perenne	Endémico	X	X	X	X	X	X
13	<i>Ephedra multiflora</i>	Montiaceae	Hierba anual	Endémico	X	X	X	(*)	X	X
14	<i>Euphorbia amandi</i>	Montiaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	(*)
15	<i>Exodeconus integrifolius</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	X
16	<i>Hoffmannseggia doellii</i>	Malvaceae	Hierba perenne	Nativo	-	(*)	(*)	(*)	-	(*)
17	<i>Lupinus oreophilus</i>	Boraginaceae	Hierba anual	Nativo	-	(*)	(*)	(*)	-	(*)
18	<i>Phragmites australis</i>	Brassicaceae	Hierba anual	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)
19	<i>Neltuma alba</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)
20	<i>Strombocarpa tamarugo</i>	Ephedraceae	Arbusto	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)

Tabla 6-2. Variación histórica en la riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio

Nº	Nombre Científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	Enero 2022	Abril 2022	Julio 2022	Octubre 2022	Enero 2023	Abril 2023
21	<i>Solanum chilense</i>	Poaceae	Hierba anual	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)
22	<i>Tarasa operculata</i>	Euphorbiaceae	Hierba anual	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	-	X
23	<i>Tessaria absinthioides</i>	Solanaceae	Hierba anual	Nativo	X	X	X	X	X	X
24	<i>Tiquilia atacamensis</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X	X	X	X	X
25	<i>Tribulus terrestris</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-	-	-	-	X
26	<i>Urmenetea atacamensis</i>	Juncaceae	Hierba perenne	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)
Riqueza dentro de los puntos de muestreo					9	8	9	8	8	11
Riqueza fuera de los puntos de muestreo					10	12	11	12	12	15
Riqueza total					19	20	20	20	20	26

(X) Especie dentro de transecto

(*) Especie fuera de transecto

(-) Ausencia de especie

Fuente: Elaboración propia, 2023

Según lo reportado en el informe N° 16 del PSA Biótico del Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama (2022), los matorrales de *Tessaria absinthioides* y de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata* poseen una amplia distribución. Tal como señalan Rodríguez *et al.*, (2018), estas especies corresponden a arbustos nativos de amplia distribución (encontrándose entre las regiones de Arica y Parinacota y Biobío), en un rango altitudinal que va desde los 0 hasta los 3.000 msnm dentro del Borde Este del Salar de Atacama, cubriendo superficies de 7.359,95 ha y 1.780,87 ha respectivamente. *Tessaria absinthioides* (brea), corresponde a un arbusto nativo de amplia distribución (encontrándose entre las regiones de Arica y Parinacota hasta Biobío), en un rango altitudinal que va desde los 0 hasta los 3.000 msnm. En la quebrada de Camar, el tipo vegetacional Matorral de brea ocupa una superficie de 257,84 ha.

La presencia de *Atriplex atacamensis* (cachiyuyo) y *Atriplex imbricata* (ojalar), ocupa 29,55 ha (abril 2023) y representa un 1,97% y 0,11% del porcentaje total de transectos hasta abril 2023. El cachiyuyo corresponde a un arbusto endémico que crece entre los 200 y 3.000 msnm, y se distribuye entre las regiones de Arica y Parinacota y Atacama. Mientras que el Ojalar corresponde a un arbusto o subarbusto nativo, que crece entre los 3.500 y 3.800 msnm entre las regiones de Arica y Parinacota y Atacama (Rodríguez *et al.*, 2018). Ambas especies han sido descritas en el Borde Este del Salar de Atacama desde comienzos del monitoreo del PSA del proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama (año 2006) y conforman el tipo vegetacional matorral cachiyuyo – ojalar, el cual posee una superficie de 1.780,87 ha (según el informe N° 16 del PSAB). Por otra parte, en la quebrada de Camar abarca 29,55 ha, aumentando en un 0,24% respecto al mes de enero de 2023.

Por su parte, considerando el área de estudio del PSA Biótico y los resultados expuestos en el informe N° 16, *Tiquillia atacamensis* (káuchal), es de las especies menos abundante en el Salar de Atacama y conforma al tipo vegetacional Matorral de káuchal que en el total del Borde Este ocupa una superficie de 858,53 ha. En el área de la quebrada de Camar este tipo vegetacional ocupa 110,28 ha (abril 2023), siendo la tercera más abundante lo que representa un 2,73% de superficie total. El káuchal corresponde a un subarbusto endémico distribuido entre las regiones de Arica y Parinacota y Atacama, entre los 0 y 3.500 msnm (Rodríguez *et al.*, 2018). Esta especie comenzó a registrarse en el año 2017 en los informes del PSA del Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama, cuya presencia podría estar ligada a las lluvias del invierno altiplánico, dado que crece en sectores aluviales, en el área de transición entre la franja de vegetación y el área desprovista de vegetación (Faúndez, 2015).

En menor medida se presenta *Aloysia deserticola* (rica – rica), otra especie presente en el área. Esta especie corresponde a un arbusto nativo que crece entre los 2.300 y 3.500 msnm en las regiones de Arica y Parinacota y Antofagasta (Rodríguez *et al.*, 2018). Según lo descrito en el PSAB del Proyecto Cambios y Mejoras, en el Borde Este es posible visualizar este arbusto junto a *Ephedra multiflora* (pingo pingo), formando el Matorral de rica rica – pingo pingo, el cual posee una superficie de 436,42 ha (según el informe N° 16 del PSAB). Mientras que, en la quebrada de Camar ocupa 32,17 ha hasta abril 2023.

También se registró la especie *Cistanthe celosioides* (lukupa), la que corresponde a una hierba anual nativa, que se desarrolla entre las regiones de Arica y Parinacota y Atacama (Rodríguez *et al.*, 2018). Ésta, entre otras especies, es comúnmente denominada pasto de lluvia, ya que proliferan en años lluviosos. Particularmente, en el Salar de Atacama, luego de las lluvias estivales del año 2019 se observó un aumento de individuos de esta especie junto con *Cistanthe salsoloides*, conformando el tipo vegetacional (ocasional) pradera

de Lukupa. Cabe destacar que en el reporte de abril 2023 se colectó libremente la especie *Cistanthe amarantoides*, la cual no se había registrado anteriormente en el listado de especies de la quebrada de Camar para la acción 24 del Plan de Cumplimiento. Según Gutiérrez (2008), los períodos cortos e infrecuentes de intensas lluvias aumentan la humedad del suelo, lo que regula el patrón de productividad de la biota del desierto. Lo anterior se condice con lo reportado en el período de abril 2023. Por su parte, Holmgren et al., (2011), reportan que la fertilidad del suelo puede ser extremadamente alta posterior a eventos de precipitaciones abundantes, pudiendo sustentar una comunidad biótica rica, pero de corta duración.

