

Informe primer semestre 2024

# Programa de Seguimiento de Flora y ve- getación de la quebrada de Camar Región de Antofagasta

## Contenido

Resumen.....	13
1.1    Monitoreo de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos).....	13
1.2    Fisiología de Algarrobos.....	14
1.3    Biomasa de Algarrobos.....	15
1.4    Riego de Algarrobos.....	16
1.5    Flora y Vegetación .....	16
1.5.1    Vegetación.....	16
1.5.2    Flora.....	17
1.6    Parámetros del suelo.....	18
1.6.1    Monitoreo mensual de Contenido de Humedad de suelo (CHS) .....	18
1.6.2    Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE .....	18
2    Introducción .....	20
3    Objetivos.....	24
4    Materiales y métodos.....	25
4.1    Área de estudio.....	25
4.2    Monitoreo de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos).....	25
4.2.1    Ubicación de los individuos .....	25
4.2.2    Parámetros evaluados.....	37
4.2.3    Metodología de muestreo, medición y análisis.....	41
4.3    Evaluación de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo) con sistema de riego.....	44
4.3.1    Ubicación de los individuos .....	44
4.3.2    Parámetros evaluados.....	45
4.3.3    Metodología de muestreo, medición y análisis.....	46
4.4    Caracterización de la flora y vegetación .....	47
4.4.1    Ubicación de los puntos de monitoreo .....	47
4.4.2    Parámetros evaluados.....	50
4.4.3    Metodología de muestreo, medición y análisis.....	51
4.5    Evaluación de parámetros del suelo .....	54

4.5.1	Ubicación de los puntos de monitoreo de suelo.....	54
4.5.2	Parámetros evaluados, metodología de muestreo, medición y análisis.....	59
4.6	Materiales y equipos utilizados .....	59
4.7	Fechas de muestreo .....	60
5	Resultados .....	63
5.1	Monitoreo de vitalidad de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo) .....	63
5.1.1	Vitalidad.....	63
5.1.2	Copa viva .....	66
5.1.3	Fenología .....	69
5.1.4	Etapa de crecimiento.....	71
5.1.5	Afectación antrópica y/o natural .....	74
5.1.6	Fisiología de algarrobos.....	80
5.1.7	Biomasa de algarrobos.....	84
5.2	Evaluación de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo) con sistema de riego.....	92
5.2.1	Vitalidad.....	92
5.2.2	Porcentaje de copa viva.....	95
5.2.3	Estado de los elementos asociados al programa de riego .....	97
5.3	Caracterización de la flora y vegetación .....	98
5.3.1	Vegetación.....	98
5.3.2	Flora.....	105
5.4	Parámetros del suelo.....	107
5.4.1	Monitoreo mensual de CHS.....	107
5.4.2	Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE .....	112
6	Discusiones .....	118
6.1	Monitoreo de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos).....	118
6.1.1	Vitalidad.....	118
6.1.2	Copa viva .....	122
6.1.3	Fenología .....	126
6.1.4	Etapa de crecimiento.....	129
6.1.5	Afectación antrópica y/o natural .....	132

6.1.6	Fisiología de algarrobos.....	134
6.1.7	Biomasa de algarrobos.....	137
6.2	Evaluación de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos) con sistema de riego.....	138
6.2.1	Vitalidad.....	138
6.2.2	Porcentaje de copa viva.....	140
6.3	Caracterización de la flora y vegetación .....	143
6.3.1	Vegetación.....	143
6.3.2	Flora.....	148
6.4	Parámetros del suelo.....	154
6.4.1	Monitoreo mensual de CHS.....	154
6.4.2	Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE .....	164
6.5	Relación entre variables.....	171
6.5.1	Algarrobos.....	171
6.5.2	Vegetación.....	175
7	Conclusiones.....	178
7.1	Monitoreo de los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos) .....	178
7.1.1	Fisiología de algarrobos.....	179
7.1.2	Biomasa de algarrobos.....	180
7.2	Caracterización de la flora y vegetación .....	180
7.2.1	Vegetación.....	180
7.2.2	Flora.....	181
7.3	Parámetros del suelo.....	182
7.3.1	Monitoreo mensual de CHS.....	182
7.3.2	Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE .....	182
7.4	Relación entre variables.....	183
8	Referencias .....	185

## Tablas

Tabla 2-1. Parámetros establecidos, responsables de la ejecución y medición de las variables .....	21
Tabla 4-1 Ubicación de los individuos de <i>N. alba</i> monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 Huso 19S) .....	26
Tabla 4-2. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 Huso 19S) .....	33
Tabla 4-3 Ubicación de los individuos de <i>N. alba</i> monitoreados en la quebrada de Camar .....	34
Tabla 4-4. Parámetros y metodologías utilizadas para la caracterización de la flora y vegetación ....	37
Tabla 4-5. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas .....	38
Tabla 4-6. Escalas utilizadas para clasificar la copa viva de las plantas .....	38
Tabla 4-7. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico .....	38
Tabla 4-8. Categorías utilizadas para la descripción de la altura del ejemplar .....	39
Tabla 4-9. Categorías utilizadas para la etapa de crecimiento .....	39
Tabla 4-10. Ubicación georreferenciada de ejemplares de algarrobos con riego .....	44
Tabla 4-11. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas .....	45
Tabla 4-12. Escalas utilizadas para clasificar la copa viva de las plantas .....	46
Tabla 4-13. Ubicación de las estaciones de monitoreo de vegetación y flora en la quebrada de Camar .....	47
Tabla 4-14. Esfuerzo de muestreo campañas primer semestre 2024 .....	50
Tabla 4-15. Parámetros y metodologías utilizadas para la caracterización de la flora y vegetación ..	50
Tabla 4-16. Rangos y códigos de cobertura .....	51
Tabla 4-17. Rangos de altura por tipo biológico .....	52
Tabla 4-18. Categorías utilizadas para describir la vitalidad y estado sanitario de la vegetación .....	52
Tabla 4-19. Ubicación de los puntos de monitoreo mensual de contenido de humedad del suelo ...	54
Tabla 4-20. Ubicación de los puntos de monitoreo de suelo de la quebrada de Camar .....	57
Tabla 4-21. Métodos de ensayo utilizados en análisis de suelo .....	59
Tabla 4-22. Materiales y equipos utilizados .....	59
Tabla 4-23. Fechas de muestreo monitoreo de algarrobos primer semestre 2024 .....	60
Tabla 4-24. Fechas de muestreo monitoreo de algarrobos bajo sistema de riego primer semestre 2024 .....	61
Tabla 4-25. Fechas de muestreo potencial hídrico y conductancia estomática primer semestre 2024 .....	61

Tabla 4-26. Fechas de muestreo medición de variables dendrométricas primer semestre 2024 .....	61
Tabla 4-27. Fechas de muestreo monitoreo de flora y vegetación primer semestre 2024 .....	62
Tabla 4-28. Fechas de muestreo de monitoreo de suelo primer semestre 2024 .....	62
Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ), mediodía ( $\Psi_{md}$ ) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar .....	80
Tabla 5-2. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ), mediodía ( $\Psi_{md}$ ) y conductancia estomática (gs) .....	82
Tabla 5-3. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ), mediodía ( $\Psi_{md}$ ) y conductancia estomática (gs) para individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería de agua superficial .....	83
Tabla 5-4. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ), mediodía ( $\Psi_{md}$ ) y conductancia estomática (gs) para individuos con y sin riego .....	84
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 – enero 2024 .....	85
Tabla 5-6. Biomasa aérea promedio (kg) por componente y total, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población de árboles del género <i>Neltuma</i> (ex <i>Prosopis</i> ) – enero 2024 .....	87
Tabla 5-7. 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 de 2024 .....	89
Tabla 5-8: Biomasa aérea promedio (kg) por componente y total, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población de árboles del género <i>Neltuma</i> (ex <i>Prosopis</i> ). – abril 2024 .....	91
Tabla 5-9. Distribución porcentual de la biomasa aérea de individuos vivos monitoreados en enero y abril de 2024 .....	92
Tabla 5-10. Principales desperfectos detectados en los componentes del sistema de riego.....	97
Tabla 5-11. Formaciones vegetales y otras superficies presentes en la quebrada de Camar.....	99
Tabla 5-12. Riqueza de especies presentes en el área de estudio .....	105
Tabla 5-13. Cobertura y frecuencia de las especies registradas .....	107
Tabla 5-14. CHS en individuos de <i>Neltuma alba</i> con y sin sistema de riego .....	110
Tabla 5-15. Resultados de contenido de humedad de suelos en los puntos monitoreados de la quebrada de Camar .....	113
Tabla 5-16. Resultados de pH del suelo .....	115
Tabla 5-17. Resultados de conductividad eléctrica del suelo.....	117

Tabla 6-1. Variación histórica de superficie de matorrales en la quebrada.....	143
Tabla 6-2. Variación histórica en la riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio .....	149
Tabla 6-3. Variación histórica de la cobertura de las especies en transectos .....	153
Tabla 6-4. CHS en individuos de <i>Neltuma alba</i> con y sin sistema de riego, periodo febrero 2022 – junio 2024 .....	156

## Figuras

Figura 4-1. Ubicación del área de estudio .....	25
Figura 4-2. Ubicación de los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> monitoreados .....	32
Figura 4-3. Distribución de los individuos de Algarrobo con mediciones de potencial hídrico y conductancia estomática.....	34
Figura 4-4. Distribución de los individuos de Algarrobo con mediciones de biomasa .....	37
Figura 4-5. Distribución espacial de algarrobos con riego dentro de la Quebrada de Camar .....	45
Figura 4-6. Esfuerzo de muestreo de vegetación.....	49
Figura 4-7. Ubicación de los puntos de medición humedad de suelo CHS mensual .....	56
Figura 4-8. Esfuerzo de muestreo de suelo .....	58
Figura 5-1. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie A.....	64
Figura 5-2. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie B .....	64
Figura 5-3. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C.....	65
Figura 5-4. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie D .....	65
Figura 5-5. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie E.....	66
Figura 5-6. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie A .....	67
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 .....	68

Figura 5-10. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie E.....	69
Figura 5-11. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie A .....	69
Figura 5-12. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie B.....	70
Figura 5-13. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie C .....	70
Figura 5-14. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie D.....	71
Figura 5-15. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie E .....	71
Figura 5-16. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A .....	72
Figura 5-17. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie B .....	72
Figura 5-18. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie C .....	73
Figura 5-19. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie D.....	73
Figura 5-20. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie E .....	74
Figura 5-21. Variación semestral daño animal en individuos de <i>Neltuma alba</i> por serie.....	75
Figura 5-22. Variación semestral daño antrópico en individuos de <i>Neltuma alba</i> por serie .....	78
Figura 5-23. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego.....	94
Figura 5-24. Evolución del porcentaje de copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego .....	96
Figura 5-25. Variación del porcentaje de vitalidad en la vegetación de la Quebrada de Camar.....	101
Figura 5-26. Variación del porcentaje de copa viva en la vegetación de la Quebrada de Camar .....	102
Figura 5-27. Variación del estado fenológico en la vegetación de la Quebrada de Camar.....	103
Figura 5-28. Tipos de daño antrópico .....	104
Figura 5-29. Contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en la quebrada de Camar – primer semestre 2024 .....	108
Figura 5-30. Variación mensual del contenido de humedad del suelo en individuos de <i>Neltuma alba</i> con y sin sistema de riego.....	112
Figura 5-31. Variación mensual del contenido de humedad del suelo en la Quebrada de Camar ...	115
Figura 5-32. Proporción de puntos de monitoreo por categoría de pH del sustrato .....	116

Figura 5-33. Proporción de puntos de monitoreo por categoría de salinidad del sustrato .....	117
Figura 6-1. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie A.....	119
Figura 6-2. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie B.....	120
Figura 6-3. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C.....	120
Figura 6-4. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie D .....	121
Figura 6-5. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie E.....	122
Figura 6-6. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie A .....	123
Figura 6-7. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie B .....	124
Figura 6-8. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie C .....	124
Figura 6-9. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie D .....	125
Figura 6-10. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie E.....	126
Figura 6-11. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie A	126
Figura 6-12. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie B	127
Figura 6-13. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie C	128
Figura 6-14. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie D	128
Figura 6-15. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie E	129
Figura 6-16. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A .....	130
Figura 6-17. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie B .....	130
Figura 6-18. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie C .....	131
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 *	134

Figura 6-22. Variación histórica del potencial hídrico de mediodía para árboles de las series A y B	135
Figura 6-23. Variación histórica de la conductancia estomática para árboles de las series A y B ...	136
Figura 6-24. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego.....	139
Figura 6-25. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego.....	140
Figura 6-26. Evolución del porcentaje de copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego .....	142
Figura 6-27. Evolución de la superficie de las formaciones vegetacionales presentes en la quebrada de Camar.....	144
Figura 6-28. Variación histórica de la vitalidad en la vegetación de la Quebrada de Camar .....	145
Figura 6-29. Variación histórica del porcentaje de copa viva en la vegetación de la Quebrada de Camar .....	146
Figura 6-30. Variación histórica del estado fenológico en la vegetación de la Quebrada de Camar	147
Figura 6-31. Afectación animal y antrópica .....	148
Figura 6-32. Comparación mensual del contenido de humedad del suelo en individuos de <i>Neltuma alba</i> , periodo febrero 2022 – junio 2024.....	155
Figura 6-33. Variación mensual del contenido de humedad de suelo en individuos de <i>Neltuma alba</i> con y sin sistema de riego, febrero 2022 – junio 2024.....	159
Figura 6-34. Contenido de humedad del suelo mensual versus proporción de individuos de <i>Neltuma alba</i> con vitalidad normal, periodo febrero 2022 – junio 2024.....	160
Figura 6-35. Contenido de humedad del suelo mensual versus proporción de individuos de <i>Neltuma alba</i> con vitalidad normal, periodo diciembre 2022 – junio 2024 .....	162
Figura 6-36. Relación entre el CHS y el número de individuos con y sin riego en estado vital normal .....	163
Figura 6-37. Variación histórica en el contenido de humedad del suelo (%) en los tipos vegetacionales de la quebrada Camar .....	166
Figura 6-38. Variación en el pH de los puntos de monitoreo de suelo en la quebrada de Camar ....	168
Figura 6-39. Variación en la salinidad de los puntos de monitoreo de suelo en la quebrada de Camar .....	170
Figura 6-40. Conductancia estomática y Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024 .....	172
Figura 6-41. Potencial hídrico promedio en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) y medio día ( $\Psi_{md}$ ), y su relación con el Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024 .....	172

Figura 6-42. Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre y precipitaciones acumuladas, en el periodo 2022 - 2024 .....	173
Figura 6-43. Potencial hídrico promedio en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) y medio día ( $\Psi_{md}$ ), y su relación con el vigor de los algarrobos por trimestre, en el periodo 2022 - 2024.....	173
Figura 6-44. Conductancia estomática (gs) y su relación con el vigor de los algarrobos por trimestre, en el periodo 2022 - 2024.....	174
Figura 6-45. Vitalidad de los Algarrobos y su relación con el Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024 .....	174
Figura 6-46. Biomasa de la población de algarrobos y vigor de los individuos en el periodo 2022 - 2024 .....	175
Figura 6-47. Evolución del vigor y las variables ambientales en el periodo 2022 - 2024 .....	176
Figura 6-48. Riqueza de especies en los puntos de monitoreo de la quebrada de Camar y su relación con el Contenido de humedad del suelo (CHS), Conductividad eléctrica (CE), pH y precipitaciones acumuladas. ....	177

## Fotografías

Fotografía 5-1. Registros fotográficos de presencia de huellas informales de camioneta y basura en el área de estudio .....	104
Fotografía 6-1. Afectación animal - Primer semestre 2024.....	133
Fotografía 6-2. Afectación antrópica - Primer semestre 2024.....	133

## Anexos

- Anexo 1. Base de datos monitoreo de algarrobos primer semestre
- Anexo 2. Base de datos vegetación (COT) primer semestre
- Anexo 3. Base de datos flora (transectos)
- Anexo 4. Mapa de vegetación quebrada de Camar - enero y abril 2024
- Anexo 5. Certificados ETFA y análisis de suelo mensual (CHS)
- Anexo 6. Responsables y participantes del seguimiento ambiental
- Anexo 7. Certificados ETFA análisis de suelo trimestral (CHS, pH y CE)
- Anexo 8. Reportes Operación de Sistema de Riego de algarrobos
- Anexo 9. Informes trimestrales Potencial hídrico y Conductancia estomática. Universidad de Chile.

Anexo 10. Informes Biomasa algarrobos Quebrada de Camar

Anexo 11. Base de datos suelo mensual (CHS)

Anexo 12. Base de datos suelo trimestral (CHS)

## Resumen

El presente informe tiene por objeto dar cuenta de los resultados del primer semestre de 2024 (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 N° 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.

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

Las mediciones realizadas durante el primer semestre de 2024 indican un número de ejemplares máximo de 457 individuos que son objeto de este estudio, registrado hasta junio de 2024. De estos 457 ejemplares, 96 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 (81) corresponde a ejemplares de las series B (10 individuos), C (24 individuos), D (10 individuos) y E (37 individuos). La principal causa de la pérdida de ejemplares en la quebrada de Camar corresponde a la ocurrencia de aluviones. Este fenómeno se produce principalmente por lluvias estivales intensas y de corta duración, muy frecuentes durante el invierno altiplánico; esto combinado con la acumulación de sedimentos y la aridez de la quebrada, produce arrastres de material, generando aluviones de gran magnitud. Entre el año 2006 a 2024 se han producido eventos de estas características, en particular los años 2012, 2017 y 2019, se consideran de importancia dado que en esos periodos se registró la pérdida de varios ejemplares de la serie A (monitoreada como parte del PSAB del Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama). Por otra parte, dado que el monitoreo de las series B, C, D y E, comienza a realizarse de forma mensual en el mes de enero de 2022, y que desde esa fecha en adelante no se han registrado aluviones de gran magnitud en la zona, es que los individuos desaparecidos de estas series se atribuyen a desprendimientos por acción de animales (ramoneo), intervención antrópica o cubiertos por sedimentos arrastrados por acción del viento, en distintos periodos.

Cabe destacar que siete (7) individuos de la serie E fueron trasladados en el mes de febrero de 2023 desde la plaza de Camar para la realización de trabajos de remodelación en ella (E-049, E-053-B, E-054, E-056, E-057, E-161, E-173). Los individuos E-54 y E-56 fueron reubicados a la plaza en septiembre de 2023, mientras en octubre de 2023 fueron reubicados los individuos E-49 y E-57.

Los parámetros evaluados para caracterizar a la población de Algarrobos presentes en la quebrada de Camar corresponden a la vitalidad, porcentaje de copa viva, fenología y daño animal o antrópico. Además, se evalúa el estado fisiológico y biomasa de los individuos de la población. De forma adicional, se evalúa por separado una porción de los individuos que actualmente poseen un sistema de riego activo, versus aquellos que no lo poseen.

Respecto a la vitalidad, para las series B, C y E la categoría con mayor porcentaje de individuos corresponde a Crecimiento normal, mientras que para las series A y D, prevalecen mayormente individuos en categoría Seco. En general, el número de individuos en categoría Crecimiento normal se mantiene con valores altos durante casi todo el periodo estudiado, disminuyendo recién en los meses de mayo y junio, lo cual es esperable debido a que en estos meses se da el comienzo del periodo de receso vegetativo para esta especie. *Neltuma alba*, según su ficha de clasificación de estado de conservación, se considera una especie de hojas caducas, es decir, que pierde sus hojas en invierno (MMA, 2012a; MMA, 2012b).

Respecto a la copa viva, en las series A, C y D predominan individuos sin copa, mientras que en las series B y E predomina individuos con un porcentaje de copa viva entre 75% y 100%. Los individuos con algún grado de follaje de todas las series se ubican en categorías altas de copa viva, la cual va disminuyendo hacia finales del semestre, lo que podría estar explicado por la respuesta de esta especie caducifolia a las condiciones ambientales de la época invernal.

Desde el punto de vista fenológico, la categoría con mayor porcentaje en las series A, B, D y E corresponde a Crecimiento vegetativo, mientras que en la serie C predomina la categoría Senescente. En general, se observa poca variación durante el semestre en todas las categorías, con presencia de individuos en Fructificación en las series A, B y E en los meses de enero y febrero principalmente, disminuyendo hacia marzo.

En el parámetro Etapa de crecimiento, destaca la predominancia de individuos en etapa Adulto en las series A, B y E, lo que refleja una población mayoritariamente madura. Por otro lado, las series C y D se caracterizan por una mayor presencia de individuos en etapa Juvenil, dado que los individuos desarrollan crecimiento vegetativo, sin alcanzar un desarrollo reproductivo. La estabilidad observada respecto al informe anterior (segundo semestre 2023) sugiere que no se han producido cambios significativos en la estructura etaria de las series, manteniéndose las mismas tendencias de desarrollo.

Respecto a la afectación natural por daño animal, a diferencia del primer semestre de 2023, se observa un leve aumento de individuos por afectación por ramoneo en las series A, B y E. Las series C y D muestran una disminución respecto al primer semestre de 2023.

Respecto a afectación antrópica, se registra una disminución de registros en las series A, B, D y E respecto al primer semestre de 2023. En el caso de la serie C, no se registran individuos con daño antrópico. En el caso de la serie E – ubicada al este de la ruta CH-23 y dentro del pueblo de Camar, se registra la mayor cantidad de observaciones debido principalmente a obras de construcción, cortes de ramas, huellas vehiculares, y basura.

## 1.2 Fisiología de Algarrobos

Para el análisis del estado fisiológico de la población de algarrobos realizada en enero y abril de 2024, se trabajó con una muestra de 18 individuos de algarrobo (muestra objetivo, serie A) distribuidos en torno al 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) que corresponden a 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 no<sup>1</sup>.

Los resultados de enero de 2024 no encontraron diferencias significativas en el potencial hídrico ni la conductancia estomática al comparar los algarrobos de la serie A con los algarrobos de las series B-C. En enero, los algarrobos de la serie A muestran un potencial hídrico pre-alba levemente mejor que los algarrobos de las series B-C, además de una conductancia estomática mayor. Los resultados de abril de 2024 indican que los algarrobos de la serie A muestran un mejor estado hídrico que los algarrobos de las series B y C, expresado en un mayor potencial hídrico en pre-alba. Además, no se observaron diferencias ni de potencial hídrico ni en conductancia estomática en los algarrobos en relación con su ubicación respecto de la tubería. Las diferencias observadas tendrían relación a la aplicación del riego, expresándose diferencias en los meses de mayor demanda atmosférica principalmente (noviembre a marzo), alcanzando siempre valores más altos en los individuos que reciben riego.

### 1.3 Biomasa de Algarrobos

Respecto a los resultados de la medición de biomasa, estos indican que la estructura de la población está constituida mayoritariamente por individuos vivos (sólo un 29,8% están secos), jóvenes o de poco desarrollo, con un 80,1% en las clases diamétricas de menor tamaño (<5 cm de Dbe), con alturas medias que no superan los 56 cm, donde sólo un 9,9% de los individuos de mayor tamaño (>20, cm de Dbe) pueden alcanzar hasta los 6,0 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 periodo analizado.

Los resultados indican un incremento entre el periodo enero de 2024 y abril de 2024 en la media del diámetro basal equivalente (0,15 cm) y en el área basal acumulada (0,0608 m<sup>2</sup>) presentando diferencias estadísticamente significativas, Además de un incremento en la biomasa de Fustes (41,1 kg), y biomasa de Hojas (23,99 kg), sin presentar diferencias estadísticamente significativas. Por el contrario, se registra una disminución de la biomasa de Ramas (1.251,9 kg) sin presentar diferencias estadísticamente significativas y una disminución de la biomasa aérea Total (3.518,48 kg) registrando diferencias estadísticamente significativas. Estos cambios estarían influenciados por los cambios en la clasificación de vitalidad que registran los individuos de la población entre una medición y otra, que involucraría en promedio a un 10,2% de la población. Sin embargo, en general la información presenta una tendencia al incremento de las variables estudiadas.

---

<sup>1</sup> 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.

## 1.4 Riego de Algarrobos

Las evaluaciones semanales o bisemanales sobre los ejemplares de algarrobo bajo riego muestran variaciones en las categorías Muy débil y Débil, aumentando hacia los meses de abril, mayo y junio, mientras que la categoría Crecimiento normal decrece. Lo anterior es concordante con la estacionalidad y se asimila con los resultados obtenidos en el monitoreo mensual de individuos realizado por Geobiota. En términos de vitalidad y porcentaje de copa viva, se observan entre 2 a 3 ejemplares Secos y sin copa viva, los que se mantiene sin mayores variaciones durante todo el primer semestre de 2024, al igual que el primer y segundo semestre de 2023. De estos ejemplares, dos (2) se encuentran secos desde enero de 2022 que es cuando se implementa el sistema de riego, sin mostrar cambios en su vitalidad.

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.

## 1.5 Flora y Vegetación

### 1.5.1 Vegetación

La quebrada de Camar posee una superficie total de 4.044,05 ha, correspondiente al cono aluvial que se extiende entre el pueblo de Camar y la ruta B-355. Con el fin de caracterizar la vegetación y flora de la quebrada se propusieron 76 puntos de monitoreo, de los cuales fue posible visitar 75, ya que uno (P-001) se encuentra dentro de un recinto privado y no ha podido ser monitoreado desde julio de 2022. Los resultados de enero 2024 y abril 2024 indican que la formación vegetal que más varió su cobertura fue el matorral de Matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora* (Rica rica - Pingo pingo), con un aumento del 0,43%, equivalente a 17,08 ha, seguido por el matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* (Cachiyuyo - Ojalar), que presentó una disminución del 0,34% (equivalente a 13,27 ha), seguido por el matorral de *Tiquilia atacamensis* (Káuchal), con una disminución del 0,25% (equivalente a 9,67 ha). El Matorral de *Tessaria absinthioides* (Brea) presentó leves variaciones, disminuyendo en un 0,16% (equivalente a 6,88 ha). Por último, la pradera de *Distichlis spicata* (Gramma salada) aumentó en un 0,07% (equivalente a 3,07 ha). En general, los matorrales presentaron una disminución de 0,32% en su superficie (equivalente a 12,74 ha), mientras que el Bosque de *Neltuma alba* (algarrobo), emplazado adyacente al pueblo de Camar no presentó variaciones en su superficie.

El vigor de las unidades de vegetación durante el primer semestre de 2024 muestra una clara tendencia hacia la disminución, lo cual resulta esperable hacia los meses de receso vegetativo. De enero 2024 a abril 2024 aumentan los ejemplares débiles y disminuyen aquellos con crecimiento normal y vigorosos. Al comparar los resultados del primer semestre del 2024 (enero y abril), con el primer semestre del año 2023 se observa la disminución de unidades vigorosas en enero y la ausencia de estas en abril. Así como una disminución de las unidades catalogadas con Crecimiento normal. Mientras que las unidades débiles registran un aumento, lo que indicaría un deterioro en la vitalidad y estado sanitario de la vegetación durante el primer semestre del 2024.

En cuanto al porcentaje de copa viva, los resultados del primer semestre del 2024 comparados entre sí (enero vs abril), dan cuenta de una disminución de las unidades con follaje sobre el 25% (categorías 25-50%, 50-75% y 75-100%), y un aumento de las unidades con follaje menor a este valor (5-25%, 0-5% y 0%). Estos resultados indican que la vegetación de la quebrada se está secando conforme avanza la temporada de otoño. Sin embargo, al observar el mismo periodo en el año anterior (primer semestre 2023), se aprecia que en la temporada actual hay una disminución del follaje tanto en enero como en abril.

En relación con el estado fenológico de la vegetación en el primer semestre del 2024, al comparar los monitoreos de enero y abril se observa un aumento del 15,79% en la categoría de crecimiento vegetativo, mientras que las categorías de floración y fructificación se redujeron en un 9,21% y 6,58% respectivamente. Al comparar con el primer semestre del año anterior (2023) se aprecia una tendencia similar a lo observado este año. Este comportamiento es esperable a medida que avanza la temporada estival, ya que es normal que la floración disminuya a medida que termina el verano y comienza el otoño.

Respecto a la afectación antrópica y/o natural sobre la vegetación dentro de la quebrada de Camar, de las 75 unidades vegetacionales (polígonos) visitadas, se identificaron signos de intervención humana y animal en ambos monitoreos (enero y abril). En enero, se registró intervención antrópica en el 3,95% de los polígonos, principalmente por presencia de basura, mientras que en abril este porcentaje aumentó al 5,26%, con huellas vehiculares y basura como principales factores de perturbación. La afectación natural por la presencia de burros silvestres, evidenciada principalmente a través de la presencia de heces dentro de los polígonos muestreados, aumentó en el período estudiado en un 30,26%.

## 1.5.2 Flora

Respecto a la riqueza florística de la quebrada de Camar, se registran 26 taxa agrupados en 13 familias hasta el primer semestre de 2024. En enero y abril 2024 se registraron 10 taxa respectivamente. Las coberturas de las especies más abundantes en el área son *Tessaria absinthioides*, registrando un 10,46% en enero y un 10,38% en abril, similar a lo registrado en datos de períodos anteriores. En menor medida, se encuentran las especies: *Atriplex atacamensis* con un 1,94% en enero y un 2,53% en abril; *Aloysia deserticola*, con coberturas de 1,26% en enero y 1,39% en abril, y *Tiquilia atacamensis*, con un 1,04% en enero y un 0,61% en abril. Estos datos reflejan la predominancia de especies arbustivas, adaptadas a entornos con limitada disponibilidad hídrica.

## 1.6 Parámetros del suelo

### 1.6.1 Monitoreo mensual de Contenido de Humedad de suelo (CHS)

De acuerdo con estudios previos sobre la población de algarrobos presente en la quebrada de Camar<sup>2</sup>, 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.

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 ocurridas entre enero y abril las mediciones realizadas en el mes de abril. Sin embargo, en el período analizado (primer semestre de 2024), se registró el mayor valor promedio de CHS en el mes de mayo de 2024 (2,46%), seguido por el mes de abril de 2024 (0,98%). Lo anterior podría relacionarse directamente con el aporte hídrico de los individuos que cuentan con sistema de riego, más que por los eventos de precipitaciones.

### 1.6.2 Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE

Los resultados del primer semestre de 2024 indican que, tanto en enero como en abril, los puntos de monitoreo ubicados en el sector del borde este del salar de Atacama presentan mayor contenido de humedad que aquellos ubicados en el cono aluvial de la quebrada de Camar. En cuanto a la distribución espacial del CHS, podemos ver que los mayores valores se encuentran siempre en el matorral de *Tessaria absinthioides*, mientras que las zonas de vegetación escasa y el matorral de *Tiquilia atacamensis* presentan los menores valores. Por último, en el período analizado (enero – abril 2024) se registró una disminución en las mediciones de CHS en un 52,38% en los puntos muestreados.

En cuanto al pH del sustrato, los suelos en la quebrada de Camar son en su mayoría alcalinos, con un 67,44% y 53,49% de puntos clasificados como fuertemente alcalinos en enero y abril respectivamente. Los valores de pH más altos se ubican en el matorral de *Tiquilia atacamensis* y los más bajos en el matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora*. Los datos históricos muestran una relativa estabilidad en el pH, con la mayoría de los valores situados entre 8,4 y 9 unidades de pH. Sin embargo, se observó una disminución en abril de 2024, posiblemente debido a la dilución de sales por eventos de precipitación.

Respecto a la salinidad del suelo, los datos del primer semestre de 2024 indican que la mayoría de los puntos son no salinos (55,81% en enero y 83,71% en abril), con menor proporción en categorías de mayor salinidad. El matorral de *Tessaria absinthioides* presenta los valores más altos de conductividad eléctrica (15,37 dS/m en enero y 7,00 dS/m en abril), mientras que el matorral de *Tiquilia atacamensis* muestra los valores más

---

<sup>2</sup> 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.

bajos (0,07 dS/M en enero y 0,09 dS/m en abril). La salinidad más alta se encuentra en el borde este del salar, disminuyendo a medida que aumenta la distancia con el núcleo.

## 2 Introducción

El presente informe, elaborado por Geobiota, abarca los resultados del monitoreo realizado durante el primer semestre del año 2024 en el cono aluvial de la quebrada de Camar, dentro del Salar de Atacama, Región de Antofagasta. Este reporte 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 N° 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* (Tamarugo), según estudios actuales de Hughes *et al.* 2022. 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 mimosoideas. 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 Sur<sup>3</sup>, Catálogo de Plantas nativas del Herbario de la Universidad de Concepción<sup>4</sup>, IPNI<sup>5</sup>) y en publicaciones científicas. Dicho lo anterior, en el presente informe 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.

---

<sup>3</sup> 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&espocod=200674>

<sup>4</sup> <http://catalogoplantas.udec.cl/?q=catalogo&combine=neltuma+alba>

<sup>5</sup> <https://www.ipni.org/n/77303585-1>

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	Mensual		Geobiota y monitores de la Comunidad de Camar.
		Porcentaje de copa viva			
		Fenología			
		Etapas de crecimiento	Trimestral		Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile
		Afectación antrópica y/o natural			
		Potencial hídrico			
	Conductancia estomática	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 SpA.
		Estado de los elementos asociado al Sistema de Riego			
Vegetación de la quebrada de Camar	Cobertura de la vegetación medida como superficie	Vitalidad	Trimestral		Geobiota y monitores de la Comunidad de Camar.
		Afectación antrópica y/o natural			
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	ALS Life Sciences Chile (análisis de laboratorio).
				Febrero	
				Marzo	ALS Life Sciences Chile (toma de muestras y análisis de laboratorio).
				Abril	
				Mayo	ALS Life Sciences Chile (análisis de laboratorio).
				Junio	
	Suelo	Contenido de humedad	Trimestral		ALS Life Sciences Chile (análisis de laboratorio).
		Conductividad eléctrica			
		pH			

Fuente: Elaboración propia, 2024

Los individuos de *Neltuma alba* (algarrobo) que se desarrollan en la quebrada han sido agrupados en 5 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 75<sup>6</sup> ejemplares adultos ubicados en las proximidades del ex pozo de extracción Camar-27, de los cuales 15 se encuentran desprendidos o desaparecidos hasta junio 2024.

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)<sup>8</sup>. 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 457 ejemplares hasta junio de 2024. Cabe mencionar que, en las prospecciones realizadas en las distintas campañas, se ha notificado el desprendimiento de 96 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 efectúa desde diciembre de 2022 en 37 individuos de algarrobo en la quebrada de Camar. Estos se dividen en 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"<sup>9</sup> 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 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

---

<sup>6</sup> 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).

<sup>7</sup> 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.

<sup>8</sup> 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.

<sup>9</sup> 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.

en la quebrada de Camar. Los participantes involucrados en la elaboración del informe y la recopilación de datos en terreno están detallados en el Anexo 6.

### 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:

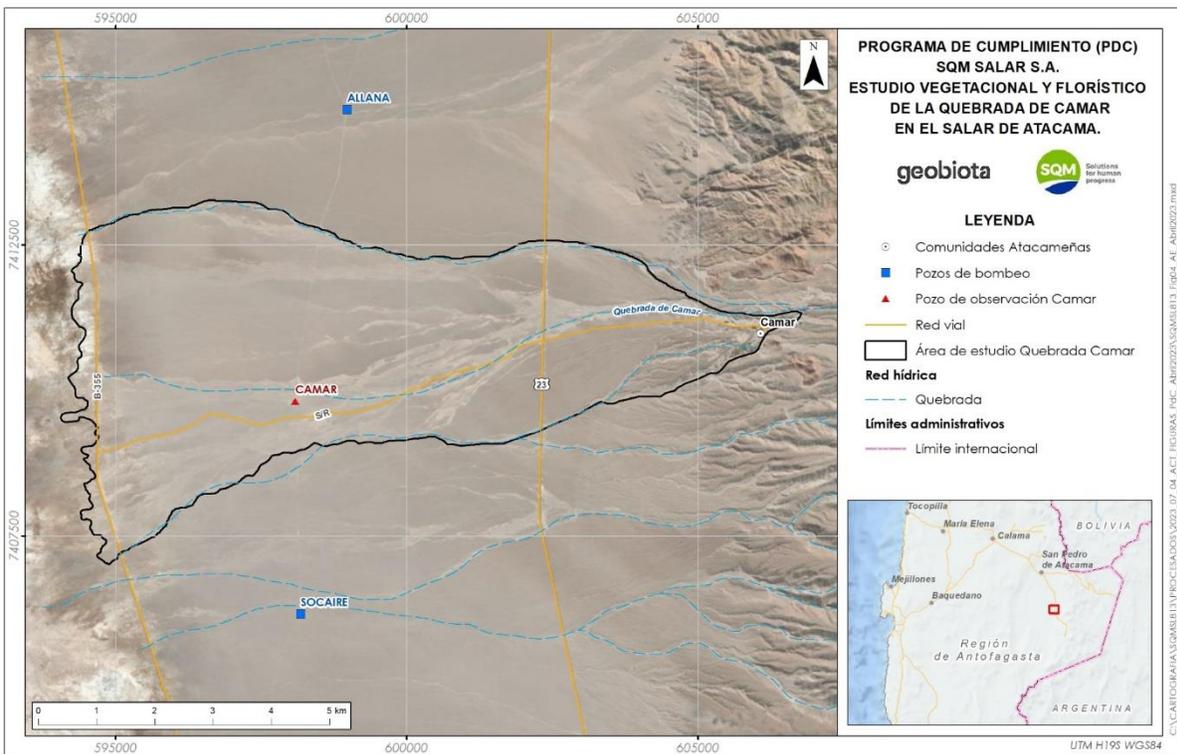
- Censar los individuos de la población de *Neltuma alba* (algarrobo) que se desarrolla en la quebrada de Camar, determinando su estado vital y sanitario a través de la evaluación de los parámetros vitalidad, porcentaje de copa viva, fenología, etapa de crecimiento y tipo de daño (animal o antrópico), y analizar la evolución de estos en el tiempo.
- Evaluar el estado fisiológico de la población de algarrobos mediante la medición del potencial hídrico medido en pre-alba y medio día, además de la conductancia estomática.
- Estimación de la biomasa aérea de la población de algarrobos, a través de la medición de variables dendrométricas.
- Caracterizar los ejemplares de algarrobo sometidos a riego mediante la evaluación del vigor y el porcentaje de copa viva.
- Reportar el estado de los elementos asociados al programa de riego de individuos de algarrobo.
- Evaluar el contenido de humedad del suelo asociado a algunos individuos de algarrobo y su variabilidad en el tiempo.
- Caracterizar las formaciones vegetacionales presentes dentro de la quebrada de Camar en términos de su riqueza, abundancia, estado vital y sanitario, contenido de humedad del suelo, pH y afectación antrópica.