Otra especie abundante en el área es *Distichlis spicata* (grama salada), hierba perenne nativa, que se distribuye ampliamente en el país, entre las regiones de Arica y Parinacota y Los lagos, posee un rango altitudinal que varía entre los 0 y los 3.800 msnm (Rodríguez et al., 2018). Fue registrada en 47 de los 225 transectos realizados en la quebrada de Camar (16,55% del total). En el Borde Este esta especie conforma al tipo vegetacional pradera de Grama salada que ocupa una superficie de 2.236,96 ha (según el informe N° 16 del PSAB). En el área de la quebrada de Camar este tipo vegetacional ocupa una porción menor (0,48 ha), ya que corresponde a un área de transición entre otros tipos vegetacionales, por lo que también es común encontrar ejemplares de *Tessaria absinthioides* acompañando a esta especie.

En cuanto a lo reportado, la superficie total de la vegetación en el monitoreo de abril 2023 registró un aumento del 0,54% (417,89 ha reportado en enero 2023 vs 439,66 ha en abril 2023). Al comparar el monitoreo de abril 2023 con de abril 2022 (436,6 ha), se observa un leve aumento (0,07%) de la superficie total de vegetación.

6.4.1.1 Abundancia

En la Tabla 6-3 se presenta la variación histórica (enero 2022 hasta abril 2023) en la cobertura que tienen las especies respecto al porcentaje del total de puntos de muestreo. La especie más frecuente es *Tessaria absinthioides*, con un promedio de 8,94% de cobertura y un valor máximo de cobertura de 10,99% del total de puntos de muestreo reportado en abril 2022. En menor medida *Tiquilia atacamensis* registra un promedio de cobertura de 1,73%, con un valor máximo de cobertura de 3,22% reportado en enero 2022. La especie *Atriplex atacamensis* registra un promedio de 1,45% y un valor máximo de cobertura de 1,97% reportado en abril 2023.

Tabla 6-3. Variación histórica de la cobertura de las especies en transectos

N°	Especie	Ene-22	Abr-22	Jul-22	Oct-22	Ene-23	Abr-23
		% del total de puntos de muestreo	N° de puntos de muestreo	% del total de puntos de muestreo			
1	<i>Adesmia sp.</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	<i>Aloysia deserticola</i>	0,74%	0,72%	0,90%	0,38%	1,05%	0,54%
3	<i>Atriplex atacamensis</i>	1,37%	1,44%	1,73%	0,78%	1,41%	1,97%
4	<i>Atriplex imbricata</i>	0,15%	0,12%	0,09%	0,03%	0,21%	0,11%
5	<i>Cistanthe salsoloides</i>	0,15%	0,06%	0,01%	0,02%	0,08%	0,02%

Tabla 6-3. Variación histórica de la cobertura de las especies en transectos

N°	Especie	Ene-22	Abr-22	Jul-22	Oct-22	Ene-23	Abr-23
		% del total de puntos de muestreo	N° de puntos de muestreo	% del total de puntos de muestreo			
6	<i>Distichlis spicata</i>	0,3%	0,6%	0,41%	0,22%	0,58%	0,86%
7	<i>Ephedra multiflora</i>	0,27%	0,05%	0,06%	0,00%	0,22%	0,11%
8	<i>Exodeconus integrifolius</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%
9	<i>Phragmites australis</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
10	<i>Tarasa operculata</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
11	<i>Tessaria absinthioides</i>	8,00%	10,99%	7,22%	7,15%	9,83%	10,45%
12	<i>Tiquilia atacamensis</i>	3,22%	2,01%	1,34%	0,92%	1,63%	1,23%
13	<i>Tribulus terrestris</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%

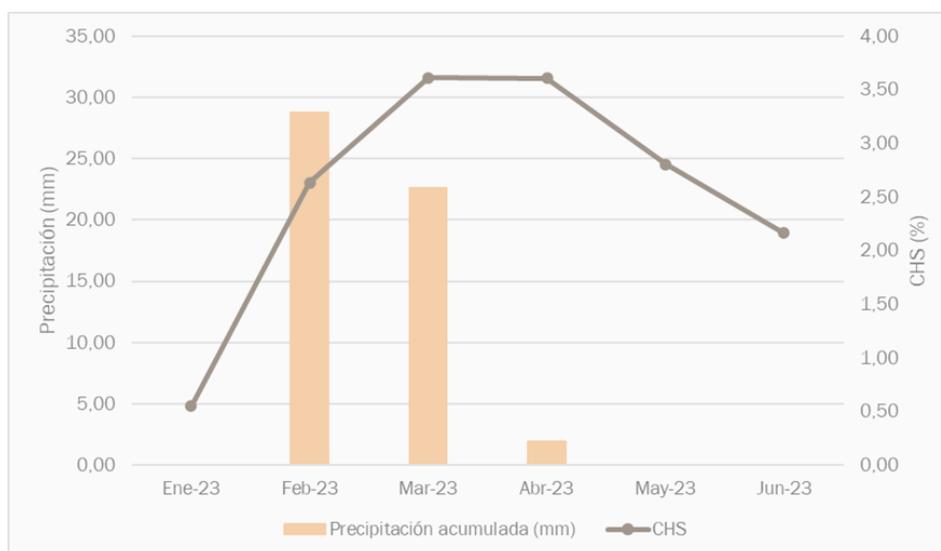
Fuente: Elaboración propia, 2023

6.5 Parámetros del suelo

6.5.1 Monitoreo mensual de CHS

Tal como se observó en la sección de resultados, el contenido de humedad del suelo en el sector de la quebrada de Camar, tiene un marcado comportamiento estacional, el cual se ve influenciado por la ocurrencia de lluvias (Figura 6-33).

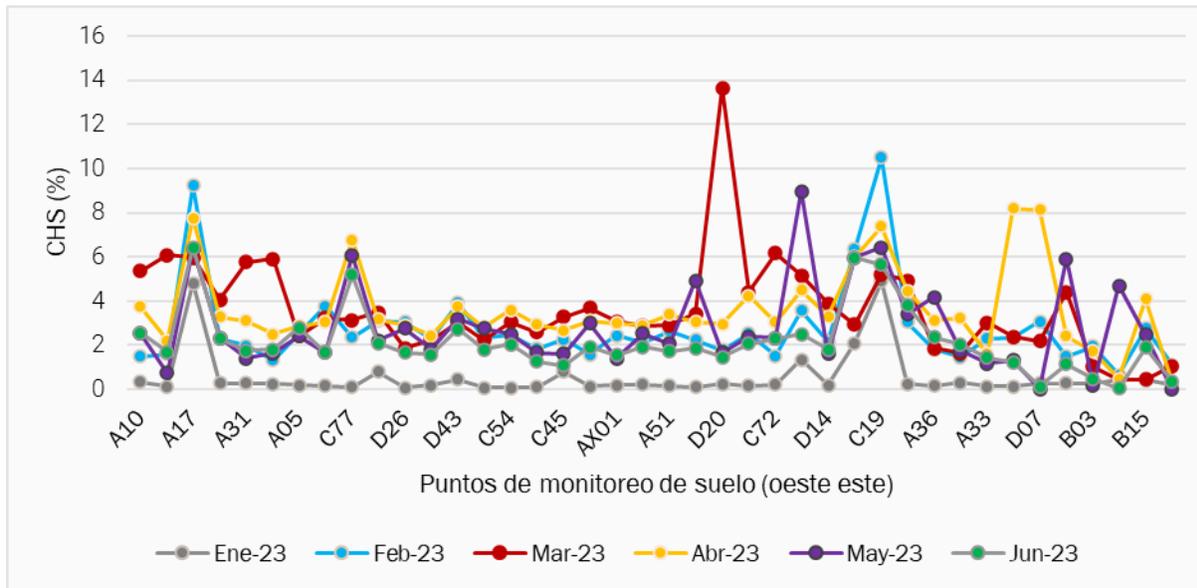
Figura 6-33. Contenido de humedad del suelo promedio mensual vs precipitaciones acumuladas.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Los meses de marzo y abril reportan el mayor promedio de CHS con 3,61% de CHS respectivamente. Además, se reportan varios valores máximos en marzo (Figura 6-34), los cuales se deben a los eventos de precipitaciones ocurridos principalmente durante febrero y marzo.

Figura 6-34. Contenido de humedad del suelo registrado en la quebrada de Camar – primer semestre 2023



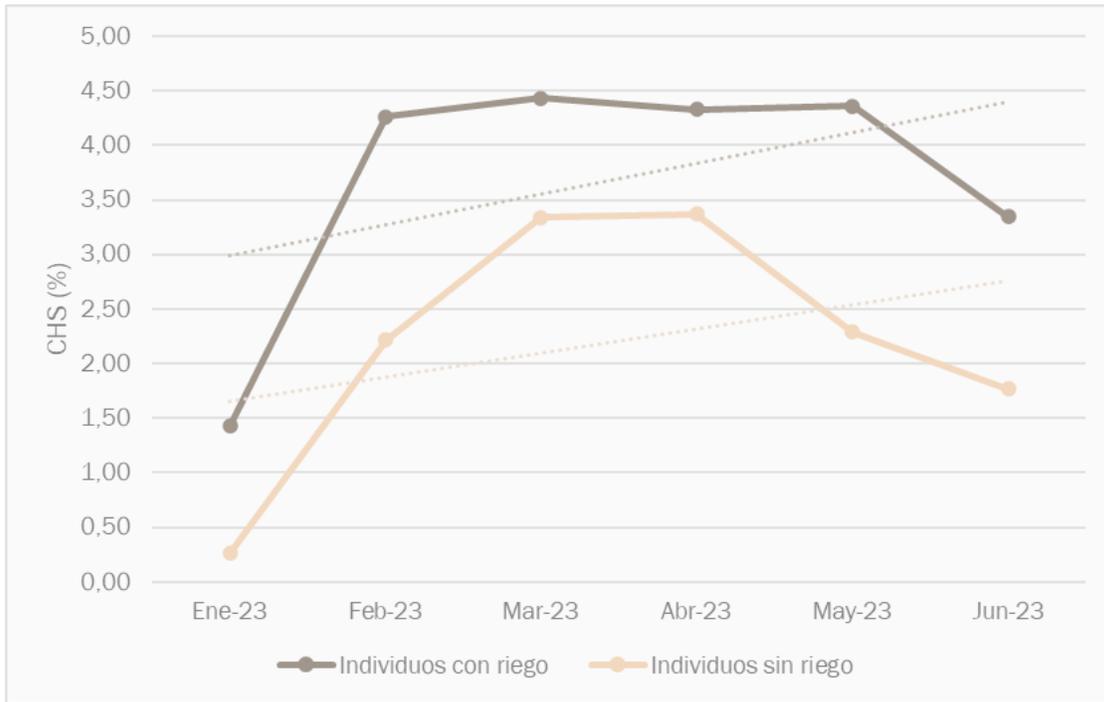
Fuente: Elaboración propia, 2023

Por otra parte, se aprecia que hacia los meses de mayo y junio (donde no hubo eventos de precipitaciones), el contenido de humedad del suelo disminuye respecto a marzo y abril. Sin embargo, se siguen reportando valores altos y un promedio que no desciende de 2% de CHS. Lo anterior se debe a la influencia en el promedio que tienen los 10 puntos con sistema de riego (Figura 6-35), los cuales hasta junio 2023 reportan valores máximos de 6,42% (punto A17) y 5,98% (C15).

La Figura 6-35 muestra que si bien ambos grupos aumentaron su promedio en febrero de 2023 debido a las precipitaciones³⁰, el promedio de los individuos con sistema de riego (ver Tabla 5-10) varía en menor medida que el promedio de los individuos sin sistema de riego, el cual presenta un período más breve de aumento.

³⁰ SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. <https://www.agrometereologia.cl>

Figura 6-35. Contenido de humedad del suelo promedio mensual vs precipitaciones acumuladas.



Fuente: Elaboración propia, 2023

Cabe destacar que, como se ha mencionado en informes anteriores (CRICYT, 2018; PSAB año 2021 y PSAB, año 2022), el principal aporte hídrico en el área aluvial de la quebrada de Camar proviene de las esporádicas lluvias estivales altoandinas, las que infiltran por los horizontes superficiales arenosos del suelo, hasta el horizonte arcilloso.

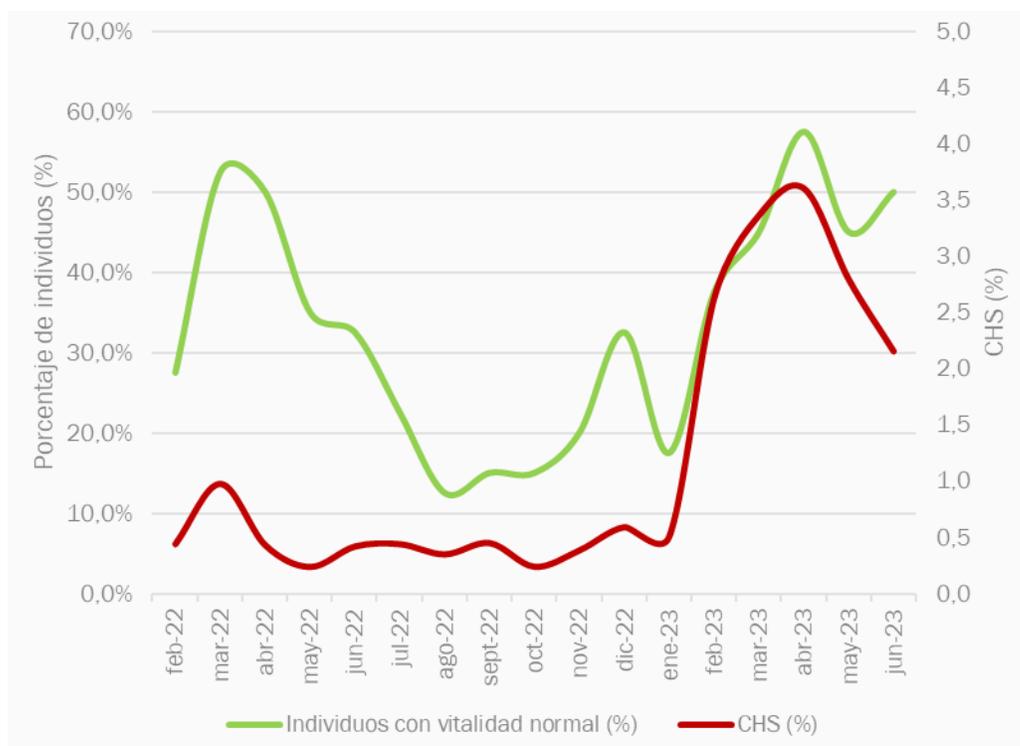
El caso de los ejemplares de algarrobo de la quebrada de Camar, estos aprovecharían el agua subsuperficial almacenada en el horizonte arcilloso del suelo, independizándose de los aportes directos de las precipitaciones y de la napa freática, ya que esta última en el sector de Camar se ubica a más de 50 m. Dicha afirmación se basa en el estudio isotópico de fuentes de agua y agua xilemática de algarrobo realizado por el CRICYT (2018), al verificar que los algarrobos de Camar estarían consumiendo principalmente agua de horizontes superficiales del suelo, considerando que el agua xilemática de los ejemplares medidos presenta firmas isotópicas distintas a la del agua subterránea y al agua superficial. En este sentido, se estima que eventos de lluvias favorecen las reservas de agua aprovechable para las plantas, y en consecuencia la vitalidad de la población de algarrobos.