## 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

### 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 individuos 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 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 factores<sup>10</sup>, 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 Huso 19S)**

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-01	598.100	7.409.909	C-55	598.132	7.409.523	E-046	605.974	7.411.097
A-02	598.065	7.409.914	C-56	598.131	7.409.521	E-047	606.040	7.410.946
A-03	598.032	7.409.929	C-57	598.132	7.409.516	E-048	606.041	7.410.951
A-04	598.066	7.409.720	C-58	598.113	7.409.516	E-049	606.040	7.410.949
A-05	598.004	7.409.777	C-59	598.111	7.409.506	E-050	606.036	7.410.954
A-06	597.867	7.409.701	C-60	598.095	7.409.505	E-051	606.034	7.410.959
A-07	597.031	7.409.692	C-61	598.143	7.409.489	E-052	606.033	7.410.957
A-08	597.052	7.409.693	C-62	598.141	7.409.493	E-053-A	606.047	7.410.951
A-09	597.055	7.409.705	C-63	598.178	7.409.504	E-053-B	606.047	7.410.951
A-10	597.087	7.409.700	C-64	598.142	7.409.518	E-054*	606.046	7.410.951
A-11	597.201	7.409.691	C-65	598.545	7.409.509	E-055	606.039	7.410.946
A-12	597.223	7.409.975	C-66	598.557	7.409.716	E-056*	606.043	7.410.944
A-13	597.288	7.409.962	C-67	598.563	7.409.715	E-057*	606.051	7.410.951
A-14	597.286	7.409.993	C-68	598.588	7.409.723	E-058	606.055	7.410.950

<sup>10</sup> La serie E se compone de 196 individuos hasta junio 2024. En noviembre 2022, marzo de 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 Huso 19S)

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-15	597.260	7.409.999	C-69	598.602	7.409.731	E-059	606.046	7.410.956
A-16	597.582	7.409.925	C-70	598.609	7.409.736	E-060	606.051	7.410.960
A-17	597.603	7.409.916	C-71	598.602	7.409.691	E-061	606.044	7.410.960
A-18	597.621	7.409.920	C-72	598.575	7.409.695	E-062	606.050	7.410.966
A-19	597.621	7.409.913	C-74	598.105	7.409.725	E-063	606.054	7.410.970
A-20	597.627	7.409.921	C-75	598.098	7.409.481	E-064	606.042	7.410.968
A-21	597.632	7.409.915	C-76	598.109	7.409.481	E-065	606.029	7.410.940
A-22	597.634	7.409.921	C-77	598.102	7.409.492	E-066	606.021	7.410.910
A-23	597.645	7.409.915	C-78	598.469	7.409.488	E-067	606.023	7.410.909
A-24	597.649	7.409.924	C-79	598.469	7.409.679	E-068	606.024	7.410.911
A-25	597.655	7.409.919	D-01	599.662	7.409.679	E-069	606.021	7.410.912
A-26	597.665	7.409.923	D-02	599.297	7.409.953	E-070	606.018	7.410.915
A-27	597.679	7.409.918	D-03	599.294	7.409.919	E-071	606.019	7.410.917
A-28	597.683	7.409.912	D-04	599.278	7.409.926	E-072	606.014	7.410.895
A-29	597.747	7.409.936	D-05	599.277	7.409.953	E-073	606.008	7.410.893
A-30	597.788	7.409.952	D-06	599.282	7.409.966	E-074	606.005	7.410.891
A-31	597.792	7.409.953	D-07	599.227	7.410.001	E-075	605.998	7.410.898
A-32	598.738	7.409.919	D-08	599.204	7.410.004	E-076	605.952	7.410.788
A-33	598.759	7.409.902	D-09	599.070	7.409.970	E-077	605.959	7.410.780
A-34	598.819	7.409.920	D-10	598.731	7.409.990	E-078	605.845	7.410.745
A-35	598.848	7.409.926	D-11	598.693	7.409.609	E-079	605.833	7.410.743
A-36	598.732	7.409.766	D-12	598.710	7.409.626	E-080	605.807	7.410.778
A-37	598.698	7.409.766	D-13	598.570	7.409.682	E-081	605.814	7.410.786
A-38	598.677	7.409.695	D-14	598.603	7.409.716	E-082	605.772	7.410.776
A-39	598.670	7.409.699	D-15	598.610	7.409.715	E-083	605.766	7.410.789
A-40	598.574	7.409.693	D-16	598.562	7.409.710	E-085	606.038	7.410.912
A-41	598.469	7.409.677	D-17	598.540	7.409.705	E-086	606.040	7.410.915
A-42	598.403	7.409.674	D-18	598.578	7.409.679	E-087	605.556	7.410.590
A-43	598.432	7.409.734	D-19	598.564	7.409.639	E-088	605.563	7.410.582

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

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-44	598.449	7.409.740	D-20	598.550	7.409.621	E-089	605.561	7.410.584
A-45	598.488	7.409.746	D-21	598.537	7.409.624	E-090	605.498	7.410.577
A-46	598.492	7.409.741	D-22	598.529	7.409.626	E-091	605.497	7.410.576
A-47	598.581	7.409.758	D-23	598.523	7.409.626	E-092	605.495	7.410.569
A-48	598.314	7.409.784	D-24	598.098	7.409.610	E-093	605.495	7.410.563
A-49	598.579	7.409.683	D-25	598.160	7.409.448	E-094	605.509	7.410.561
A-50	598.543	7.409.660	D-26	598.113	7.409.501	E-095	605.494	7.410.559
A-51	598.491	7.409.653	D-27	598.112	7.409.457	E-096	605.493	7.410.561
A-52	598.483	7.409.654	D-28	598.055	7.409.453	E-097	605.489	7.410.563
A-53	598.414	7.409.660	D-29	598.107	7.409.879	E-098	605.484	7.410.567
A-54	598.419	7.409.645	D-30	598.086	7.409.900	E-099	605.485	7.410.558
A-55	598.388	7.409.586	D-31	598.078	7.409.861	E-100	605.484	7.410.549
A-56	598.359	7.409.612	D-32	598.111	7.409.798	E-101	605.486	7.410.550
A-57	598.341	7.409.607	D-33	598.103	7.409.491	E-102	605.482	7.410.548
A-58	598.407	7.409.807	D-34	598.695	7.409.488	E-103	605.439	7.410.545
A-59	597.880	7.409.705	D-35	598.660	7.409.708	E-104	605.436	7.410.548
A-60	597.318	7.409.687	D-36	599.272	7.409.717	E-108	605.297	7.410.425
A-61	597.595	7.409.927	D-37	599.230	7.409.965	E-109	605.295	7.410.415
A-62	597.697	7.409.914	D-38	598.117	7.409.982	E-110	605.305	7.410.418
A-63	597.715	7.409.919	D-39	598.116	7.410.175	E-111	605.303	7.410.418
A-64	597.703	7.409.910	D-40	598.119	7.410.182	E-112	605.308	7.410.411
A-65	597.718	7.409.904	D-41	598.118	7.410.189	E-113	605.305	7.410.406
A-66	597.731	7.409.907	D-42	598.118	7.410.190	E-114	605.307	7.410.403
A-67	597.746	7.409.922	D-43	598.117	7.410.207	E-115	605.304	7.410.393
A-68	597.767	7.409.938	D-45	598.189	7.410.214	E-116	605.322	7.410.402
A-69	598.076	7.409.878	D-46	598.516	7.409.866	E-117	605.324	7.410.401
A-70	598.028	7.409.873	D-47	598.509	7.409.637	E-118	605.326	7.410.400
A-71	597.817	7.409.786	D-48	598.679	7.409.661	E-119	605.330	7.410.403
AX-01	598.305	7.409.804	D-49	598.728	7.409.705	E-120	605.313	7.410.411

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

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
AX-02	597.020	7.409.942	D-50	598.745	7.409.637	E-121	605.311	7.410.414
AX-03	597.037	7.409.920	D-51	598.760	7.409.632	E-122	605.310	7.410.416
AX-76	597.609	7.409.906	D-52	598.755	7.409.662	E-123	605.307	7.410.422
B-01	598.922	7.409.874	D-53	598.795	7.409.668	E-124	605.305	7.410.426
B-02	599.016	7.409.889	D-54	598.822	7.409.663	E-125	605.313	7.410.423
B-03	599.710	7.409.937	D-55	598.810	7.409.679	E-126	605.316	7.410.418
B-04	600.761	7.410.288	D-56	598.829	7.409.698	E-127	605.319	7.410.425
B-05	601.215	7.410.461	D-57	598.741	7.409.702	E-128	605.318	7.410.425
B-06	601.266	7.410.440	D-58	599.249	7.409.692	E-129	605.324	7.410.414
B-07	601.306	7.410.495	D-59	601.641	7.409.977	E-130	605.390	7.410.434
B-08	601.379	7.410.552	D-60	599.289	7.410.610	E-132	605.468	7.410.532
B-09	601.420	7.410.585	D-61	598.987	7.409.931	E-133	605.476	7.410.527
B-10	601.403	7.410.509	D-62	598.743	7.409.858	E-134	605.472	7.410.529
B-11	601.603	7.410.548	D-63	598.714	7.409.654	E-135	604.455	7.411.156
B-12	601.635	7.410.587	D-64	599.100	7.409.620	E-137	603.033	7.411.234
B-13	601.683	7.410.612	D-65	599.076	7.409.867	E-138	603.606	7.411.329
B-14	601.711	7.410.666	D-66	599.083	7.409.951	E-139	603.585	7.411.343
B-15	601.710	7.410.672	D-67	598.742	7.409.874	E-140	604.510	7.411.144
B-16	601.856	7.410.736	D-68	598.114	7.409.681	E-141	603.675	7.411.341
B-17	601.972	7.410.806	D-69	598.138	7.410.168	E-142	603.724	7.411.353
B-18	602.174	7.410.934	D-70	598.138	7.409.964	E-143	603.733	7.411.365
B-19	602.256	7.410.943	D-71	599.083	7.409.952	E-144	606.042	7.410.953
B-20	602.261	7.410.998	D-72	599.015	7.409.952	E-145	606.048	7.410.944
B-21	602.313	7.410.998	D-73	598.997	7.409.873	E-146	606.051	7.410.921
BX-01	602.298	7.411.023	D-74	598.944	7.409.858	E-147	606.018	7.410.911
C-01	598.556	7.409.676	D-75	598.488	7.409.853	E-148	605.873	7.410.732
C-02	598.553	7.409.678	D-76	598.502	7.409.655	E-149	605.975	7.411.097
C-03	598.559	7.409.682	D-77	598.701	7.409.630	E-150	605.971	7.411.097
C-04	598.559	7.409.682	D-78	598.766	7.409.642	E-151	605.993	7.411.112

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

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
C-05	598.561	7.409.683	D-79	598.750	7.409.652	E-152	605.937	7.411.151
C-06	598.567	7.409.681	D-80	598.664	7.409.601	E-153	605.932	7.411.156
C-07	598.568	7.409.678	D-81	598.703	7.409.537	E-154	605.925	7.411.155
C-08	598.570	7.409.679	D-82	598.942	7.409.788	E-155	605.923	7.411.161
C-09	598.577	7.409.681	D-83	598.950	7.409.740	E-156	605.522	7.411.221
C-10	598.588	7.409.673	D-84	598.740	7.409.726	E-157	605.522	7.411.220
C-11	598.587	7.409.674	D-85	598.116	7.410.127	E-158	605.306	7.411.156
C-12	598.586	7.409.673	E-001	606.029	7.411.124	E-159	604.850	7.411.570
C-13A	598.593	7.409.689	E-002	605.751	7.411.098	E-160	604.743	7.411.332
C-13B	598.586	7.409.688	E-003	605.752	7.411.099	E-161	606.043	7.410.945
C-14	598.602	7.409.693	E-004	605.648	7.411.143	E-162	605.165	7.411.340
C-15	598.603	7.409.693	E-005	605.574	7.411.225	E-163	604.990	7.411.468
C-16	598.618	7.409.703	E-006	605.555	7.411.222	E-164	604.745	7.411.334
C-17	598.623	7.409.690	E-007	605.534	7.411.243	E-165	604.489	7.411.159
C-18	598.624	7.409.692	E-008	605.513	7.411.217	E-166	605.975	7.411.096
C-19	598.630	7.409.704	E-009	605.392	7.411.271	E-167	606.058	7.410.915
C-20	598.539	7.409.722	E-010	605.342	7.411.255	E-168	606.057	7.410.912
C-21	598.557	7.409.718	E-011	605.157	7.411.342	E-169	605.977	7.411.091
C-22	598.560	7.409.720	E-013	605.163	7.411.368	E-170	605.040	7.411.515
C-23	598.595	7.409.728	E-014	604.976	7.411.510	E-171	603.458	7.411.354
C-24	598.595	7.409.721	E-015	604.863	7.411.556	E-172	606.047	7.410.952
C-25	598.599	7.409.719	E-016	604.835	7.411.561	E-173	606.044	7.410.954
C-26	598.606	7.409.726	E-017	604.820	7.411.568	E-174	605.069	7.411.397
C-27	598.598	7.409.709	E-018	604.725	7.411.511	E-175	604.719	7.411.504
C-28	598.614	7.409.713	E-019	604.818	7.411.448	E-176	604.733	7.411.567
C-29	598.625	7.409.722	E-020	604.744	7.411.349	E-177	604.691	7.411.544
C-30	598.620	7.409.721	E-021	604.553	7.411.155	E-178	604.840	7.411.567
C-31	598.097	7.409.466	E-022	604.553	7.411.155	E-179	605.161	7.411.344
C-32	598.113	7.409.482	E-023	604.555	7.411.161	E-180	604.744	7.411.325

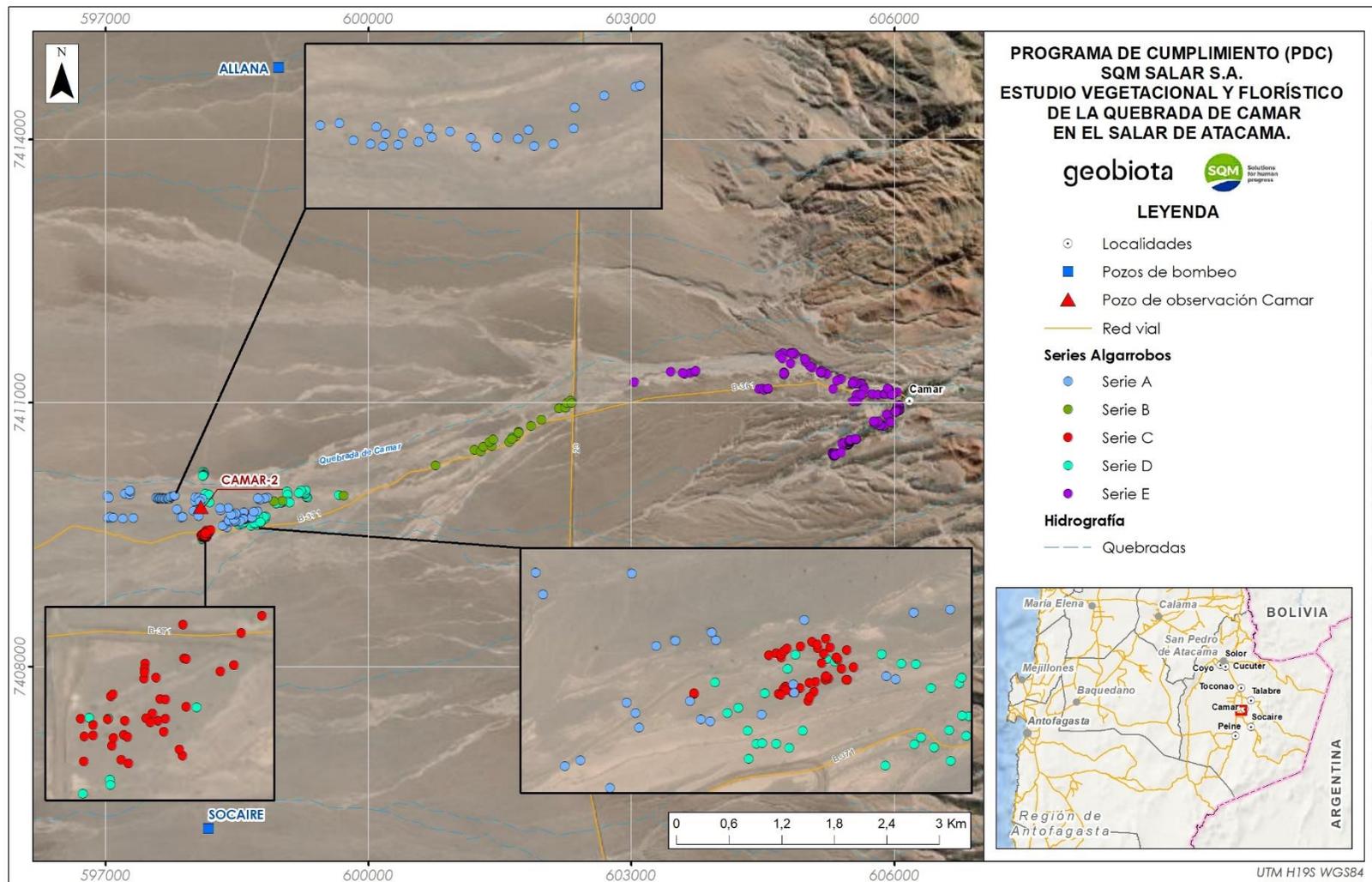
Tabla 4-1 Ubicación de los individuos de *N. alba* monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 Huso 19S)

Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
C-33	598.113	7.409.480	E-024	605.524	7.411.020	E-181	605.626	7.411.209
C-34	598.117	7.409.483	E-025	605.577	7.411.022	E-182	605.624	7.411.221
C-35	598.118	7.409.482	E-026	605.577	7.411.040	E-183	605.626	7.411.215
C-36	598.121	7.409.469	E-027	605.574	7.411.097	E-184	605.662	7.411.161
C-37	598.121	7.409.490	E-028	605.608	7.411.093	E-185	605.976	7.411.097
C-38	598.119	7.409.490	E-029	605.811	7.411.093	E-186	605.974	7.411.099
C-39	598.133	7.409.492	E-030	605.885	7.411.098	E-187	605.629	7.411.089
C-40	598.135	7.409.494	E-031	605.891	7.411.099	E-188	605.629	7.411.090
C-41	598.133	7.409.490	E-032	605.894	7.411.099	E-190	606.053	7.410.957
C-42	598.137	7.409.491	E-033	605.970	7.411.100	E-191	605.965	7.411.108
C-43	598.141	7.409.484	E-034	605.972	7.411.097	E-192	606.046	7.410.966
C-44	598.152	7.409.484	E-035	605.975	7.411.099	E-193	604.047	7.411.474
C-45	598.150	7.409.473	E-036	605.977	7.411.101	E-194	605.459	7.411.243
C-46	598.155	7.409.474	E-037	605.971	7.411.096	E-195	604.747	7.411.329
C-47	598.184	7.409.499	E-038	605.968	7.411.096	E-196	506.043	7.410.945
C-48	598.184	7.409.520	E-039	605.975	7.411.097	E-197	606.047	7.410.968
C-49	598.198	7.409.523	E-040	605.971	7.411.092	E-198	606.044	7.410.967
C-50	598.152	7.409.549	E-041	605.973	7.411.098	E-199	605.973	7.411.092
C-51	598.156	7.409.544	E-042	605.975	7.411.098	E-200	603.426	7.411.349
C-52	598.155	7.409.526	E-043	605.977	7.411.099	E-201	602.479	7.411.086
C-53	598.138	7.409.528	E-044	605.975	7.411.099	E-202	604.983	7.411.471
C-54	598.131	7.409.519	E-045	605.972	7.411.100	E-203	604.849	7.411.562

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

Fuente: Registro reporte mensual, 2024

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



Fuente: Elaboración propia, 2024

#### 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, un grupo de 9 ejemplares de la serie B, 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 de la tubería de agua superficial, y algunos individuos cuentan con un sistema de riego implementado en razón a la Acción 28<sup>11</sup> 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.

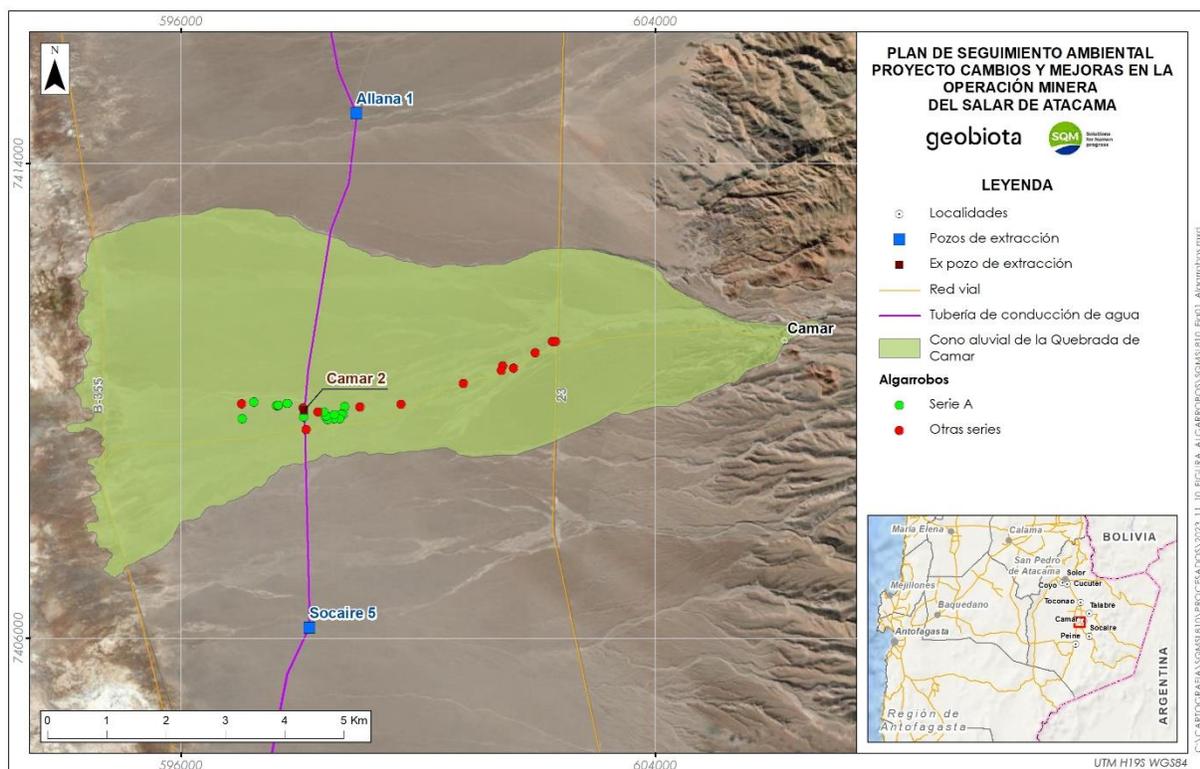
Tabla 4-2. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 Huso 19S)

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, 2024

<sup>11</sup> 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, 2024

#### 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 monitoreado 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 Huso 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	
	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

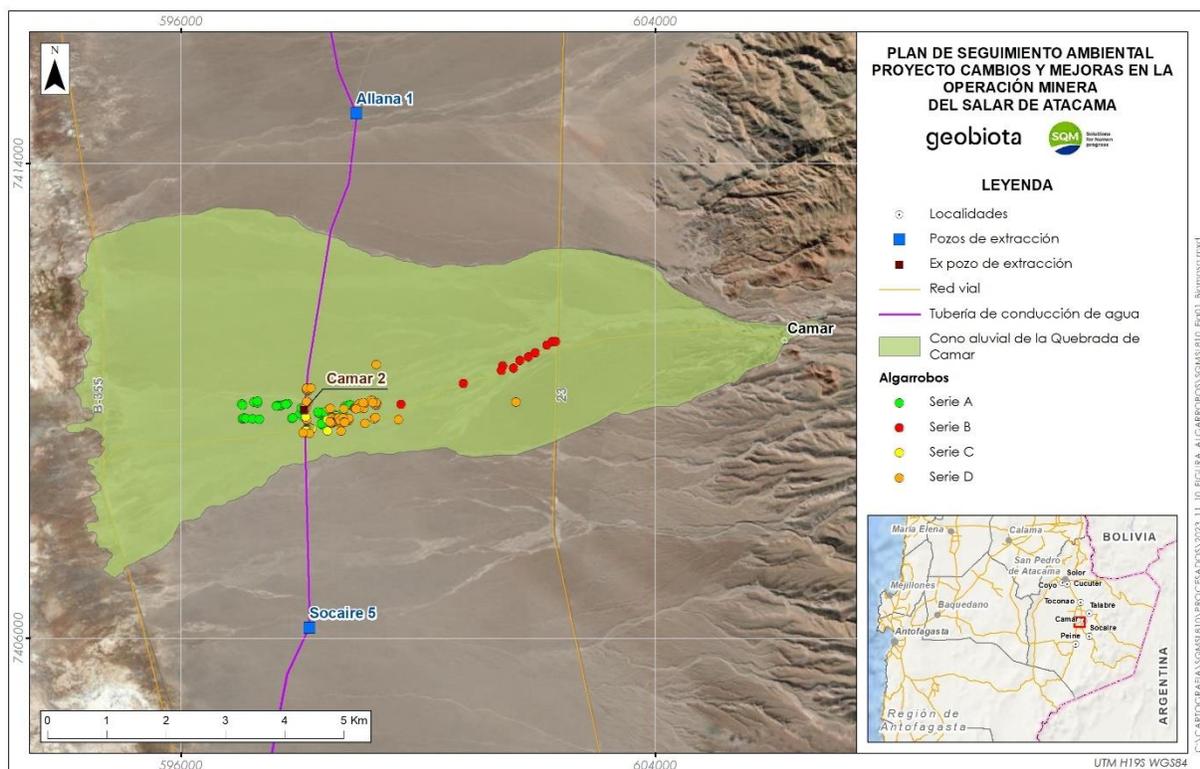
Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-10	597.087	7.409.700	C-03	598.559	7.409.682	C-55	598.132	7.409.523
A-11	597.201	7.409.691	C-05	598.561	7.409.683	C-56	598.131	7.409.521
A-12	597.223	7.409.975	C-06	598.567	7.409.681	C-58	598.113	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
A-45	598.488	7.409.746	C-40	598.135	7.409.494	D-15	598.610	7.409.715

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	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
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, 2024

### 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 dendrométricas	Descripción visual Mediciones de potencial hídrico y conductancia estomática Medición en terreno de variables dendrométricas

Fuente: Elaboración propia, 2024

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
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 N° 226/2006, y a partir de informes correspondientes al Plan de cumplimiento<sup>12</sup>, 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 corresponden a 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).
3	Adulto	Individuos que presentan mayor desarrollo en altura y diámetros de troncos en general por sobre 2 cm. Su principal característica es que han alcanzado su madurez reproductiva y

<sup>12</sup> "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
		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 quebradizas y follaje menos denso.
5	Seco	Individuo que no presenta follaje ni estructuras reproductivas.

Fuente: Elaboración propia, 2024

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.

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.

Dentro del Anexo 11 se exponen, para cada serie de árboles, las variables dendrométricas comprometidas en el marco de la acción 24 del Plan de Cumplimiento (PdC) y que son parte de las mediciones necesarias para la estimación de la biomasa.

## 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 CO<sup>2</sup> y humedad. La conductancia estomática es la velocidad de paso de CO<sup>2</sup> 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:

$Db_e$  = 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 ( $Db_e$ ) (cm).
- Altura media por rango diamétrico (m).
- Abundancia (N° de vástagos).
- Área basal ( $m^2$ ).
- Área de copa ( $Acopa$ ) ( $m^2$ ).
- Volumen de copa ( $Vc$ ) ( $m^3$ ).

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  $0,015m^3$ , (cubo  $0,25 \times 0,25 \times 0,25$  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),

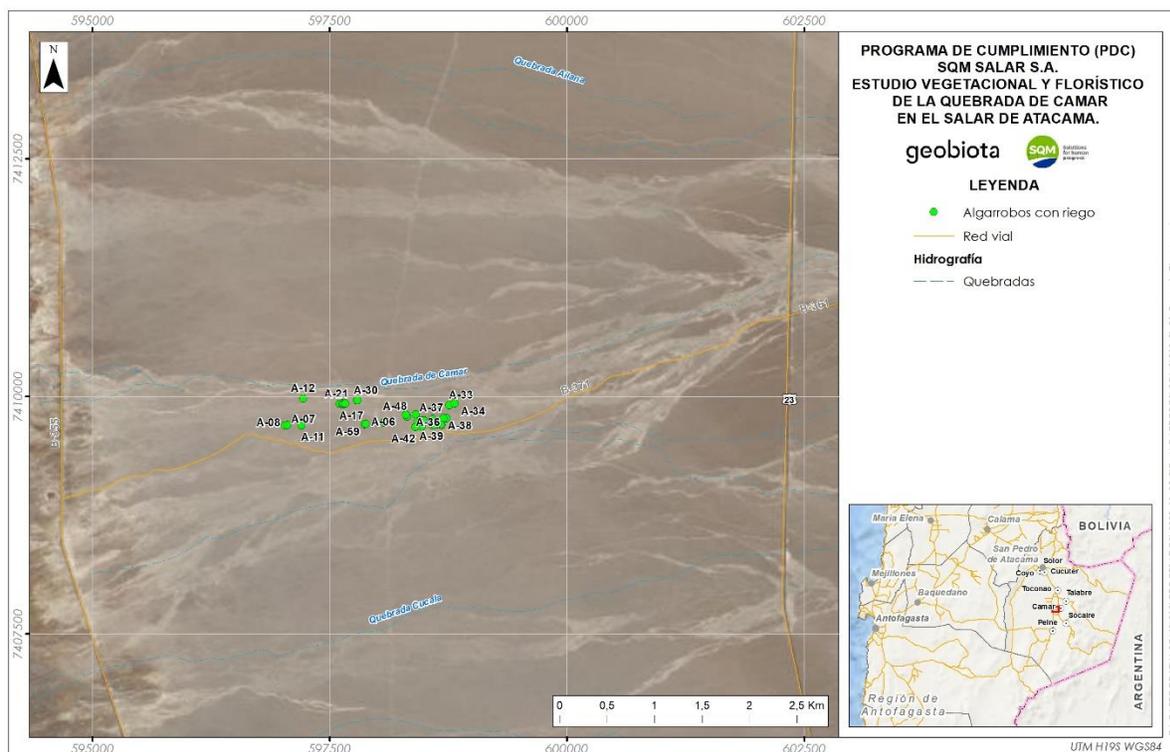
Tabla 4-10. Ubicación georreferenciada de ejemplares de algarrobos con riego

N°	ID	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S		N°	ID	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso19S	
		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, 2024

### 4.3.2 Parámetros evaluados

#### 4.3.2.1 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”

#### 4.3.2.2 Evaluación del sistema de riego

De acuerdo con lo estipulado en el punto N°3 de la acción 28 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.

#### 4.3.3 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 SpA., 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 de flora<sup>13</sup>), 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 H19S)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19S)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19S)	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
P-001	598.950	7.412.025	P-038	594.563	7.410.455	P-072	594.831	7.409.047
P-002	601.671	7.410.744	P-039	594.695	7.411.923	P-073	594.917	7.408.966
P-003	601.650	7.410.896	P-041	594.707	7.411.384	P-075	595.029	7.408.809
P-005	600.217	7.412.190	P-043	594.713	7.410.854	P-076	595.325	7.408.734
P-006	599.833	7.409.334	P-044	594.792	7.410.969	P-077	595.183	7.408.546
P-007	598.819	7.409.194	P-045	594.852	7.410.591	P-078	595.217	7.408.676
P-008	598.103	7.410.086	P-046	594.642	7.410.287	P-079	594.776	7.408.748
P-011	599.403	7.409.234	P-047	594.459	7.410.146	P-081	594.963	7.408.563
P-012	594.461	7.412.545	P-048	594.445	7.410.018	P-082	594.960	7.408.389
P-013	594.703	7.412.470	P-050	594.609	7.409.852	P-083	595.107	7.408.284
P-016	596.678	7.412.008	P-051	594.521	7.409.677	P-087	595.614	7.407.943
P-019	597.224	7.411.948	P-052	594.572	7.409.592	P-088	596.136	7.408.125
P-021	597.496	7.412.114	P-054	594.743	7.410.432	P-089	595.627	7.407.665
P-022	597.451	7.410.072	P-055	594.928	7.410.273	P-090	595.209	7.408.056

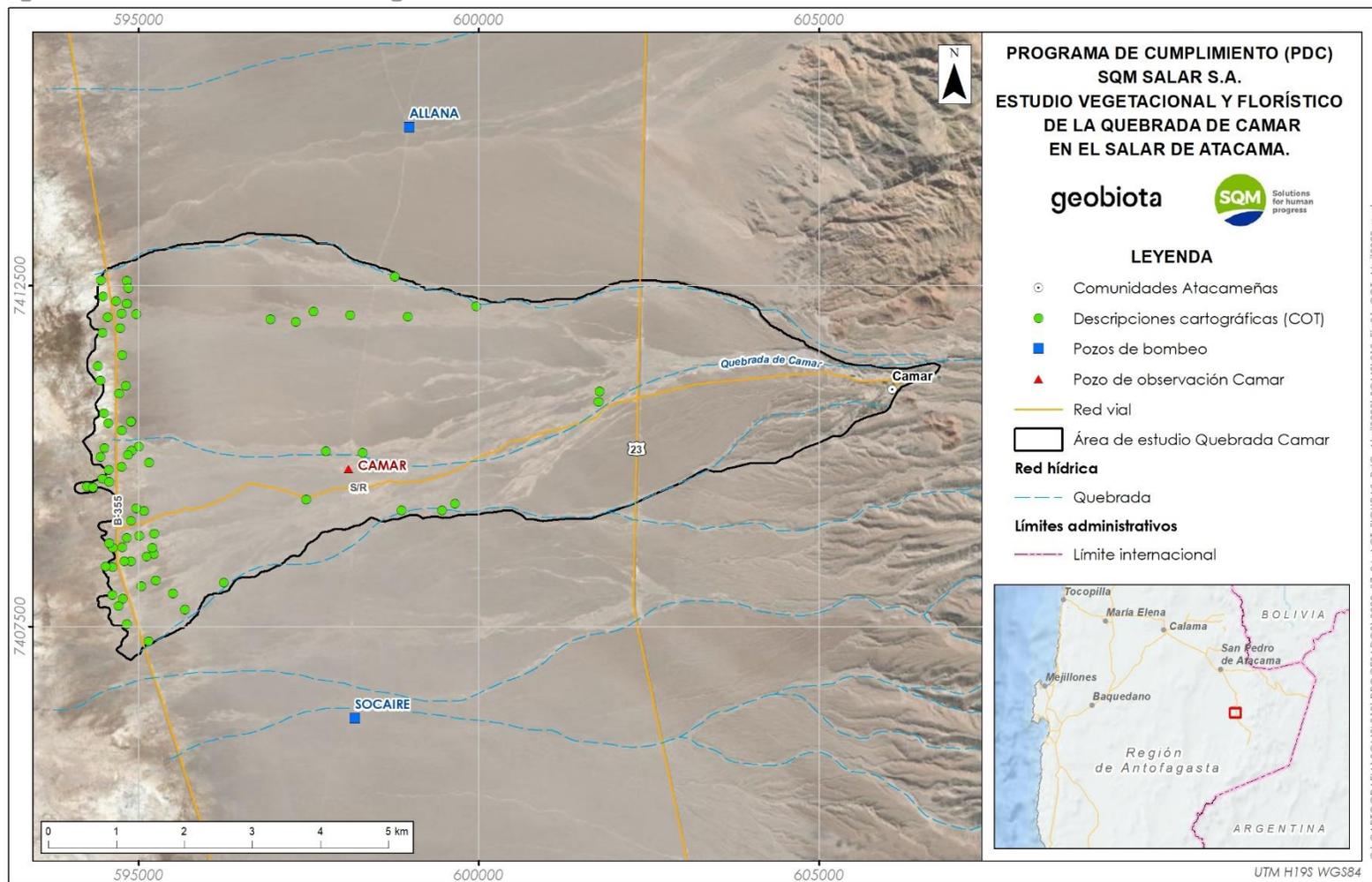
<sup>13</sup> Para el presente monitoreo sólo se consideraron los datos de 75 puntos, equivalentes a 225 transectos, a diferencia de las COT (76), que consideran el P-01 realizado a distancia, ya que este se encuentra dentro de un recinto privado.

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

Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19S)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19S)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19S)	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
P-023	594.816	7.412.586	P-056	594.919	7.410.144	P-091	594.980	7.408.177
P-025	594.505	7.412.361	P-057	595.000	7.409.996	P-093	594.552	7.408.319
P-026	594.890	7.412.422	P-058	594.774	7.410.014	P-094	594.570	7.408.436
P-027	594.778	7.412.331	P-060	594.272	7.409.593	P-095	594.512	7.407.884
P-028	594.910	7.412.249	P-061	594.507	7.409.518	P-096	594.785	7.407.895
P-029	594.972	7.412.098	P-064	594.658	7.408.595	P-097	594.669	7.407.707
P-030	594.713	7.412.112	P-065	594.594	7.408.659	P-098	594.950	7.407.495
P-031	594.498	7.411.855	P-067	595.096	7.409.888	P-100	595.152	7.404.285
P-032	594.550	7.412.045	P-068	594.710	7.409.783	P-102	598.028	7.412.068
P-035	594.413	7.411.325	P-069	594.812	7.409.213	P-108	599.039	7.412.505
P-036	594.466	7.411.114	P-070	595.127	7.409.171	-	-	-
P-037	594.514	7.410.618	P-071	594.957	7.409.140	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, 2024

Figura 4-6. Esfuerzo de muestreo de vegetación



Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 4-14. Esfuerzo de muestreo campañas primer semestre 2024

Formación vegetacional	Enero 2024			Abril 2024		
	Superficie (ha)	Vegetación (N° observaciones)	Flora (N° transectos)	Superficie (ha)	Vegetación (N° observaciones)	Flora (N° transectos)
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	238,41	46	138	231,54	46	138
Matorral de <i>Tiquilia atacamensis</i>	108,41	8	24	98,74	8	24
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i> – <i>Atriplex imbricata</i>	44,05	10	30	30,77	10	30
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> – <i>Ephedra multiflora</i>	17,99	4	12	35,08	4	12
Pradera de <i>Distichlis spicata</i>	0,48	0	0	3,55	0	0
Bosque de <i>Neltuma alba</i>	9,34	0	0	9,34	0	0
<b>Total</b>	<b>418,68</b>	<b>68</b>	<b>204</b>	<b>409,02</b>	<b>68</b>	<b>204</b>
Zona de vegetación escasa	3.572,83	7	21	3.582,48	7	21
<b>Total</b>	<b>3.991,51<sup>14</sup></b>	<b>75</b>	<b>225</b>	<b>3.991,50</b>	<b>75</b>	<b>225</b>

Fuente: Elaboración propia, 2024

#### 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, 2024

<sup>14</sup> No se incluyen las zonas identificadas como bosque de *Neltuma alba* (9,34 ha) ni tampoco otras superficies intervenidas (52,54 ha).

### 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). La vegetación que se desarrolla en la quebrada fue caracterizada 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 en la quebrada de Camar, principalmente aquella proveniente del Plan de Seguimiento Ambiental del Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera del Salar de Atacama<sup>15</sup>.

**Etapa II: Elaboración de la cartografía preliminar de vegetación.** Se efectuó un proceso de fotointerpretación de imágenes satelitales y de segmentación en unidades cartográficas denominadas unidades de vegetación homogéneas o UVH (polígonos), usando como criterio la similitud de los patrones de textura, color y estructura atribuibles a alguna formación vegetal (e.g. bosque, plantación, matorral, pradera). Se realizó en el Sistema de Información Geográfica (SIG), ArcGIS 10.8, sobre una imagen capturada en abril de 2024, por el satélite Pléiades. La escala de trabajo utilizada fue de 1:10.000, con una resolución de 2 m para la banda multiespectral 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 2024) y otra en otoño (ejecutada en el mes de abril 2024), 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

<sup>15</sup> 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
>20 m	> 2 m	1 - 2 m	>2 m
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 encuentran.

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 2024).