En relación con los individuos con vitalidad normal, la Figura 6-36 muestra el CHS y la proporción de individuos con vigor normal en el período febrero 2022 a junio de 2023. Se observa que los individuos con crecimiento normal disminuyen en la época de receso vegetativo de las plantas el cual ocurre en la época invernal, para luego incrementar hacia la primavera y el verano. Por su parte, el CHS muestra un alza de febrero a marzo de 2022, que podría estar relacionada con las lluvias estivales atribuibles al invierno altiplánico, para en los meses posteriores disminuir y mantenerse relativamente estable entre un 0-10% de humedad. A partir de diciembre de 2022 se observa un alza importante en esta variable, lo cual se atribuye a los efectos del

riego (10 individuos) en el suelo, que aumenta considerablemente en febrero debido a las precipitaciones. Por otro lado, el porcentaje de individuos con vigor normal se ha mantenido con valores altos. Lo anterior podría deberse a los individuos que poseen sistema de riego, los cuales se mantienen mayormente en estado vital normal.

Cabe destacar que el promedio de individuos con vigor normal registró un 33,4%³¹ con una desviación estándar de 14,8%. El porcentaje máximo de individuos con vitalidad normal se reportó en abril 2023 con un 57,5%. Paralelamente, el valor máximo de CHS reportado en todo el período, también corresponde a abril 2023, con un 3,61% de CHS.

Figura 6-36. Contenido de humedad del suelo mensual versus proporción de individuos de *Neltuma alba* con vitalidad normal



Fuente: Elaboración propia, 2023

6.5.2 Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE

Los resultados con respecto a la caracterización del suelo de la quebrada de Camar, indican que estos corresponden a sustratos de pH, conductividad eléctrica y contenido de humedad que presentan variaciones de acuerdo con la cercanía al Salar de Atacama. De esta manera, en los puntos ubicados en el borde este

³¹ Para realizar análisis se considera el estado vital solo de los 40 individuos correspondientes a los 40 puntos donde se mide CHS.

del salar predominan los suelos fuerte y moderadamente salinos, mientras que en las zonas media y alta del cono aluvial predominan suelos no salinos y muy ligeramente salinos, con baja conductividad eléctrica.

Lo anterior concuerda con lo descrito por Casanova *et al.* (2013) quienes señalan que en el borde este del Salar de Atacama abundan los suelos formados a partir de depósitos evaporativos, que representan condiciones extremas en términos de características y propiedades del suelo. En efecto, en análisis realizados a muestras de suelo en otros salares han detectado valores elevados de pH, con valores que han variado entre 8,5 a 8,9 aumentando con la profundidad hasta valores de 9,8 (Luzio *et al.*, 2010), similar a lo reportado en el sector más cercano al salar de la quebrada de Camar.

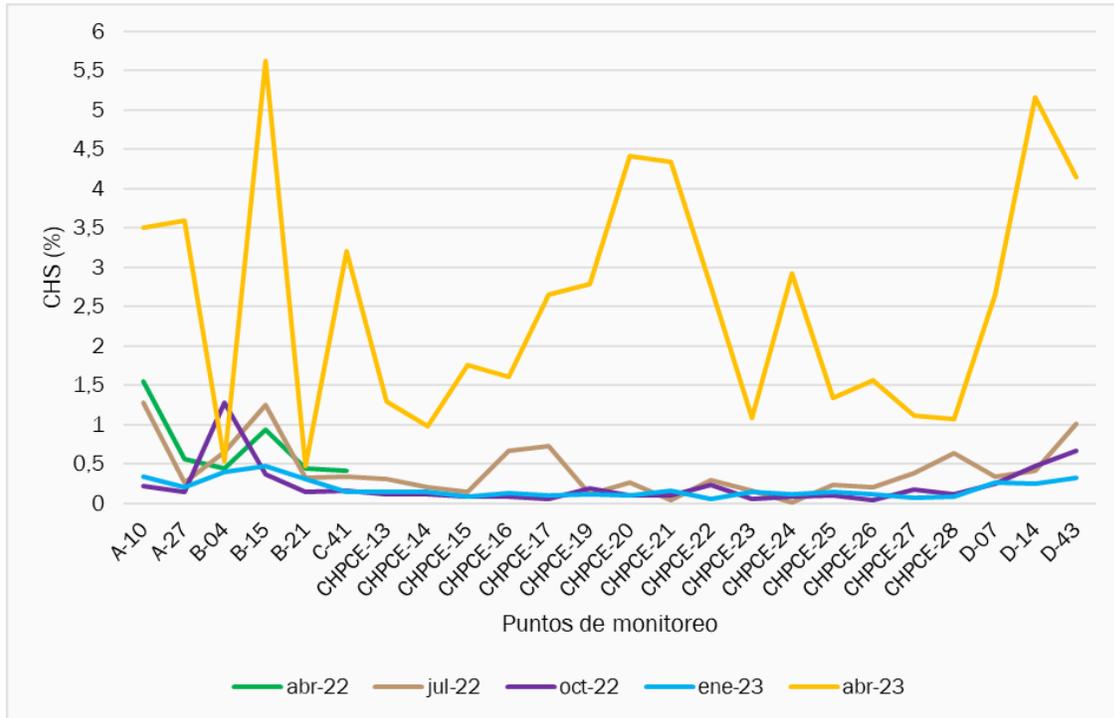
Por su parte, el contenido de humedad para el primer semestre 2023 es mayor en los puntos de monitoreo ubicados en el borde este del Salar de Atacama (TF-3-02, CHPCE-03, CHPCE-018, CHPCE-1), donde más del 70% de los puntos reportó porcentajes de humedad mayores a 4% y disminuye fuertemente en aquellos puntos ubicados en el cono aluvial de la quebrada de Camar (CHPCE-14, B-04, B-021), donde la mayoría de los valores se concentra entre 1-3%.

En general, al comparar los resultados de abril y enero 2023, se observa un aumento en el CHS en el 97,67% de los puntos. El promedio de contenido de humedad de suelo en los puntos del Borde Este del salar pasó de 1,52% (enero de 2023) a 6,57% (abril de 2023), es decir, hubo un incremento del 332,24%. Por otra parte, el promedio de contenido de humedad de suelo en los puntos del cono aluvial pasó de 0,18% (enero de 2023) a 2,53% (abril de 2023), es decir, incrementó en un 1330% su promedio. Esta considerable diferencia se relaciona directamente con los eventos de precipitaciones acontecidos durante febrero y marzo de 2023, los cuales registraron una precipitación acumulada de 28,8 y 22,6 mm respectivamente³².