#### 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

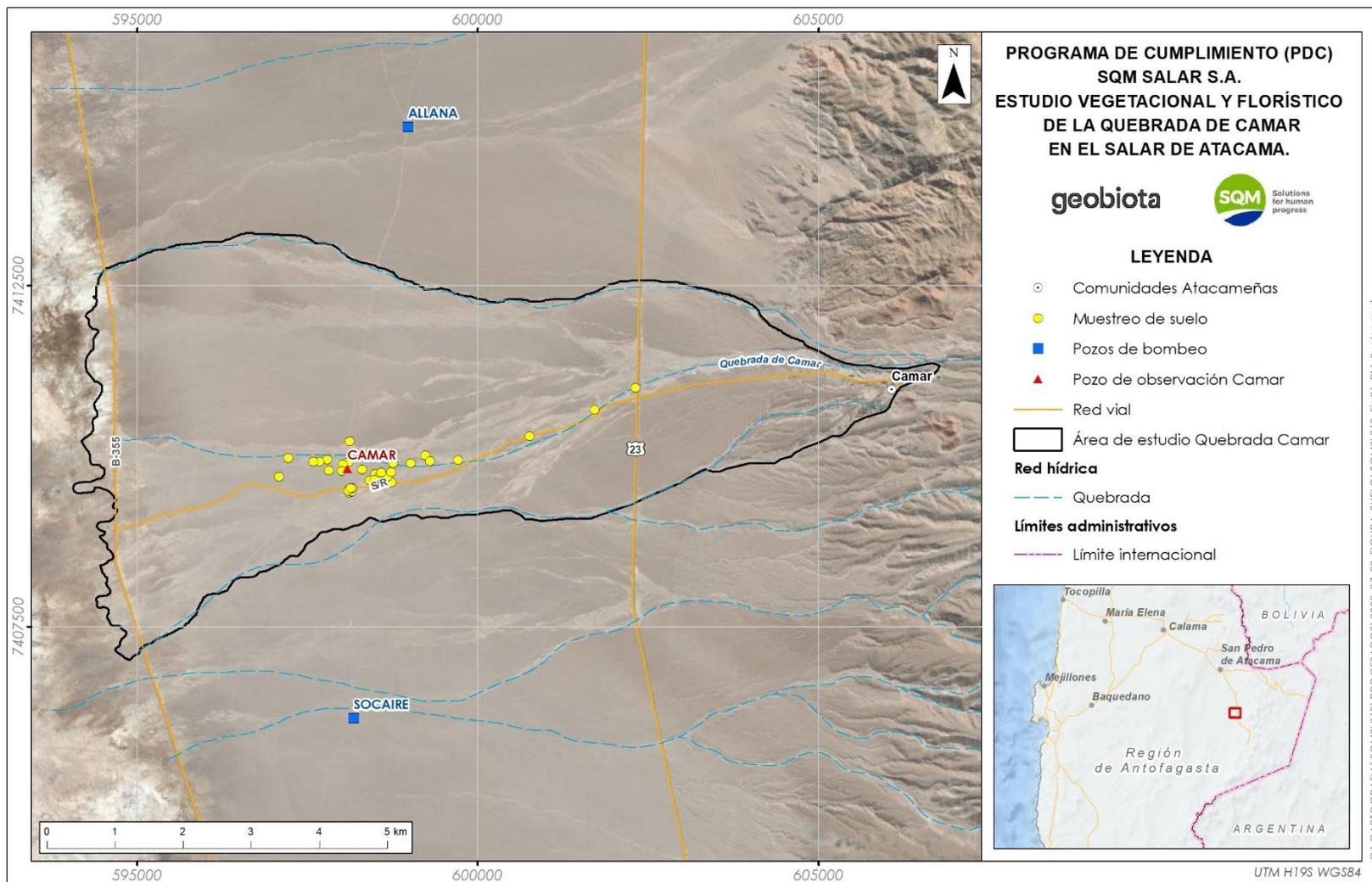
N	N° árbol	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S		N	N° árbol	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S	
		Este	Norte			Este	Norte
01	A05	598.000	7.409.770	21	B21	602.313	7.411.000
02	A10	597.084	7.409.690	22	C15	598.603	7.409.690
03	A12	597.220	7.409.970	23	C19	598.630	7.409.700
04	A17	597.603	7.409.916	24	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

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

N	N° árbol	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S		N	N° árbol	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S	
		Este	Norte			Este	Norte
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	D29	598.107	7.409.900
20	B15	601.710	7.410.670	40	D43	598.117	7.410.210

Fuente: Elaboración propia, 2024

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



Fuente: Elaboración propia, 2024

#### 4.5.1.2 Monitoreo trimestral (CHS, pH y CE)

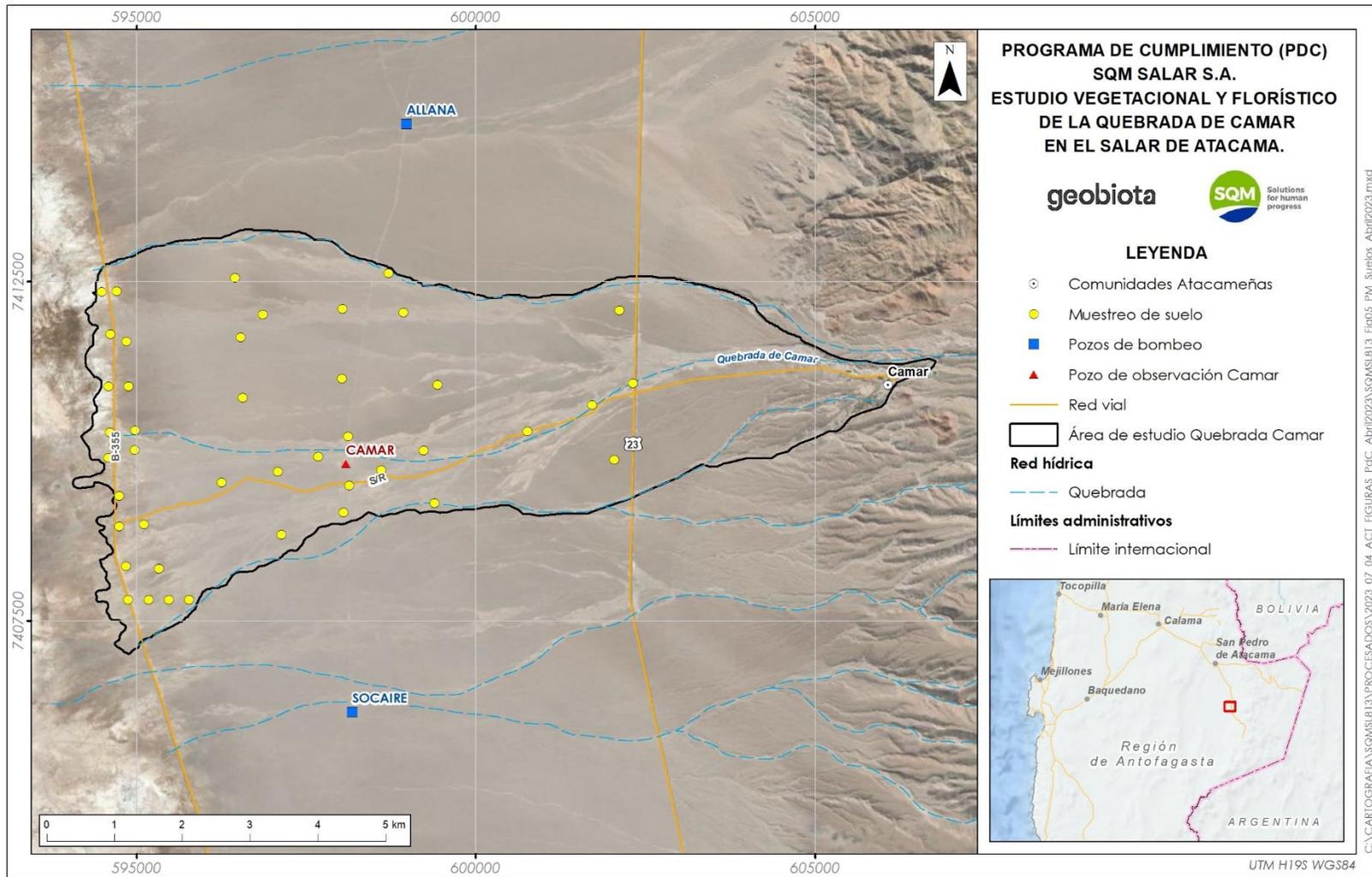
En el caso del monitoreo trimestral, el muestreo se realiza en los alrededores de algunos individuos de algarrobos y, además, se incorporan puntos de muestreo en la zona donde hay mayor desarrollo de vegetación, en el sector más bajo de la quebrada, totalizando en 43 muestras, tal como se establece en 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 H19S)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19S)		Punto	Coordenadas UTM (datum WGS84 H19S)	
	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, 2024

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 SpA<sup>16</sup> y la empresa ALS Life Sciences Chile<sup>17</sup>, ambas autorizadas como Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) para la toma de muestras de suelo<sup>18</sup>. 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 Cámara fotográfica

<sup>16</sup> Código ETFA N°015 - 01

<sup>17</sup> Código ETFA 029-03.

<sup>18</sup> 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 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 primer semestre 2024

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo algarrobos - enero 2024	22/01/2024 - 26/01/2024
Monitoreo algarrobos - febrero 2024	19/02/2024 - 23/02/2024
Monitoreo algarrobos - marzo 2024	11/03/2024 - 15/03/2024
Monitoreo algarrobos - abril 2024	22/04/2024 - 26/04/2024
Monitoreo algarrobos - mayo 2024	27/05/2024 - 31/05/2024
Monitoreo algarrobos - junio 2024	24/06/2024 - 28/06/2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 4-24. Fechas de muestreo monitoreo de algarrobos bajo sistema de riego primer semestre 2024

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo algarrobos- enero 2024	05/01/2024
	12/01/2024
	19/01/2024
	26/01/2024
Monitoreo algarrobos - febrero 2024	02/02/2024
	09/02/2024
	16/02/2024
	23/02/2024
Monitoreo algarrobos - marzo 2024	01/03/2024
	08/03/2024
	15/03/2024
	23/03/2024
	29/03/2024
Monitoreo algarrobos - abril 2024	06/04/2024
	12/04/2024
Monitoreo algarrobos - mayo 2024	02/05/2024
	17/05/2024
Monitoreo algarrobos - junio 2024	08/06/2024
	21/06/2024

Fuente: GMA SQM Salar, 2024

Tabla 4-25. Fechas de muestreo potencial hídrico y conductancia estomática primer semestre 2024

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo fisiología - enero 2024	24/01/2024 - 26/01/2024
Monitoreo fisiología - abril 2024	03/04/2024 - 05/04/2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 4-26. Fechas de muestreo medición de variables dendrométricas primer semestre 2024

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo variables dendrométricas - enero 2024	22/01/2024 - 25/01/2024
Monitoreo variables dendrométricas - abril 2024	02/04/2024 - 05/04/2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 4-27. Fechas de muestreo monitoreo de flora y vegetación primer semestre 2024

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo flora y vegetación – enero 2024	08/01/2024 - 12/01/2024 22/01/2024 - 24/01/2024
Monitoreo flora y vegetación – abril 2024	01/04/2024 - 05/04/2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 4-28. Fechas de muestreo de monitoreo de suelo primer semestre 2024

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo mensual CHS – enero 2024	23/01/2024 – 24/01/2024
Monitoreo mensual CHS – febrero 2024	20/02/2024 – 21/02/2024
Monitoreo mensual CHS – marzo 2024	11/03/2024 - 12/03/2024
Monitoreo mensual CHS – abril 2024	23/04/2024 - 25/04/2024
Monitoreo mensual CHS – mayo 2024	28/05/2024 - 29/05/2024
Monitoreo mensual CHS – junio 2024	25/06/2024 - 26/06/2024
Monitoreo trimestral CHS, pH y CE – enero 2024	23/01/2024 - 24/01/2024
Monitoreo trimestral CHS, pH y CE – abril 2024	24/04/2024 - 26/04/2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

## 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 2024, se han incorporado 4 individuos nuevos al monitoreo, aumentando el universo de 453 individuos monitoreados en diciembre 2023 a 457 individuos de algarrobos hasta la fecha (junio de 2024). Este número total de individuos se desglosa en: individuos en pie (342), desaparecidos (96), individuos *Strombocarpa tamarugo* (16) y trasladados (3). Los individuos en pie corresponden a: 60 individuos de la serie A, 12 individuos de la serie B, 55 individuos de la serie C, 64 individuos de la serie D y 151 individuos de la serie E. Cabe destacar que tanto los individuos desaparecidos, individuos *Strombocarpa tamarugo*, e individuos trasladados no se consideran para el análisis de resultados del monitoreo.

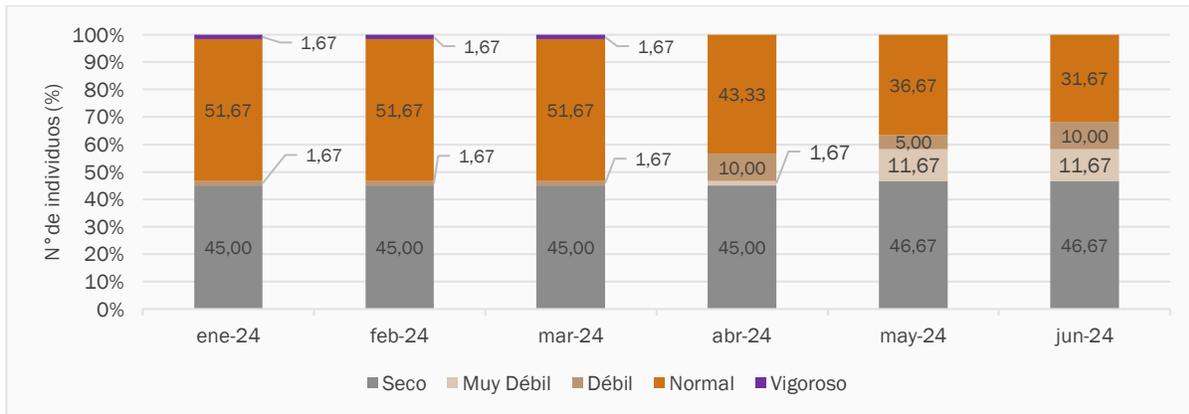
De los 4 individuos que se han incorporado durante este período, uno (1) fue incorporado a la serie D al ubicarse al oeste de la ruta internacional y tres (3) se incorporaron a la serie E al ubicarse al este de esta ruta, en las cercanías del pueblo de Camar.

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 de datos obtenida en las campañas de monitoreo del primer semestre del año 2024 se presentan en el Anexo 1.

#### 5.1.1 Vitalidad

Con respecto a la vitalidad de los ejemplares de algarrobos de la serie A (Figura 5-1), el porcentaje de individuos secos en el primer semestre de 2024 no presenta grandes variaciones, oscilando entre 45% y 46,67% de individuos en esta categoría. En cuanto a los árboles con vitalidad normal, desde enero a marzo de 2024 el 51,67% de los individuos permaneció en esta categoría. No obstante, desde abril de 2024 un porcentaje de estos árboles observados en categoría mostró un cambio a una vitalidad débil, muy débil o seco.

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

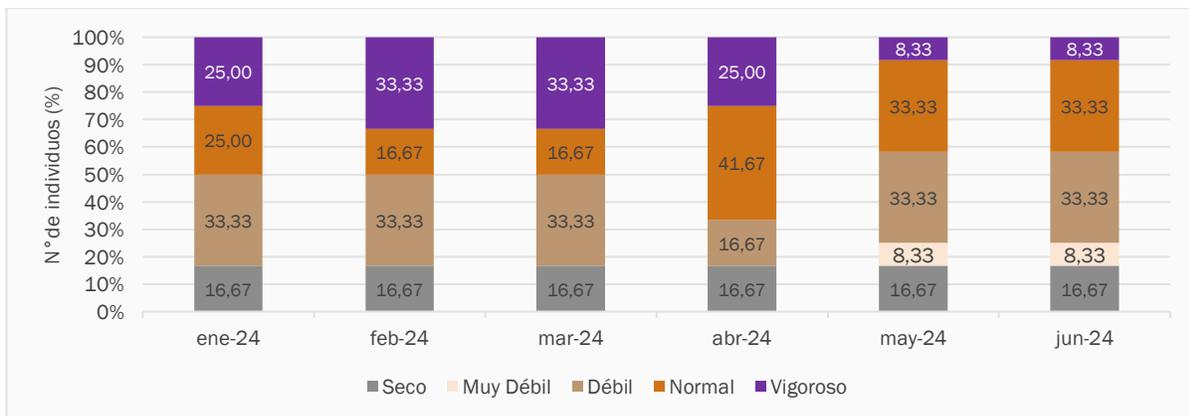


Fuente: Elaboración propia

Respecto a la serie B (Figura 5-2), el porcentaje de individuos secos en el primer semestre de 2024 no presenta variaciones, manteniéndose durante todo el semestre con un 16,67% de ejemplares en esta categoría. Los ejemplares muy débiles aparecen recién en hacia los monitoreos de mayo y junio ocupando un 8,33% en ambos periodos. Los ejemplares débiles representan un 33,33% de los ejemplares censados y disminuyen solamente en el mes de abril, donde una porción de ellos cambia a la categoría de crecimiento normal. Los ejemplares excepcionalmente vigorosos tienden a disminuir hacia los monitoreos de mayo y junio coincidiendo con la época de reveso vegetativo de las plantas.

Cabe destacar que los individuos B21, B17, B11 y B09 son considerados árboles “madre” o “plus” según la comunidad de Camar ya que corresponden a ejemplares de gran altura y crecimiento, además de ser aquellos que otorgan mayor aporte de semillas.

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

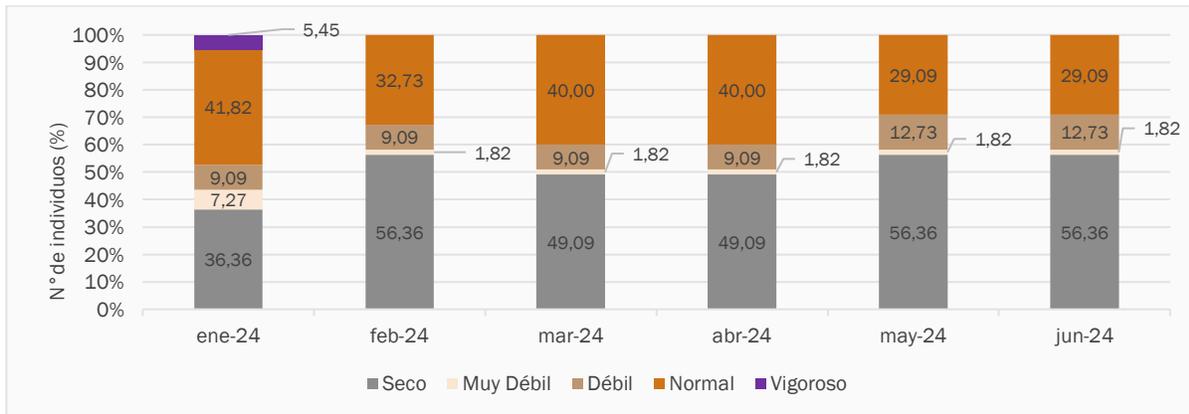


Fuente: Elaboración propia

Respecto a la serie C (Figura 5-3), a lo largo del primer semestre los ejemplares secos presentan la mayor proporción, variando de 26,26% a 56,36% entre enero y junio de 2024. Los individuos muy débiles tienden a mantenerse relativamente constantes en el periodo, manteniendo una proporción del 1,82% entre los

monitoreos de febrero y junio. Los individuos débiles aumentan hacia los monitoreos de mayo y junio (próximos a la época de receso vegetativo). Mientras que aquellos con crecimiento normal disminuyen hacia estos meses. Los ejemplares excepcionalmente vigorosos se registraron solamente en el monitoreo de enero con un 5,54% de ocupación.