Tal como se observa en la Figura 6-37, al comparar el contenido de humedad del suelo entre lo reportado en enero y abril 2023, se observa que enero fue el trimestre con valores más bajos, obteniendo un promedio inferior al reportado en abril. Esto podría estar relacionado con la baja disponibilidad hídrica debido a la ausencia de precipitaciones que hubo en los meses de primavera y verano.

³² SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. <https://www.agrometeorología.cl>

Figura 6-37. Variación histórica en el contenido de humedad del suelo (%) en los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia, 2023

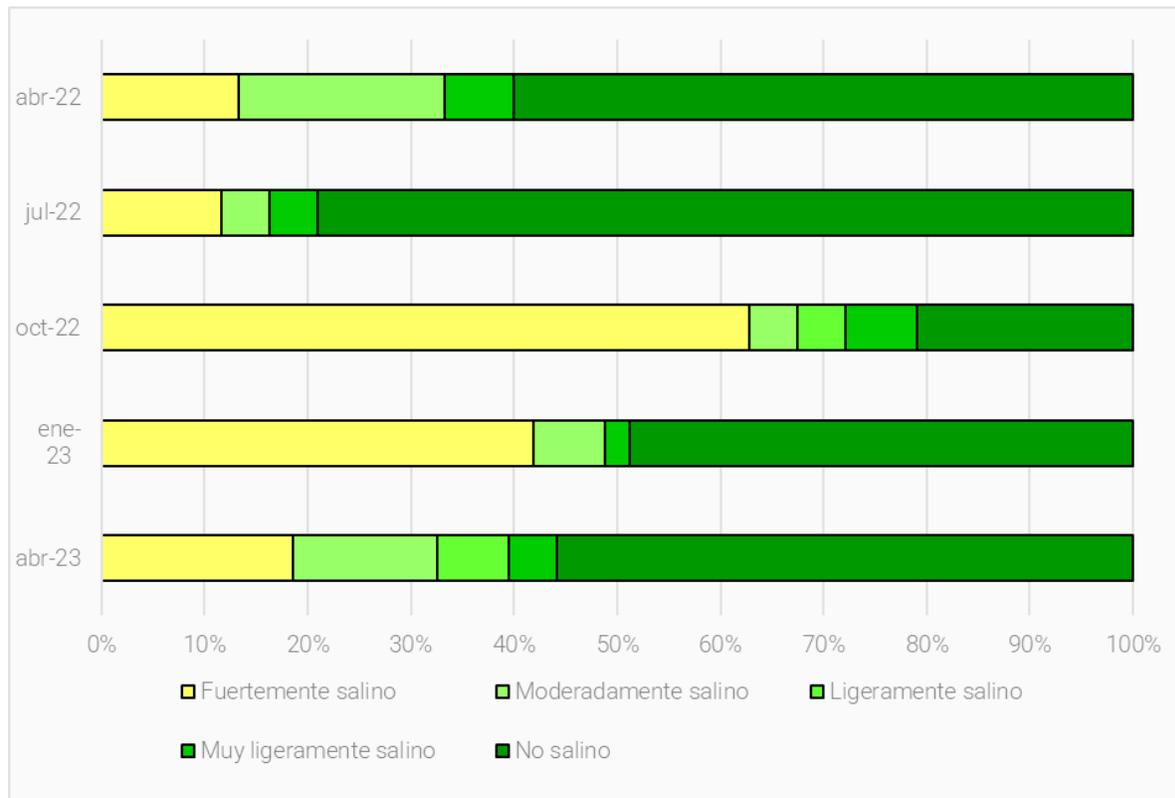
Con respecto a la relación de estos resultados con el crecimiento y desarrollo de la vegetación dentro de la quebrada, es posible indicar que la vegetación presente en el borde este del Salar de Atacama es capaz de tolerar y adaptarse a condiciones extremas de sustratos fuertemente salinos al estar conformada principalmente por especies halófitas y semihalófitas (especies que sus raíces están en contacto con agua salada o toleran ambientes salinos) como por ejemplo, la especie *Tessaria absinthioides*, *Distichlis spicata* y *Atriplex atacamensis* (Poblete et al., 1991; Degano, 1999; Vromman et al., 2016). Esto considerando que la zona con mayor cobertura vegetal dentro del área de estudio corresponde justamente al borde este del salar de Atacama. Por otro lado, en la zona media de la quebrada, donde se encuentran los suelos no salinos, predominan las zonas de vegetación escasa y unidades vegetacionales de baja cobertura, por lo que probablemente la expresión de la vegetación dentro del área de estudio estaría dada por la disponibilidad de agua, dado que el contenido de humedad del suelo en las zonas medias y altas de la quebrada son considerablemente menores al borde este del Salar de Atacama.

No obstante, es posible identificar ciertas especies que se desarrollan mayoritariamente en la zona donde predominan los sustratos no salinos, como es el caso de la población de *Neltuma alba* que crece dentro del cono aluvial.

En la Figura 6-38 se observa una variación en la proporción de puntos de monitoreo de conductividad eléctrica y grado de salinidad entre abril y enero 2023. Al respecto, se observa una disminución de 23,26% en los puntos que se categorizaron como fuertemente salinos, los que corresponden en su totalidad a puntos

ubicados en la zona correspondiente al borde este del Salar de Atacama. Por otra parte, se observa un aumento en el porcentaje de puntos con baja conductividad eléctrica, es decir, los categorizados moderadamente salinos, ligeramente salinos, muy ligeramente salinos y no salinos con un diferencial de 6,97%, 6,98%, 2,32% y 6,97% respectivamente. Al comparar los resultados de abril 2023 con los reportados en abril 2022, se observa que el 66,67% de los puntos del borde este correspondían a la categoría fuerte y moderadamente salino, mientras que, en el cono aluvial, el 88,89% de los puntos correspondió a la categoría no salino. En el reporte de abril 2023, el 73,68% de los puntos del borde este presenta categoría fuerte y moderadamente salina, mientras que, en los puntos del cono aluvial el 95,83% corresponde a la categoría no salino.

Figura 6-38. Variación en la salinidad de los puntos de monitoreo de suelo en la quebrada de Camar



Fuente: elaboración propia, 2023

7 Conclusiones

7.1 Monitoreo de los ejemplares de *Neltuma alba* (algarrobos)

A lo largo del monitoreo realizado durante el primer semestre de 2023, la población de algarrobos que se desarrolla en la quebrada de Camar ha presentado cambios que responden a características propias de la fenología de la especie y como respuesta a las variaciones de las condiciones ambientales en las que se desarrollan.

En términos de vitalidad, en la serie A, se observó un aumento de los individuos en condiciones normales durante los meses de febrero a mayo, situación que se extiende a los meses posteriores a las lluvias estivales registradas en febrero y marzo, y a aquellos en que se reportó un mayor contenido de humedad del suelo. En junio, la proporción de individuos normales disminuyó, mientras que los individuos débiles aumentaron. Lo descrito anteriormente es relativamente similar a lo reportado durante el primer semestre 2022, donde la categoría normal también se observó favorecida luego de los eventos de precipitaciones y, posteriormente, en mayo 2022 se observó una disminución de la proporción de individuos normales y un aumento en la proporción de individuos débiles y muy débiles. En términos generales para el total de individuos en pie de todas las series (265) reportados en junio 2023, se observan resultados similares a lo descrito en la serie A.

En relación con el porcentaje de copa viva, en la serie A, se observó una disminución sostenida de los individuos que presentan rango de copa viva 75-100% y 50-75% a partir del mes de mayo. Al mismo tiempo, se reporta un aumento de la categoría 5-25% a partir del mes de mayo. A diferencia del primer semestre 2022, los individuos que presentan un 75-100% de follaje verde se mantienen con porcentajes altos hasta mayo, mientras que en primer semestre 2022, esta categoría disminuye a partir del mes de marzo y al mismo tiempo que se observa un aumento en la proporción de individuos pertenecientes a las categorías de menor porcentaje de follaje verde a partir del mes de abril. Además, las categorías de menor porcentaje de follaje verde (0% y <5%) presentan promedios que se han mantenido estable a lo largo del tiempo, sin mayores variaciones. En términos generales para el total de individuos en pie de todas las series (265), se observa el mismo comportamiento descrito para la serie A.

Desde el punto de vista fenológico, en el caso de la serie A, se observó un aumento sostenido de los individuos en crecimiento vegetativo durante los meses de marzo, abril y mayo 2023, mientras que los individuos en fructificación disminuyeron. El porcentaje de individuos en crecimiento vegetativo presenta una disminución recién en el mes de junio. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos para el porcentaje de copa viva, donde se ha observado la disminución gradual del porcentaje de copa viva de los individuos en los meses más cercanos a la temporada de invierno. Por otra parte, la proporción de individuos con vitalidad seca, con copa viva de 0% y en estados fenológicos de senescencia se mantuvo relativamente estable durante todo el semestre, presentando variaciones en torno al 0,7%. Estos resultados son concordantes con lo reportado en primer semestre 2022, observándose un aumento sostenido de los individuos en crecimiento vegetativo durante los meses de febrero y mayo, disminuyendo por primera vez en junio.

Respecto a la afectación natural, no se han registrado en el periodo correspondiente al primer semestre 2023 daño por plagas, solo daño por afectación animal. Se reporta que el promedio de afectación animal para la

serie A en el período de enero a junio fue de $44,08\% \pm 8,62\%$. Además, el valor máximo de afectación fue reportado en el mes de mayo. Respecto a la serie B, el promedio de afectación es de $69,84\% \pm 10,93\%$, mientras que el valor máximo de afectación se registró consecutivamente en mayo y junio de 2023. Respecto a la serie C, el promedio de afectación es de $40,01\% \pm 23,87\%$, mientras que el valor máximo de afectación fue reportado en el mes de abril. Respecto a la serie D, el promedio reportado es de $44,15\% \pm 19,67\%$ y el valor máximo reportado fue en el mes de abril. Finalmente, en la serie E, el promedio registra un valor de $44,33\% \pm 21,98\%$ y el valor máximo de afectación se registró en abril.

Respecto a afectación antrópica, en la serie A, el promedio registrado fue de $1,78\% \pm 3,23\%$, mientras que el valor máximo de afectación antrópica se registró en enero. En la serie B, el promedio registrado para el período es de $6,06\% \pm 9,82\%$, mientras que el valor máximo reportado fue en el mes de abril, mientras que en las series D y E, los valores máximos también se reportaron en el mes de abril. Cabe destacar que en la serie C no se registran datos de afectación antrópica para el período. La serie E –ubicada al este de la ruta CH-23 y dentro del pueblo de Camar-, registra un promedio de $19,26\% + 20,23\%$. Dentro de los individuos que registran afectación antrópica, la mayor cantidad de observaciones se debe a cortes de ramas (equivalente al $74,19\%$ del total de individuos con afectación antrópica), seguido por huellas vehiculares ($19,35\%$), y basura ($6,45\%$).

Los ejemplares que cuentan con sistema de riego muestran signos concordantes con la estacionalidad, en términos de su vitalidad y porcentaje de copa viva. Se observa un aumento de estos parámetros en los meses más favorables para la vegetación (monitoreos de verano y principios de otoño); así como una disminución de ellos en los meses de receso vegetativo (temporada invernal). Además, se observa que a partir de la implementación del sistema de riego los ejemplares secos disminuyeron, para mantenerse en dos individuos (en todos los monitoreos del primer semestre 2023).

El vigor de los ejemplares sometidos a riego previo a su implementación se muestra variable en el tiempo, mientras que posterior a su implementación se muestra más estable, dejando ver la respuesta de la vegetación a los cambios estacionales, donde los individuos débiles aumentan hacia la época invernal, mientras los individuos con crecimiento normal y excepcionalmente vigorosos disminuyen.

Por otra parte, la evaluación del porcentaje de copa viva en primer semestre del 2022 y 2023, muestra que los individuos de algarrobo con riego tienden a mantener algún grado de follaje durante todo el periodo de forma independiente a la estacionalidad, dado que se observa gran cantidad de árboles con follaje en 5-25%, 25-50 y 50-75% incluso en los meses de receso vegetativo. En 2022 se observa una mayor repuesta de este parámetro a la estacionalidad.

Respecto al estado de los elementos asociados al sistema de riego, se constata que el principal desperfecto en sus mecanismos corresponde a roturas puntuales en las líneas de abastecimiento de agua y piquetes en las cañerías. En menor medida, se han encontrado pérdida de presión y fugas. La detección de estas averías ha sido de ayuda para una pronta reparación de estos componentes.

7.1.1 Fisiología de algarrobos

Considerando los resultados de potencial hídrico y conductancia estomática registrados en enero y abril de 2023, se evidencia que:

- Los algarrobos de la serie A muestran un mejor estado hídrico que los algarrobos de las series B-C, sin embargo, esta situación no provoca diferencias en la conductancia estomática de estos árboles.
- Los algarrobos ubicados aguas arriba de la tubería evidencian una mayor tensión de la columna de agua a mediodía que los algarrobos ubicados aguas abajo, sin embargo, esto no provoca cambios en el potencial hídrico de pre-alba ni en la conductancia estomática.
- Los algarrobos regados muestran un mejor estado hídrico que los no regados, sin embargo, esta situación no provoca cambios en la conductancia estomática de estos árboles.

En relación con las mediciones anteriores, se evidencia que:

- Los valores de potencial de la campaña de abril 2023 son más altos que los registrados en los meses de julio, lo que es una respuesta a la variación estacional, en el que se observan los valores más negativos en invierno.
- Se observa un efecto de la aplicación del riego en los árboles de la serie A, donde alcanzan valores superiores a los de la serie B en todas las variables medidas desde enero de 2023.