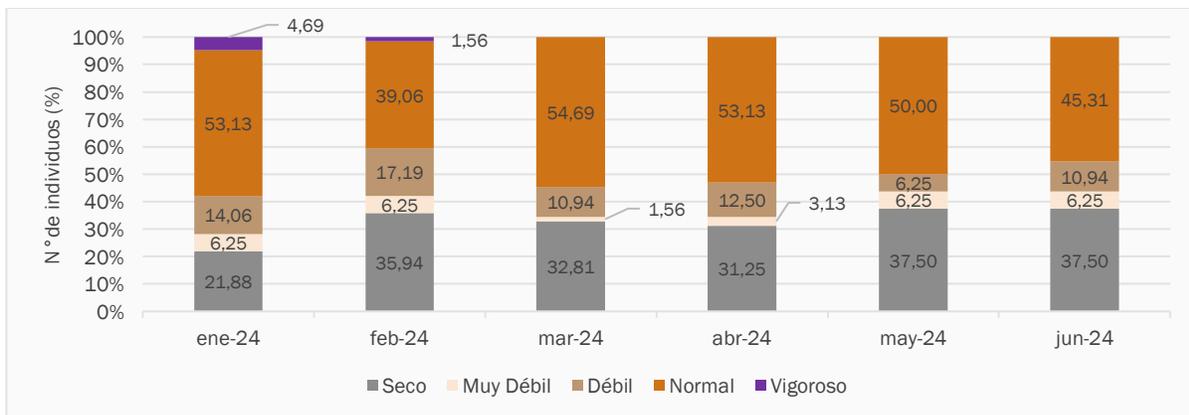
Figura 5-3. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la serie D (Figura 5-4), se observa que la proporción de ejemplares secos tiende a aumentar hacia los monitoreos de finales del semestre, hacia la época de receso vegetativo de las plantas. Mientras que, los ejemplares con crecimiento normal disminuyen en el mismo periodo. Las categorías Débil y Muy débil no muestran una tendencia clara al alza o baja en el semestre. Finalmente, la cantidad de individuos Excepcionalmente vigorosos están presentes solo en los monitoreos de enero y abril y poseen un bajo porcentaje de ocupación (un 4,69% en enero y un 1,56% en febrero).

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

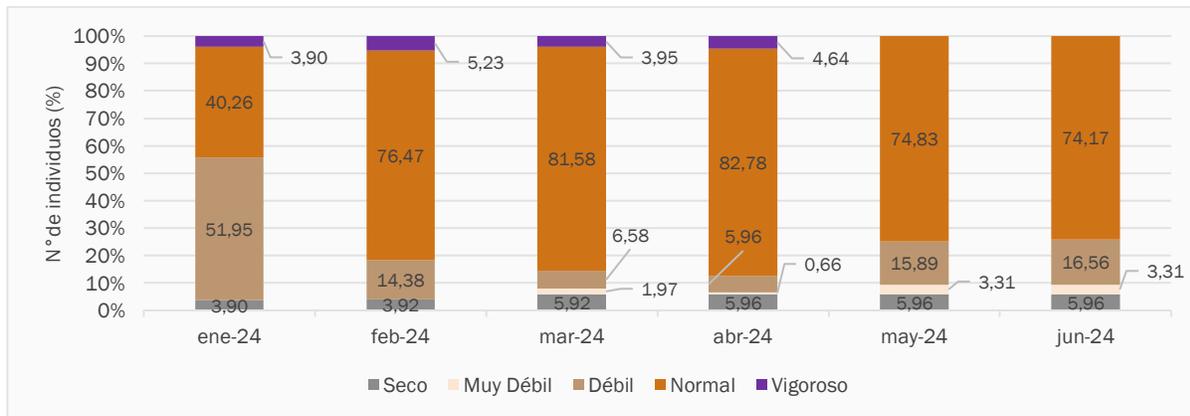


Fuente: Elaboración propia

Respecto a la serie E (Figura 5-5), los ejemplares secos se presentan en una baja proporción (variando de 3,9% a 5,96% entre enero y junio de 2024). Los individuos muy débiles solo se presentan en los monitoreos de marzo a junio, en bajas proporciones, pero aumentando hacia el monitoreo de invierno. Mientras que los

individuos débiles disminuyen hacia los monitoreos de marzo y abril, para luego aumentar en mayo y junio. Los individuos con crecimiento normal ocupan las mayores proporciones en todos los monitoreos, excepto en enero, donde ocupan un 40,26%. Los ejemplares excepcionalmente vigorosos se presentan solo en los monitoreos de enero a abril, estando ausentes en los monitoreos de otoño-invierno (o épocas de receso vegetativo).

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

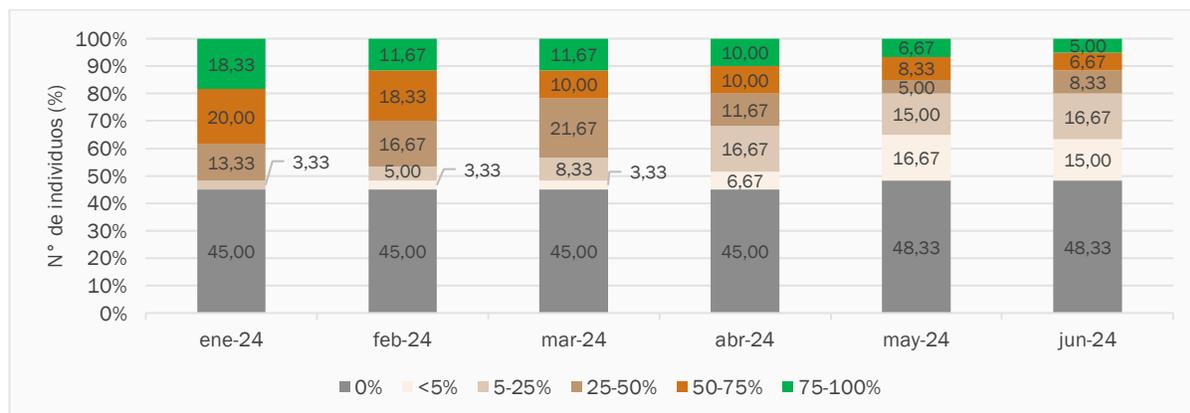


Fuente: Elaboración propia

### 5.1.2 Copa viva

En la Figura 5-6, se presenta la porción de individuos de la serie A por categoría de porcentaje de copa viva (%CV), para el primer semestre del 2024. Se aprecia que la mayoría de los ejemplares no poseen copa, variando de un 45% y un 48,33% de ocupación. La proporción de individuos en las categorías de mayor follaje (25-50%, 50-75% y 75-100%) tienden a disminuir a medida que avanza el semestre, es decir, los ejemplares disminuyen su copa hacia las épocas del año más desfavorables (receso vegetativo de las plantas en invierno). Por otra parte, la porción de individuos con menor copa viva (<5% y 5-25%) aumenta hacia esta época. Estos resultados, son consistentes con la naturaleza caduca de la especie (MMA, 2012a; MMA, 2012b), es decir, tienden a perder gran parte de sus hojas en invierno.

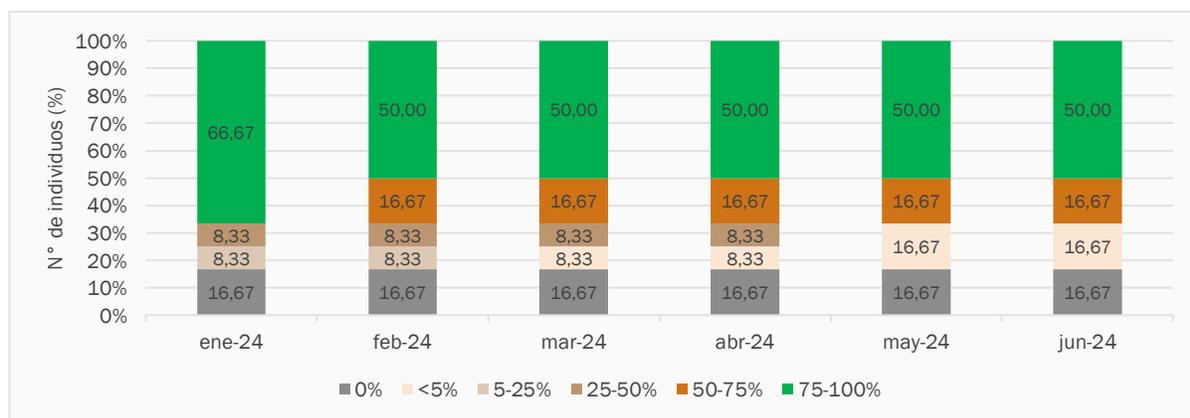
Figura 5-6. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la serie B, en la Figura 5-7 se observa que los ejemplares sin follaje se mantuvieron constantes a lo largo del semestre (16,67% de ocupación). Se aprecia que la dinámica de la copa viva de los ejemplares de esta serie responde a los patrones esperados para el periodo de transición entre una época favorable de crecimiento (monitoreos de verano y principios de otoño) y menos favorables, como los finales del otoño y el invierno. Dado que la porción de individuos con mayor desarrollo de copa (categorías 5-25%, 25-50%, 50-75% y 75-100%) tienden a disminuir o mantenerse en durante el semestre, mientras que la categoría <5% aumenta. Cabe destacar que la serie B posee solo 12 individuos en pie posibles de monitorear.

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



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-8 se presentan los resultados para la serie C del primer semestre de 2024. En particular, se observa que los individuos con mayor porción de follaje verde (mayor al 25%) disminuyen a medida que avanza el semestre. Mientras que las categorías de menor copa viva (<5% y 5-25%) tienden a aumentar. Los individuos sin copa varían entre un 36,36% en enero y un 56,36% en mayo y junio, meses donde se registra la mayor cantidad de individuos en esta categoría. Tras los monitoreos en terreno, se ha constatado que esta serie sufre afectación directa por ramoneo de burros salvajes, al constituirse de ejemplares de baja altura, lo cual es determinante a la hora de monitorear esta variable, esto podría explicar la ausencia de un patrón de

comportamiento de cada categoría por separado (mayor detalle sobre el efecto del ramoneo se presenta en la sección 5.1.5 de este informe).

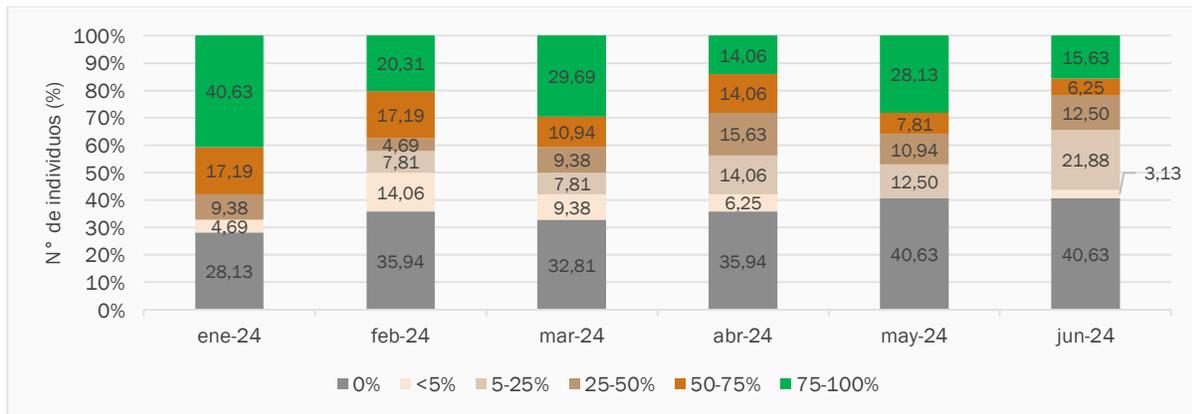
Figura 5-8. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en la serie D (Figura 5-9) se observa una tendencia hacia el aumento paulatino de individuos en la categoría 0% a lo largo del semestre. Mientras que, en la categoría 75-100% se evidencia una disminución gradual en el número de ejemplares, lo que refleja un comportamiento coherente con la respuesta adaptativa de especies caducas al avance del otoño y la llegada del invierno. Las categorías intermedias, como 50-75% y <5%, también muestran una inclinación a reducirse con el cambio estacional, mientras que las categorías 25-50% y 5-25% presentan dinámicas opuestas, con un incremento progresivo en el semestre.

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



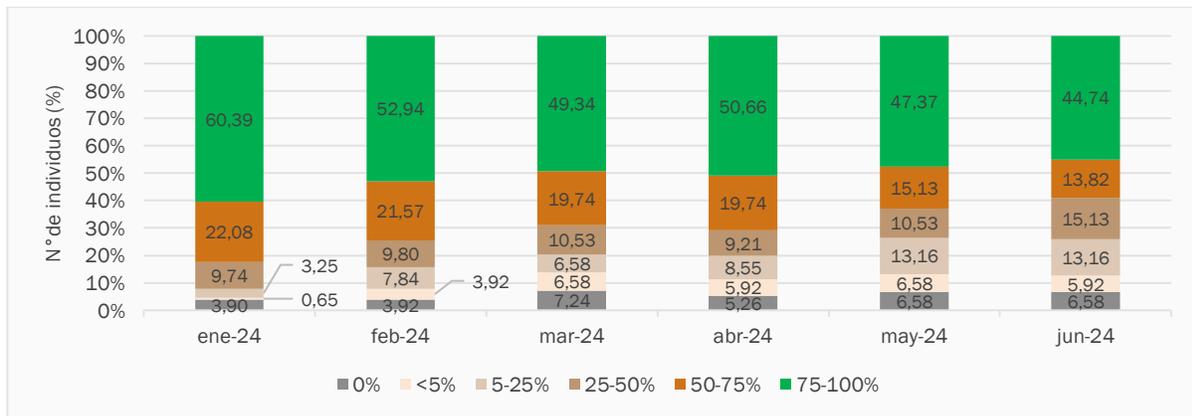
Fuente: Elaboración propia

La serie E (Figura 5-31) destaca como aquella con mayor número de individuos monitoreados, y en ella se aprecia un comportamiento marcado en las diferentes categorías de follaje. La categoría 75-100% alberga la mayor proporción de individuos durante el semestre, lo que refleja que una parte significativa de los árboles mantiene un follaje denso. Sin embargo, a medida que se aproxima el invierno (periodo de receso vegetativo),

los árboles comienzan a perder follaje de manera progresiva, un patrón típico en especies caducas como *Neltuma alba*.

En la categoría 50-75%, esta transición también es evidente, con una disminución notable en el número de individuos en esta condición. Paralelamente, las categorías que representan menor follaje (25-50%, 5-25%, <5% y 0%) muestran un aumento gradual, lo que ilustra cómo los árboles van redistribuyéndose entre estas categorías en respuesta al cambio estacional.

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

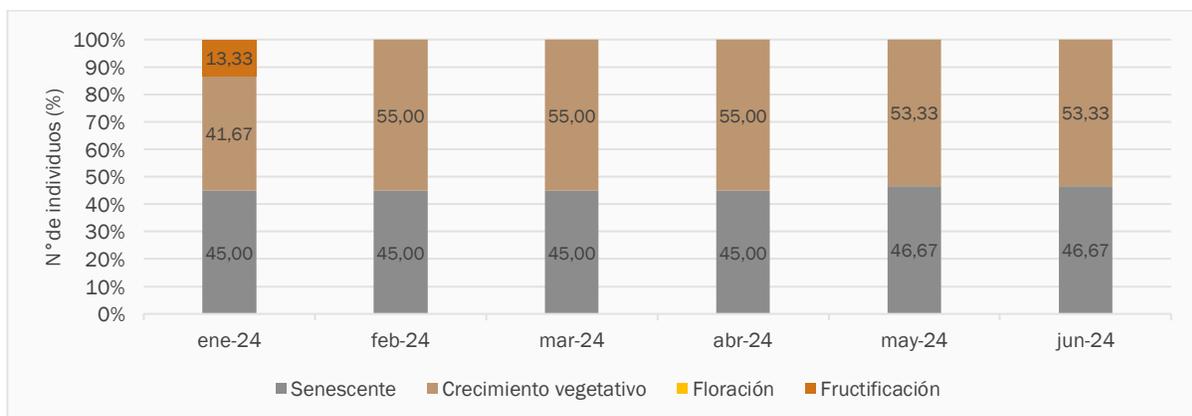


Fuente: Elaboración propia

### 5.1.3 Fenología

En la serie A (Figura 5-11), el estado de crecimiento vegetativo predomina durante la mayor parte del semestre, con una predisposición al incremento entre febrero y abril, y una estabilización hacia los meses siguientes. Los ejemplares en estado senescente se mantienen relativamente constantes a lo largo del periodo. La fructificación tiene una aparición puntual en enero, mientras que la floración está completamente ausente durante todo el semestre.

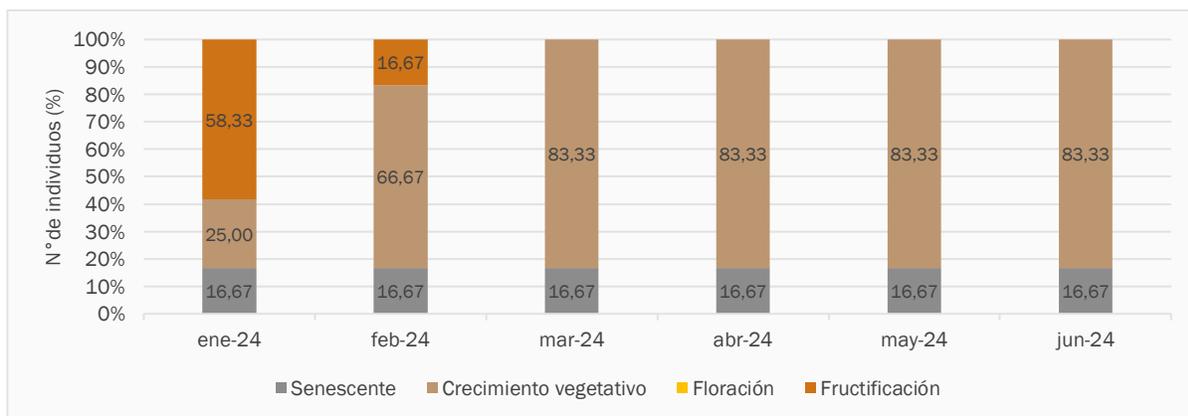
Figura 5-11. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia

Para la serie B (Figura 5-12), la mayoría de los individuos se encuentran en crecimiento vegetativo, los que aumentan entre enero y marzo, estabilizándose posteriormente con altos valores hasta junio. Los frutos se observan únicamente en los primeros meses del año, mientras que la etapa senescente muestra una consistencia notable durante todo el semestre. La floración no se registra en ninguno de los monitoreos.

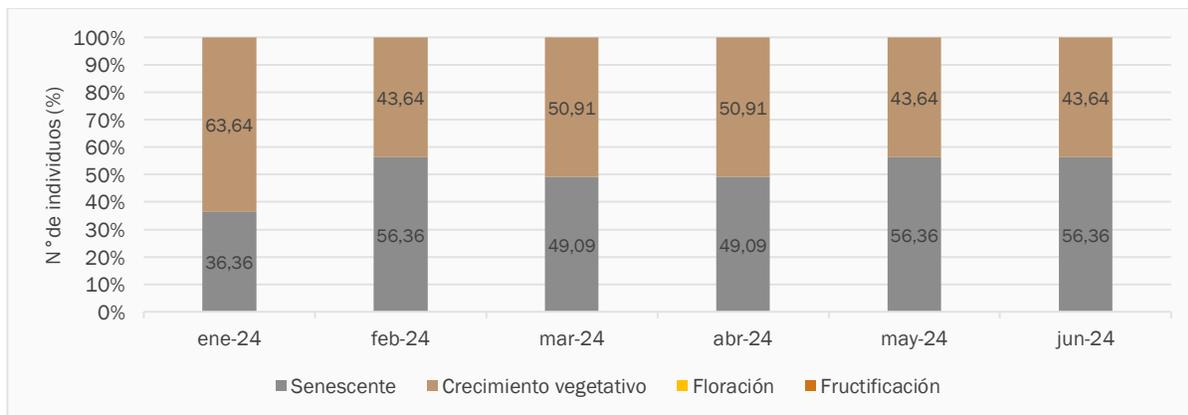
Figura 5-12. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: Elaboración propia

En la serie C (Figura 5-13), los individuos se alternan únicamente entre las categorías de crecimiento vegetativo y senescente. Durante el semestre, se observa un desplazamiento gradual de los árboles desde el crecimiento vegetativo hacia la senescencia. Tanto la floración como la fructificación están completamente ausentes en los reportes.

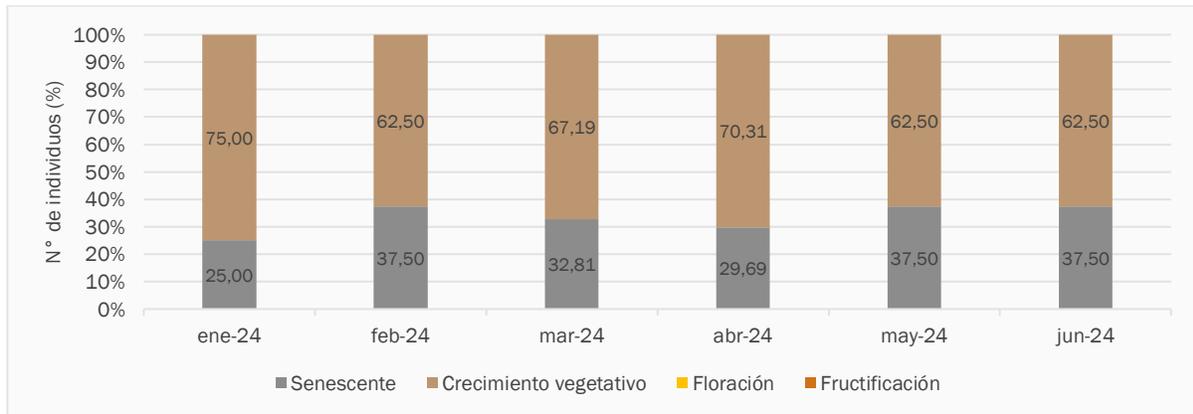
Figura 5-13. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia

En la serie D (Figura 5-14), los árboles muestran un equilibrio inicial entre el crecimiento vegetativo y la senescencia, sin embargo, a medida que avanza el semestre, se registra un aumento gradual en la cantidad de ejemplares en estado senescente, acompañado de una disminución en aquellos en crecimiento vegetativo. Al igual que en la serie C, no se registra actividad en floración ni fructificación, evidenciando un patrón limitado a estas dos etapas principales.

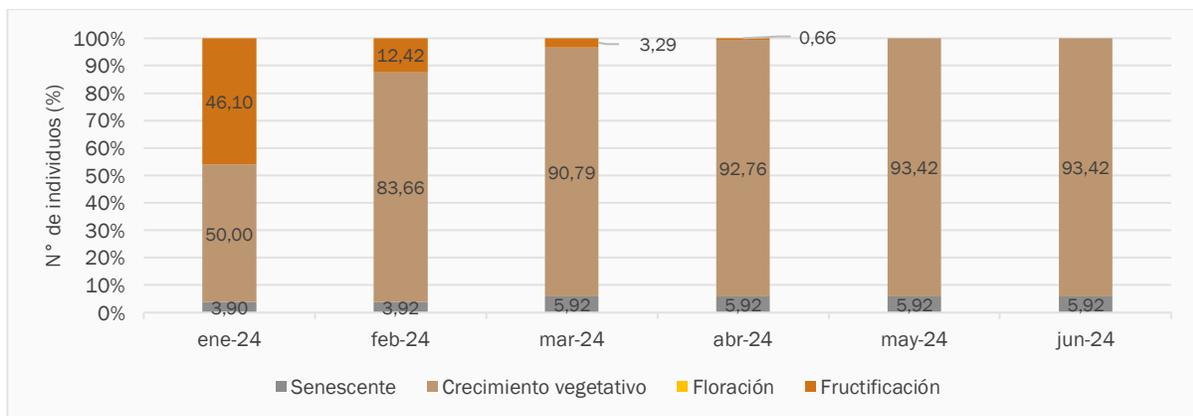
Figura 5-14. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia

En la serie E (Figura 5-15), el crecimiento vegetativo es la categoría dominante, con una tendencia al alza en los primeros meses del año y una posterior estabilización hacia marzo. Por el contrario, los árboles en fructificación disminuyen gradualmente a lo largo del semestre, hasta desaparecer en los últimos dos meses. La categoría senescente tiene una presencia mínima, pero con un ligero incremento hacia el final del periodo. Como en otras series, la floración no se observa en ningún momento del semestre.

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

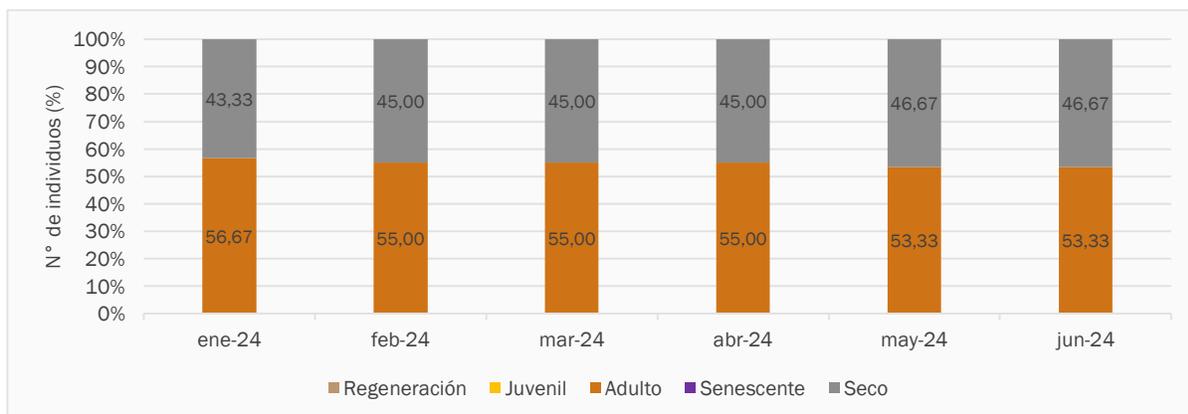


Fuente: Elaboración propia

### 5.1.4 Etapa de crecimiento

En la Figura 5-16 se presenta la variación mensual en las categorías de etapa de crecimiento de la serie A comprendidas entre el período de enero - junio 2024. Se observa que esta serie se compone principalmente de individuos adultos, cuyas variaciones se dan cuando algunos ejemplares se secan. A nivel de proporción, los árboles adultos predominan por sobre los secos.

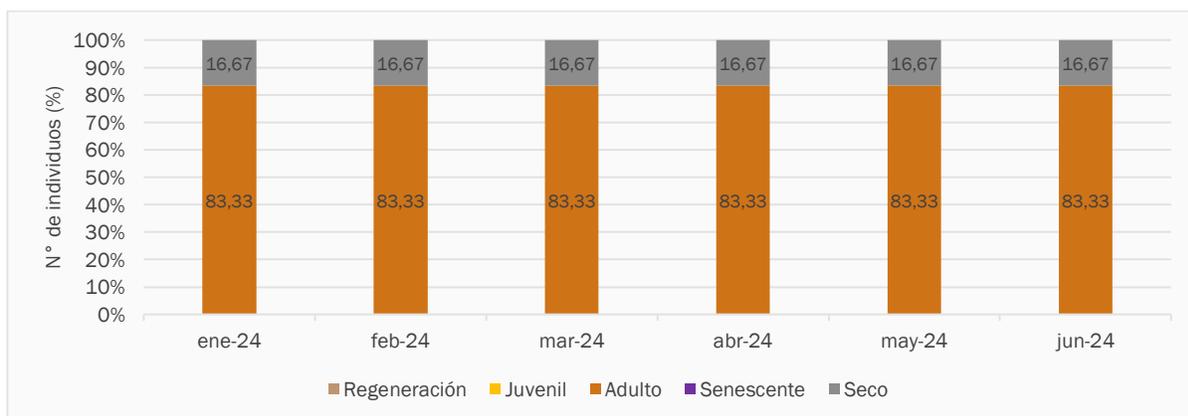
Figura 5-16. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: elaboración propia

Respecto a la serie B (Figura 5-17), se observa que, al igual que la serie A, los individuos son adultos o secos. La categoría Adulto obtuvo un promedio semestral de 83,33%, manteniéndose estable durante todo el semestre. La categoría Seco reporta un promedio semestral de 16,67%, sin variaciones durante el período.

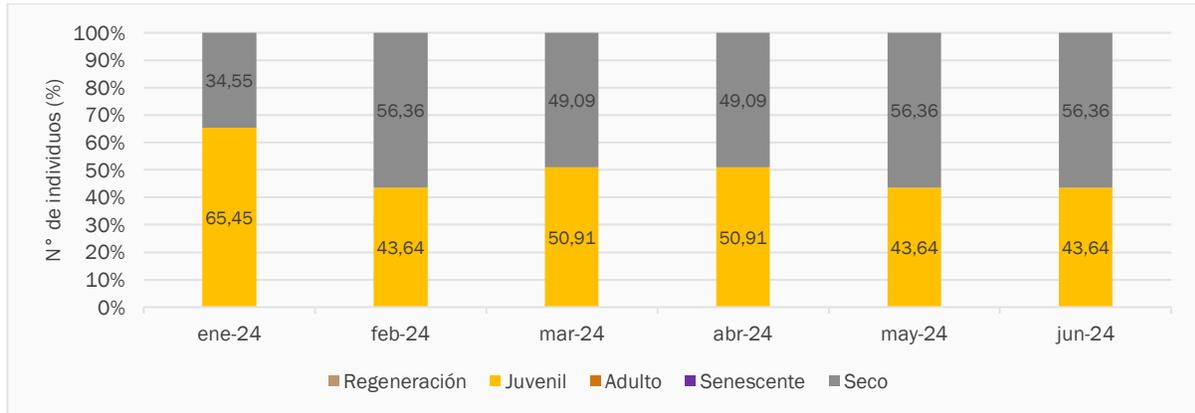
Figura 5-17. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: elaboración propia

Los individuos de la serie C (Figura 5-18), varían durante el semestre entre ejemplares secos y juveniles, con un promedio semestral del 49,7% y 50,3% respectivamente. Los ejemplares juveniles, se caracterizan por ser individuos que ya han superado la fase inicial de establecimiento en terreno y poseen más de un año de crecimiento; y que independiente 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). Se observa un aumento de individuos secos hacia la época otoñal-invernal, lo cual se condice con la época de receso vegetativo.

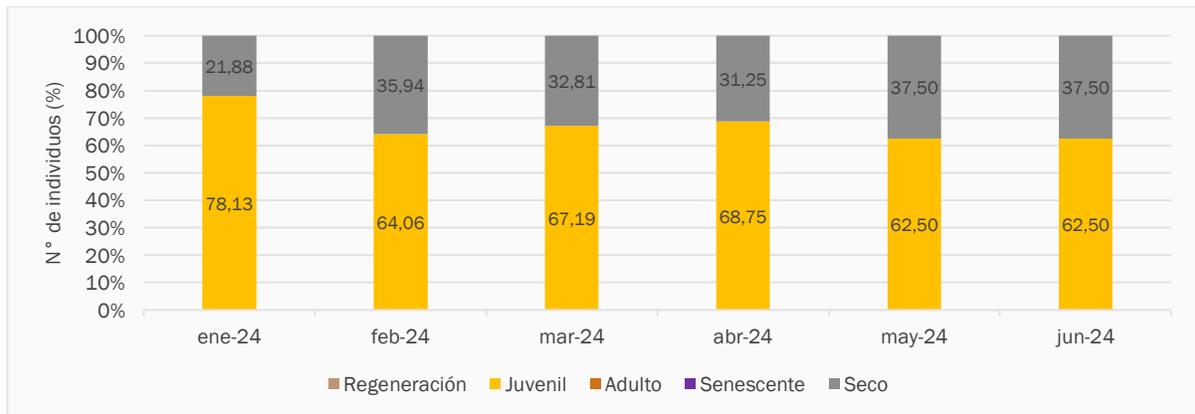
Figura 5-18. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia

Se observa que los individuos de la serie D son principalmente juveniles (Figura 5-19), registrando un promedio semestral del 67,19% con una variación del 5,93%. Esta variación está dada principalmente por cambios en la vitalidad de los individuos en pie, es decir, cuando se registran individuos secos; los poseen un promedio semestral de  $32,81 \pm 5,93\%$ . No se registran individuos de regeneración, adultos o senescentes.

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

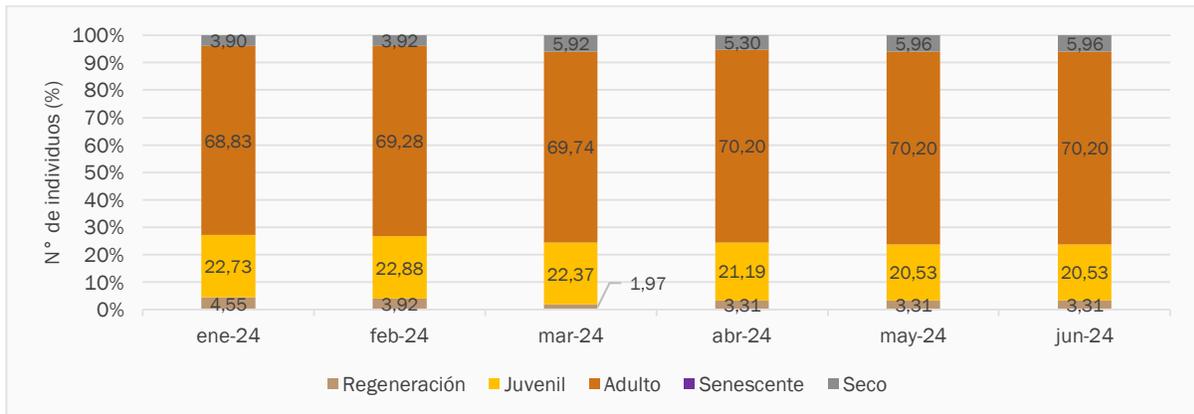


Fuente: Elaboración propia

La serie E (Figura 5-20), al incluir un mayor número de ejemplares, presenta una notable diversidad en su composición etaria. La mayoría de los árboles pertenece a la categoría adulta, lo que refleja una estable a lo largo del semestre. En segundo lugar, están los ejemplares juveniles, seguido de los individuos de regeneración, los que se presentan en una menor proporción. Estos individuos se concentran principalmente bajo la sombra de los árboles adultos, lo que sugiere un entorno favorable para su desarrollo inicial.

Por último, se registraron algunos individuos secos, lo que podría ser indicativo de las dinámicas naturales de mortalidad en la serie.

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



Fuente: Elaboración propia

### 5.1.5 Afectación antrópica y/o natural

La Figura 5-21 muestra la afectación natural causada por animales desde enero a junio de 2024 en las distintas series de árboles presentes en la quebrada. El promedio semestral de afectación animal para la serie A presenta un valor de  $48,89\% \pm 2,51\%$ . Además, el valor máximo de afectación fue reportado en los meses de mayo y junio con un  $51,67\%$  (31 individuos). Respecto a la serie B, el promedio de afectación fue de  $70,83\% \pm 11,49\%$ , mientras que el valor máximo de afectación fue de  $83,33\%$  (10 individuos) y se registró consecutivamente en febrero y marzo de 2024. Respecto a la serie C, el promedio semestral de afectación alcanzó un  $20,91\% \pm 10,83\%$ , mientras que el valor máximo de afectación fue reportado en el mes de febrero con un  $41,82\%$  (23 individuos). Respecto a la serie D, el promedio reportado es de  $20,05\% \pm 12,79\%$  y el valor máximo reportado fue en el mes de febrero con un valor de  $37,50\%$  (24 individuos). Finalmente, la serie E registra un promedio semestral de  $39,44\% \pm 5,53\%$  y el valor máximo de afectación se registró en enero de 2024 con un  $48,70\%$  (75 individuos) respectivamente.

Figura 5-21. Variación semestral daño animal en individuos de *Netuma alba* por serie

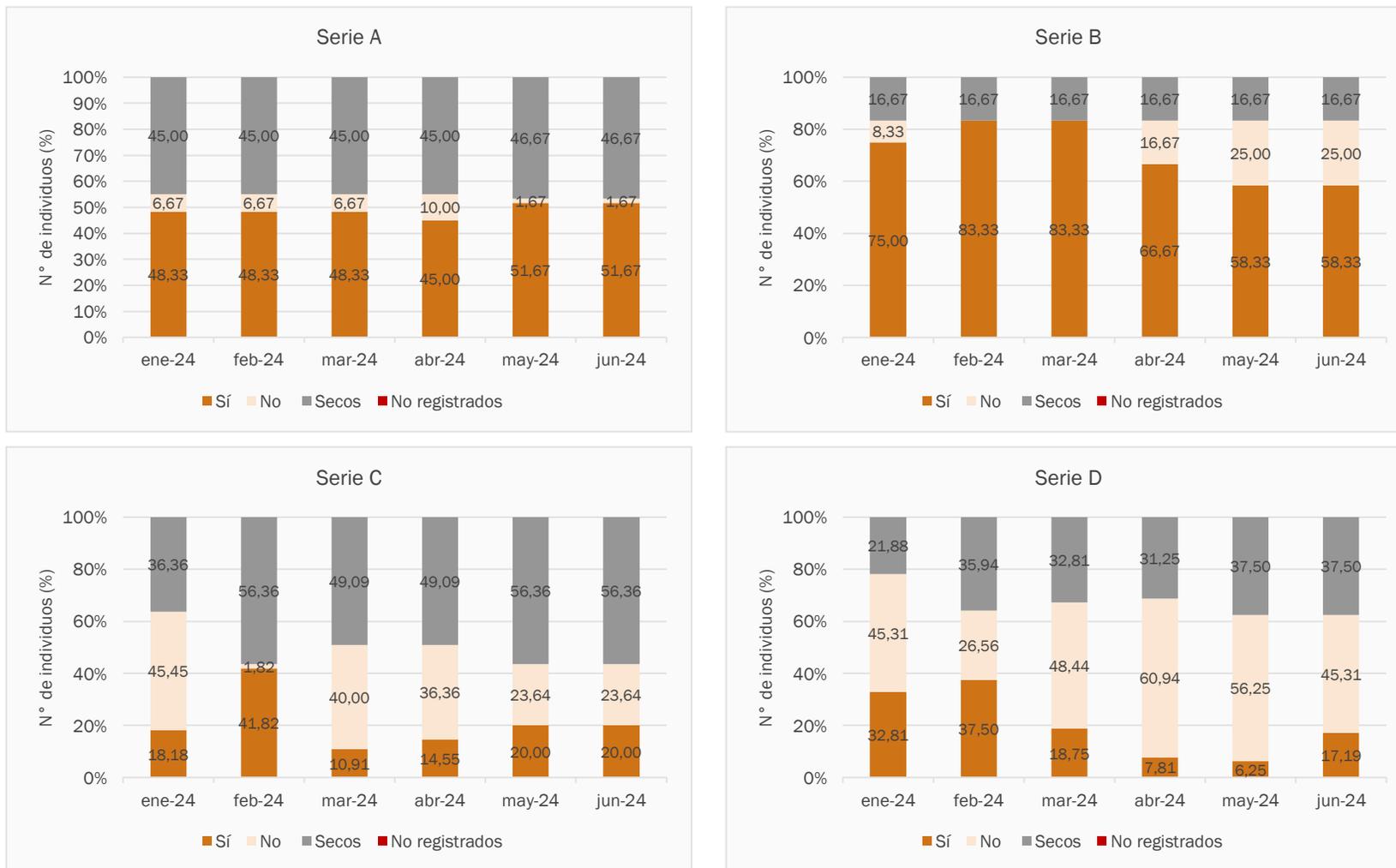
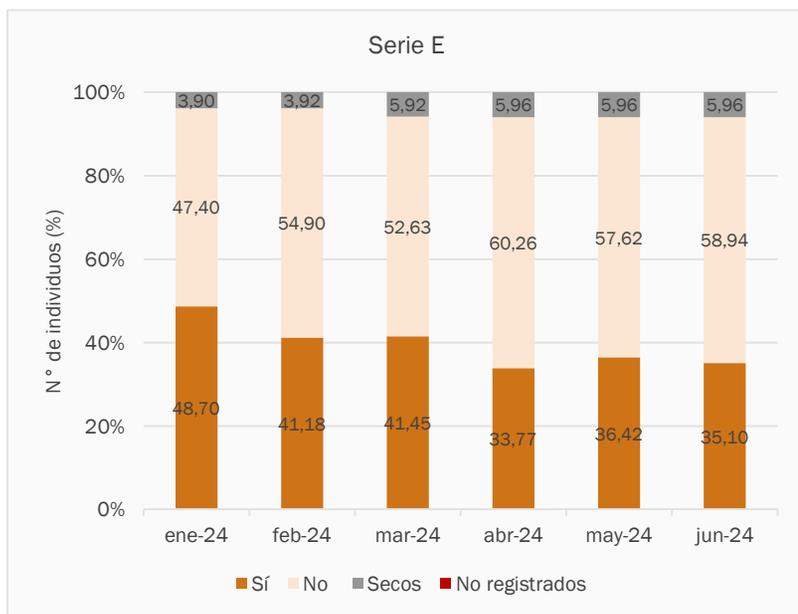


Figura 5-21. Variación semestral daño animal en individuos de *Netuma alba* por serie



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2024.