7.1.2 Biomasa de algarrobos

La estructura de la población estaría constituida mayoritariamente por individuos vivos (sólo un 30,3% se registró seco en enero de 2023 v/s un 27,0% en abril de 2023), jóvenes o de poco desarrollo, con un 82,0% en las clases diamétricas de menor tamaño (< 7,5 cm), con alturas medias que no superan los 50 cm y sólo un 7,4% de los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) que pueden alcanzar hasta los 7,0 m de altura. Además, la población presentaría una alta capacidad de retoñación, tratándose en su mayoría de individuos de hábito arbóreo-arbustivo, con más de un fuste (plurifustales) y varias ramas principales, estructura que se ha mantenido constante en el período analizado.

La biomasa aérea total de la población enero de 2023 alcanzó 4.689,3 kg, mientras que en abril de 2023 la biomasa aérea total aumentó a 4.963,1 kg. Los individuos vivos concentraron la mayor proporción (94,3% en enero de 2023 y 95,1% en abril de 2023), acumulándose, en un bajo número de individuos, (cinco árboles) de grandes dimensiones (>47 cm de diámetro), los cuales representan el 72,5% de la biomasa aérea total de la población. Con respecto a las componentes, la biomasa aérea se acumula en forma decreciente en las ramas (62,4%), el fuste (29,6%) y las hojas (8,0%), en particular, la biomasa de frutos acumulada para la población resultó de 58,8 kg, valor que podría estar sobrestimado. Para su ajuste se requiere una mayor acumulación de información en el tiempo y la posibilidad de obtener muestras de los frutos producidos por la población.

Los resultados indican un crecimiento en la población estudiada (Series A, B, C y D), expresado en un incremento en la media del diámetro basal equivalente (0,1 cm al año reportado en enero de 2023 v/s 1,2 cm

reportado en abril de 2023) y en área basal acumulada (0,02 m² al año reportado en enero de 2023 v/s 0,4767 m² al año) en el período abril de 2022 y abril de 2023. En enero de 2023 se registró una disminución de la biomasa para las componentes fustes (46,9 kg), hojas (7,4 kg) y biomasa aérea total (67,5 kg) y un aumento en la biomasa de ramas (31,1 kg), presentando diferencias estadísticas para los resultados encontrados. Sin embargo, en abril de 2023, los árboles registraron un aumento en la biomasa de ramas (438,8 kg) y biomasa aérea Total (206,3 kg), pero una disminución de la biomasa para las componentes Fustes (111,4 kg) y Hojas (103,5 kg), siendo significativos los cambios para el período analizado (enero 2023-abril 2023). Para la serie A, si bien se registraron incrementos tanto en la biomasa total (259,36 kg con respecto al monitoreo inicial 2020) como en la biomasa de fustes (32,08 kg) y ramas (33,96 kg), estos no son estadísticamente significativos. La biomasa de hojas disminuyó en 4,21 kg con respecto al monitoreo inicial en 2020, sin presentar diferencias estadísticas.

7.2 Caracterización de la flora y vegetación

7.2.1 Vegetación

La quebrada de Camar posee una superficie total de 4.044,04 ha, correspondiente al cono aluvial que se extiende entre el pueblo de Camar y la ruta B-355, aproximadamente. Se identifican a la fecha de abril 2023 439,66 ha (10,87%) ocupadas por vegetación y 3.604,38 ha (89,13%) corresponden a otras superficies (zonas de vegetación escasa, zonas agrícolas, red vial y zonas pobladas, entre otras). La vegetación se desglosa en: Matorral de *Tessaria absinthioides* (257,84 ha), Matorral de *Tiquilia atacamensis* (110,28 ha), Matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* (29,55 ha), Matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora* (32,17 ha), Pradera de *Distichlis spicata* (3,6 ha), Bosque de *Neltuma alba* (algarrobo) (9,3 ha) y Zona de vegetación escasa (3.551,84 ha). Mientras que, las superficies restantes (52,54 ha) están representadas por el área ocupada por la red vial dentro de la quebrada y la zona agrícola, zona poblada, tranque y otras áreas intervenidas asociadas al poblado de Camar.

Respecto al estado de vitalidad de las 75 unidades de vegetación, esta ha presentado variaciones en el tiempo. Al comparar el período analizado (enero y abril de 2023), se observa un aumento en el número de polígonos en categoría Normal en abril de 2023 con un diferencial positivo de 24,0%, mientras que se observa una disminución en el número de polígonos en estado vital Débil con un diferencial de 12,0%. Los polígonos en estado Seco, Muy débil y Excepcionalmente vigoroso también disminuyeron en abril de 2023 con un diferencial de 4,0% respectivamente.

Por último, considerando la afectación ya sea antrópica y/o natural, los resultados del periodo correspondiente al primer semestre de 2023 indican una mayor prevalencia por el daño antrópico (presencia de huellas vehiculares, obras, y basura), y en menor medida daño animal (desgarro de ramas por burros silvestres). Lo anterior puede deberse a que el principal tipo de vegetación catastrada corresponde a *Tessaria absinthioides*, *Atriplex atacamensis*, *Distichlis spicata* y otras plantas, las cuales son consideradas de bajo interés en la dieta para los burros silvestres, dado que se observa mayor presencia de este tipo de daño, en los árboles de Algarrobo que crecen en la quebrada. Cabe destacar que no se ha registrado en el periodo de monitoreo (primer semestre 2023), presencia de plagas que pudiesen afectar a la vegetación en los polígonos analizados.

7.2.2 Flora

De acuerdo con la flora vascular presente en la quebrada de Cama, se registran 26 taxa agrupados en 13 familias distintas hasta junio 2023.

Respecto a las coberturas, las especies más abundantes en el área son *Tessaria absinthioides* (10,45% de recubrimiento, cercano al 10,99% reportado en primer semestre 2022). En menor medida la especie *Atriplex atacamensis* (1,97% de recubrimiento versus 1,44% en primer semestre 2022), *Tiquilia atacamensis* (1,23%, versus el 2,01% de recubrimiento en primer semestre 2022) y la especie *Aloysia deserticola* (0,54% de recubrimiento versus 0,72% en primer semestre 2022).

7.2.3 Afectación antrópica y/o natural

Respecto a la afectación antrópica y/o natural sobre la vegetación dentro de la quebrada de Camar, de las 75 unidades vegetacionales (polígonos), se registró la misma cantidad de polígonos intervenidos tanto en enero como en abril de 2023 (13 polígonos, equivalente al 17,33%). Además, se observó un aumento en el número de polígonos con presencia de basura en un 2,7%, mientras que el número de polígonos con presencia de obras y huellas vehiculares disminuyó en abril de 2023 en un 2,7% y un 1,3% respectivamente. Respecto a la afectación natural por daño animal, en enero de 2023 se registraron signos animales principalmente debido a la presencia de fecas de burros en 7 polígonos (9,3%), mientras que, en abril de 2023, no se registraron observaciones con respecto a la afectación natural por daño animal.

7.3 Parámetros del suelo

7.3.1 Monitoreo mensual de CHS

El contenido de humedad del suelo en el sector de la quebrada de Camar, posee un marcado comportamiento estacional, el cual se ve influenciado por la ocurrencia de lluvias. Los meses de marzo y abril reportan el mayor promedio de CHS con 3,61% de CHS respectivamente. Además, se reportan varios valores máximos en marzo, los cuales se deben a los eventos de precipitaciones ocurridos principalmente durante febrero y marzo. Por otra parte, se aprecia que hacia los meses de mayo y junio (donde no hubo eventos de precipitaciones), el contenido de humedad del suelo disminuye respecto a marzo y abril. Sin embargo, se siguen reportando valores altos y un promedio que no desciende de 2,00% de CHS.

A diferencia de lo reportado en primer semestre 2022, el actual semestre reporta un promedio de 2,56% \pm 1,14%, mientras que el semestre 2022, reporta un promedio de 0,47% \pm 0,09%. Lo anterior se podría deber principalmente al aporte de CHS que generan los puntos que cuentan con sistema de riego, observándose un aumento en el CHS desde diciembre 2022 en los individuos con sistema de riego implementado.

De acuerdo con estudios previos sobre la población de algarrobos presente en la quebrada de Camar³³, los árboles aprovecharían el agua subsuperficial almacenada en el horizonte arcilloso del suelo,

³³ CRICYT, 2018

independizándose de los aportes directos de las precipitaciones y de la napa freática, ya que esta última en el sector de Camar se ubica a más de 50 m. En consecuencia, se estima que eventos de lluvias favorecerían las reservas de agua aprovechable para las plantas, sumado a la implementación de sistema de riego en algunos individuos monitoreados, lo que mantiene un promedio de CHS más alto que el reportado en el primer semestre 2022.

7.3.2 Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE

Los resultados indican que dentro de la quebrada de Camar predominan los suelos alcalinos (de pH elevado), con contenidos de humedad y salinidad que varían de acuerdo con la distancia a la que se encuentran del Salar de Atacama. En general, al comparar los resultados de abril y enero 2023, se observa un aumento en el CHS en casi la totalidad de los puntos. El promedio de contenido de humedad de suelo aumentó tanto en los puntos del Borde Este del salar como en los puntos del cono aluvial. Esta situación se relaciona directamente con los eventos de precipitaciones acontecidos durante febrero y marzo de 2023, los cuales registraron una precipitación acumulada de 28,8 y 22,6 mm respectivamente.

Además, se observó una variación en la conductividad eléctrica y el grado de salinidad entre abril y enero 2023. Al respecto, se observa una disminución en los puntos que se categorizaron como fuertemente salinos, los que corresponden en su totalidad a puntos ubicados en la zona correspondiente al borde este del Salar de Atacama. Por otra parte, se observa un aumento en el porcentaje de puntos con baja conductividad eléctrica, es decir, los categorizados moderadamente salinos, ligeramente salinos, muy ligeramente salinos y no salinos.

Las propiedades químicas del suelo no estarían determinando la expresión ni desarrollo de la vegetación dentro de la quebrada, dado que la zona con mayor cobertura vegetal corresponde a aquella en donde predominan condiciones extremas de salinidad en el suelo, indicando que las formaciones que ahí se desarrollan poseen adaptaciones para su desarrollo en tales condiciones. No obstante, se han identificado especies que se desarrollan mayoritariamente en las zonas donde la salinidad del sustrato es baja o nula, como es el caso de la población de *Neltuma alba*.

8 Referencias

- Álvarez JA & PE Villagra (2009). *Prosopis flexuosa* DC. (Fabaceae, Mimosoideae). *Kurtziana* (Argentina) 35(1): 49-63.
- BIOTA. 2018. Informe técnico. Análisis taxonómico de muestras de ejemplares de *Neltuma alba*, sector quebrada de Camar, provincia de El Loa, región de Antofagasta.
- CAMPAÑA DE MONITOREO N° 15, Informe de Seguimiento Ambiental Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama Región de Antofagasta, abril, 2021.
- Caro, L.A., Hernández, L.F. y Lauric, V. Fenología de *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz creciente en la región semiárida pampeana. *Revista YVYRARETA* 8: 3-7
- Casanova, M., Seguel, O., Salazar, O y Luzio, W, 2013. The Soils of Chile. doi: 10.1007/978-94-007-5949-7.
- Cisneros, A.B.; Moglia, J.G. 2017. *Prosopis alba*, alternativa sustentable para zonas áridas y semiáridas. In: GIMÉNEZ, A.M.; MOGLIA, J.G. (Ed) Los Bosques actuales del Chaco semiárido argentino. Ecoanatomía y biodiversidad. Una mirada propositiva. Facultad de ciencias forestales. UNSE. Santiago del Estero: Argentina. p.231-248.
- Cordoba, A & Verga, A. Método de análisis fenológico de un rodal su aplicación en un enjambre híbrido de *Neltuma alba*. *Ciencia e investigación Forestal – Instituto Forestal/Chile*.91 pp.
- CRICYT, 2018. Tercer informe de avance sobre estudios e investigaciones que intentan explicar el estado actual de ejemplares de algarrobo, en una población ubicada en las proximidades del pozo CAMAR 2 de SQM, en el Salar de Atacama, Chile.
- Cruz G. 1997 “Production and characterization of the seed polysaccharide from Algarrobo”. *Food and Agriculture Organization*. 425–438 pp.
- DS13/2013 MMA. Aprueba y oficializa clasificación de especies según estado de conservación, noveno proceso.
- Etienne, M., Prado, C. 1982. Descripción de la vegetación mediante la cartografía de ocupación de tierras. Universidad de Chile, Facultad de ciencias agrarias y forestales. Santiago, Chile. 120 p.
- Gajardo, 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial universitaria. 165 p.
- Gutierrez, Jr (2008). El desierto florido de la región de atacama. Libro rojo de la flora nativa y de los Sitios Prioritarios para su conservación: Región de atacama, 15.
- Holmgren, C.A., J.R., Betancourt, K.A., Rylander, J. Roque, O. Toval, H. Zeballos, E. Linares y J. Quade. (2001). Holocene vegetation history from fossil rodent middens near Arequipa, Peru. *Quaternary Research* 56(2): 242-251.
- MARTICORENA, C. & M. QUEZADA. 1985. Catálogo de la flora vascular de Chile. *Gayana Botánica* 42: 1-157 pp.
- Luzio W.; Casanova M. y Seguel O. 2010. Suelos de Chile. Luzio W. (Editor). Universidad de Chile. 346 p.

Rodríguez, R.; Marticorena, C.; Alarcón, D.; Baeza, C.; Cavieres, L.; Finot, V.; Fuentes, N.; Kiesling, A.; Mihoc, M.; Pauchard, A.; Ruiz, E.; Sánchez, P. & Marticorena, A. 2018. Catálogo de la flora vascular de Chile. Gayana Botánica 75 (1): 1 – 430.

SQM, 2022. Informe semestral Quebrada de Camar, primer semestre 2022

SQM, 2022. Informe semestral Quebrada de Camar, segundo semestre 2022

Schoeneberger, P. J.; Wysocki, D. A.; Benham E. C. and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 300 p. Diaz y Wright, 1965.

USDA NRCS, 2001. United States Department of agricultura. Natural resources consevation service.

Zuloaga, F.O., O. Morrone & M.J. Belgrano (eds.). 2008. Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 107, 3 volumes. 3486 pp. ISBN 978-1-930723-70-2.