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 semestral registrado fue de  $0,28\% \pm 0,68\%$ , mientras que el valor máximo de afectación antrópica se registró en enero de 2024 con un valor de  $1,67\%$  (1 individuo). En el caso de las series B y C, no se registran individuos con afectación antrópica durante todo el semestre. En la serie D, se registra un promedio semestral de afectación de  $0,26\% \pm 0,64\%$ , con 1 solo individuo ( $1,56\%$ ) reportado en junio de 2024. En la serie E, el promedio de afectación fue de  $14,72\% \pm 5,04\%$ , y el valor máximo registrado fue de  $21,85\%$  (33 individuos) en junio de 2024.

Figura 5-22. Variación semestral daño antrópico en individuos de *Neltuma alba* por serie

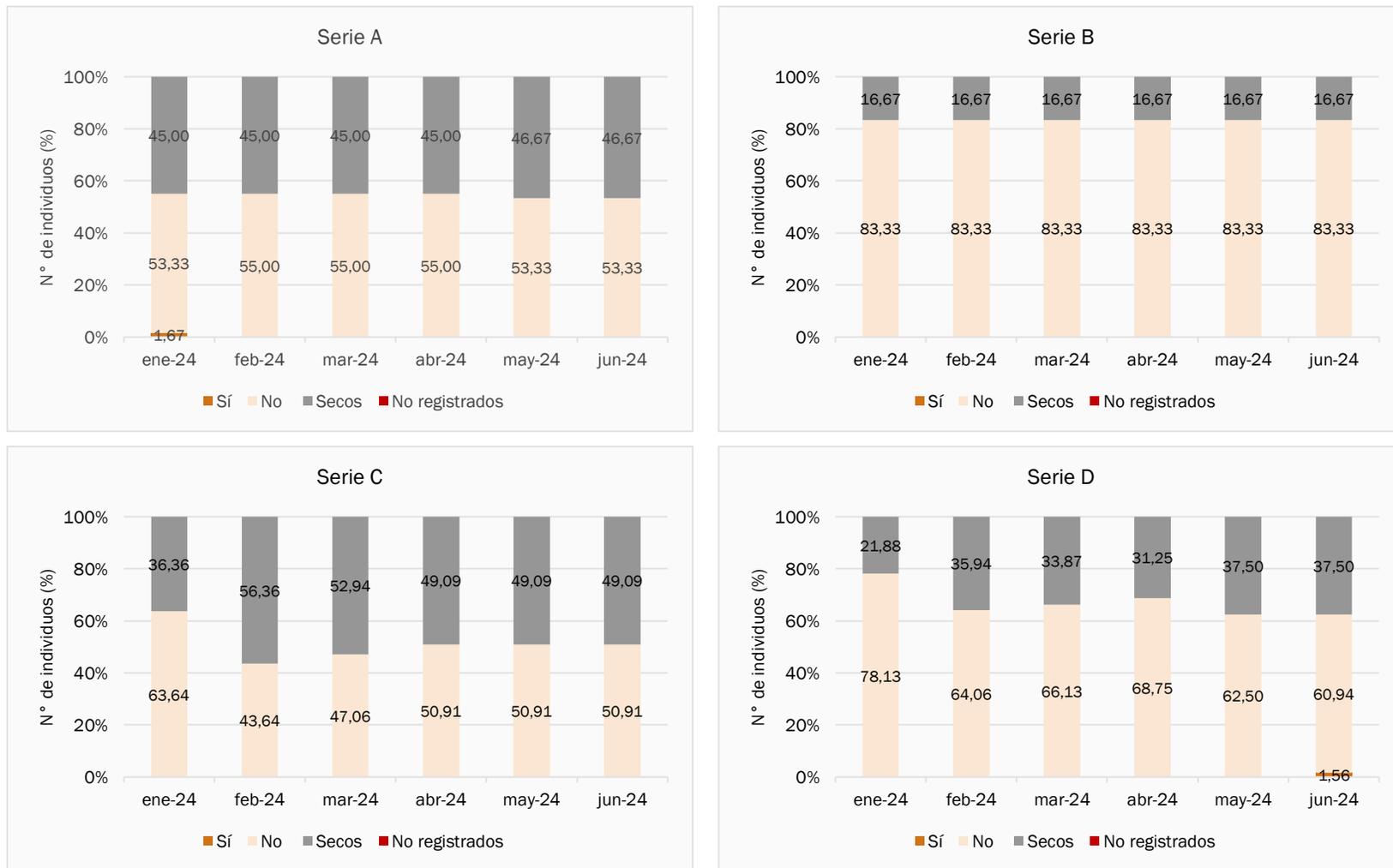
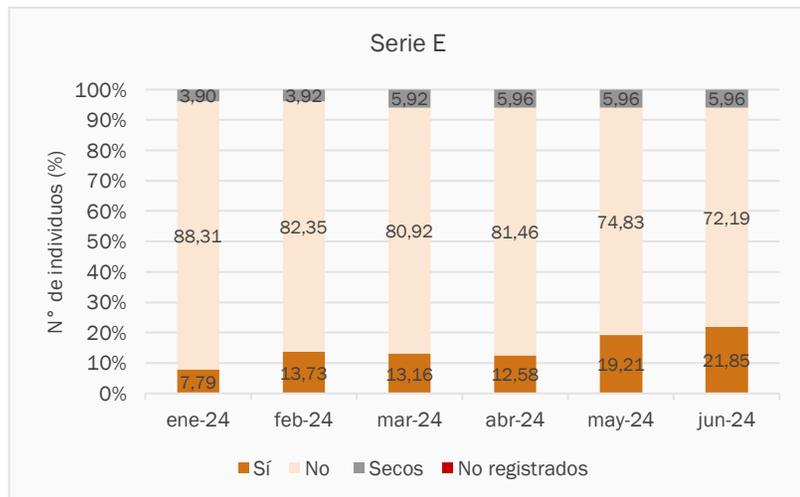


Figura 5-22. Variación semestral daño antrópico en individuos de *Neltuma alba* por serie



Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2024

### 5.1.6 Fisiología de algarrobos

La Tabla 5-1 se muestra las variaciones en los parámetros fisiológicos de los árboles entre enero y abril de 2024, a través de los valores de potencial hídrico de ramilla medidos en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) y mediodía ( $\Psi_{md}$ ), además de la conductancia estomática ( $gs$ ). El potencial hídrico en pre-alba corresponde a un indicador del estado hídrico del suelo y la capacidad de absorción de agua por la planta, mientras que el potencial hídrico medido a medio día refleja el estado hídrico de la planta bajo condiciones de máxima transpiración. Para ambas variables valores más negativos indican mayor estrés hídrico. Por su parte, la conductancia estomática representa la apertura de los estomas y está relacionada con la transpiración y la capacidad fotosintética, para esta variable valores más altos indican mayor actividad.

En general, los resultados extraídos de la Tabla 5-1, indican que los valores de potencial hídrico en pre-alba y mediodía son menos negativos en abril en comparación con enero, lo que podría indicar una mejora en la disponibilidad de agua hacia abril, tal vez debido a las lluvias estivales que frecuentemente se desarrollan en febrero o a una menor demanda hídrica. Se observan excepciones, como el árbol A44, donde el potencial hídrico a medio día es más negativo en abril, lo que podría sugerir un aumento en el estrés hídrico debido a condiciones puntuales del sitio.

Respecto a la conductancia estomática, la mayoría de los árboles muestran una disminución de enero a abril, lo que correspondería a una respuesta al estrés hídrico. Sin embargo, algunos árboles muestran un incremento hacia abril (A37, A47), lo que podría indicar adaptaciones locales o un ambiente más favorable para estos individuos en ese mes en específico.

Cabe destacar que, dentro de la población estudiada, se observan casos específicos, entre ellos el árbol A44, que muestra valores de potencial hídrico de ramilla al mediodía más negativo en abril que en enero, lo que contrasta con la tendencia general de mejora de la población. Así mismo, los árboles A37 y B17 muestran un aumento de la conductancia estomática en abril, lo que indicaría una mejora en la actividad fotosintética de estos individuos, posiblemente vinculado a una mejor disponibilidad de agua o condiciones más favorables. Del mismo modo, los árboles B03 y B10 muestran valores muy negativos de potencial hídrico en pre-alba y medio día en ambas fechas, lo que sugiere que estos árboles estarían enfrentando un estrés más severo en comparación con otros. Así mismo, el árbol D28 posee una conductancia estomática elevada en enero ( $396.88 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), la cual disminuye notablemente en abril, posiblemente debido a cambios puntuales en las condiciones ambientales.

Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ), mediodía ( $\Psi_{md}$ ) y conductancia estomática ( $gs$ ) medidos en enero y abril de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Enero 2024			Abril 2024		
	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	$gs$ ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	$gs$ ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
A04	-1,55	-2,80	225,78	-1,25	-1,80	243,50

Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ), mediodía ( $\Psi_{md}$ ) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Enero 2024			Abril 2024		
	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
A07	-1,55	-2,60	227,93	-1,60	-2,55	214,70
A12	-	-	287,05	-1,30	-	214,48
A17	-	-	254,13	-	-	147,45
A21	-	-	298,93	-	-	164,68
A22	-	-	393,37	-	-	231,63
A30	-	-	250,95	-	-	182,75
A31	-1,70	-2,50	270,73	-	-	186,03
A33	-1,90	-2,30	238,08	-1,95	-2,45	150,83
A36	-1,65	-2,90	221,03	-1,90	-2,80	201,28
A37	-1,85	-2,90	242,50	-1,70	-1,90	263,08
A38	-0,80	-1,50	350,98	-	-	226,03
A40	-1,95	-3,00	211,55	-2,00	-2,70	205,38
A41	-1,00	-1,10	305,98	-	-	263,33
A43	-	-	271,53	-	-	267,55
A44	-1,65	-2,80	226,15	-1,50	-2,90	216,13
A47	-1,95	-2,45	194,48	-1,50	-2,30	289,15
A58	-1,55	-1,85	324,18	-1,35	-2,20	222,03
B02	-	-	197,68	-	-	165,50
B03	-2,85	-3,60	154,93	-2,65	-2,70	166,45
B04	-2,60	-3,40	207,35	-2,40	-3,60	170,53
B09	-2,65	-2,75	271,08	-1,95	-2,30	267,80
B10	-3,25	-3,30	165,43	-2,95	-3,05	143,55
B11	-2,65	-2,90	223,05	-2,60	-3,40	186,80
B17	-2,10	-2,80	306,78	-1,95	-2,45	329,58
B20	-1,65	-2,10	371,15	-1,45	-2,05	373,53
B21	-1,25	-2,85	302,88	-1,65	-2,95	252,25
C58	-	-	213,63	-	-	51,30
D28	-1,50	-1,80	396,88	-	-	249,88
AX01	-1,20	-1,30	265,90	-	-	271,58

Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ), mediodía ( $\Psi_{md}$ ) y conductancia estomática (gs) medidos en enero y abril de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Enero 2024			Abril 2024		
	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
AX02	-	-	192,55	-	-	203,05

(-): medición no realizada por falta de ramillas

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2024), 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 versus los de las series B y C.

El potencial hídrico en pre-alba y medio día, medidos en la serie A tienen valores significativamente menos negativos en comparación con la serie B-C en ambos periodos, lo que indicaría que los ejemplares de la serie A manejan de mejor manera el estrés hídrico nocturno y durante el medio día que los árboles de las series B-C. Cabe destacar que la mayoría de los individuos de la serie A cuentan con riego desde enero de 2022, lo cual también resulta ser un factor relevante a la hora de compararlos con los individuos del resto de las series. Respecto a la conductancia estomática, no se observan diferencias significativas entre las series.

Respecto a los cambios a nivel temporal, los valores promedio del potencial hídrico medido en pre-alba mejoran ligeramente de enero (-1,91 MPa) a abril (-1,87 MPa); indicando una posible menor demanda hídrica debido a la disminución de las temperaturas o un aumento en la disponibilidad de agua en el suelo. Por otra parte, en el potencial hídrico medido a medio día, no se observan cambios significativos entre enero y abril (-2,62 MPa y -2,59 MPa respectivamente); lo que indicaría que las condiciones ambientales a medio día se mantendrían constantes en el tiempo.

Por otra parte, la conductancia estomática disminuye significativamente entre enero ( $257,47 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y abril ( $214,19 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), lo que puede interpretarse como una respuesta adaptativa de los árboles para reducir la pérdida de agua a través de la transpiración en abril, posiblemente en preparación para el inicio de un período más seco.

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

Serie	Enero 2024			Abril 2024		
	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
A	1,59±0,10 a	-2,39±0,18 a	266,40±12,32 a	-1,61±0,09 a	-2,40±0,13 a	216,11±9,48 a
B-C	-2,38±0,23 b	-2,96±0,17 b	241,39±21,91 a	-2,20±0,19 b	-2,81±0,19 a	210,73±30,14 a
Promedio*	-1,91±0,14	-2,62±0,14	257,47±11,73	-1,87±0,12	-2,59±0,12	214,19±12,03

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

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2024), Anexo 11.

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

En la Tabla 5-3 se muestran los resultados obtenidos comparando los individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería para las mediciones realizadas en enero y abril de 2024.

Respecto al potencial hídrico en pre-alba, tanto en enero como en abril los árboles ubicados aguas debajo de la tubería presentaron valores menos negativos, pero solamente en enero estas diferencias fueron significativas. Este comportamiento, indicaría que los individuos ubicados aguas abajo estarían enfrentando un menor estrés hídrico nocturno, posiblemente debido a una mejor condición hídrica en el sector.

Al observar los valores del potencial hídrico al medio día, se aprecia que tanto en enero como en abril no hay diferencias significativas al comparar los árboles aguas arriba y aguas debajo de la tubería. Lo que sugiere que, durante las horas de mayor estrés hídrico, ambos grupos enfrentan condiciones similares.

Respecto a la conductancia estomática, a pesar de que se observa una reducción en abril, esta diferencia no es significativa entre los dos periodos.

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

Ubicación respecto de la tubería	Enero 2024			Abril 2024		
	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
Aguas arriba	-1,92±0,16 b	-2,54±0,17 a	250,77±12,88 a	-1,97±0,13 a	-2,65±0,12 a	223,03±15,53 a
Aguas abajo	-1,58±0,04 a	-2,43±0,22 a	279,83±21,56 a	-1,38±0,11 a	-2,18±0,38 a	203,81±10,63 a
Promedio*	-1,85±0,13	-2,52±0,14	260,15±11,22	-1,87±0,12	-2,59±0,12	216,83±11,07

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

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2024), Anexo 11

### 5.1.6.1.3 Comparación de algarrobos con y sin riego

A continuación, se presentan los valores promedio de  $\Psi_{pa}$ ,  $\Psi_{md}$  y gs medidos en enero y abril de 2024, para los árboles con y sin riego (Tabla 5-4). Para ambos periodos se encontraron diferencias significativas en el potencial hídrico en pre-alba tanto en individuos regados como no regados. Mientras que en el potencial hídrico al medio día solo se encontraron diferencias significativas en el mes de abril en individuos sin riego. Los valores más bajos de potencial hídrico tanto en pre-alba como en medio día se encontraron en los árboles sin riego, indicando que estos árboles están sujetos a mayor estrés hídrico que aquellos regados. Respecto a la conductancia estomática, no se encontraron diferencias entre los individuos con y sin riego. Lo que podría sugerir que el acceso al agua no es el principal factor que controla la conductancia estomática y que otros factores ambientales, como por ejemplo la temperatura, la radiación solar o el viento podrían incidir de mayor manera en esta variable.

Tabla 5-4. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ), mediodía ( $\Psi_{md}$ ) y conductancia estomática (gs) para individuos con y sin riego

Riego	Enero 2024			Abril 2024		
	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	$\Psi_{pa}$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	gs (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
Con riego	-1,56±0,10 a	-2,31±0,18 a	266,38±11,66 a	-1,61±0,09 a	-2,40±0,13 a	219,03±9,43 a
Sin riego	-2,28±0,23 b	-2,83±0,20 b	250,28±22,83 a	-2,20±0,19 b	-2,81±0,19 a	213,35±25,11 a
Promedio	-1,85±0,13	-2,52±0,14	260,15±11,22	-1,87±0,12	-2,59±0,12	216,83±11,07

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

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2024), Anexo 11

### 5.1.7 Biomasa de algarrobos

En base a los parámetros evaluados para cada árbol perteneciente a las series A, B, C y D, se determinó la biomasa de la población. Dentro del Anexo 11 se exponen, para cada serie, las variables dendrométricas comprometidas en el marco de la acción 24 del PdC y que son parte de las mediciones necesarias para la estimación de la biomasa (diámetro máximo de la copa (mcw), diámetro de copa a los 90° del mcw, altura total, diámetro basal, diámetro a la altura del pecho, largo del vástago y diámetro del fuste más largo, entre otros).

La base de datos correspondiente al monitoreo de enero de 2024 presenta 256 registros correspondientes a árboles del género *Neltuma* (Series A, B, C, D) de los cuales fue posible ubicar y medir 190 árboles (74,30%). Los 66 árboles (27,3%) restantes se encuentran desaparecidos, incompletos o desprendidos de su raíz en el lugar (desenterrados) y no fue posible su medición en terreno. Un 71,60% de los árboles (136 árboles) medidos se encuentran con algún nivel de vitalidad en sus vástagos y el 28,40% restante (54 árboles) actualmente no presenta ramillas con hojas o estas están secas y la madera de la totalidad de sus vástagos se aprecia completamente seca.

Según lo presentado en la Tabla 5-5, la mayor parte de los individuos (79,40%, 151 árboles) se concentran en las clases diamétricas de menor tamaño (0 a 2,5 cm, 2,6 a 5 cm) con alturas medias que no superan los 62 cm. Los individuos de mayor tamaño (> 20, cm) representan el 8,90% (17 árboles) de la población y pueden alcanzar en promedio hasta los 6,5 m de altura.

La mayoría de los individuos (90,0%, 171 árboles) presentan más de un vástago (plurifustales), cuyo número promedio fluctúa entre 2 y 259 vástagos por individuo.

El área basal es baja y alcanza los 2,66 m<sup>2</sup> para el total de la población. El 72,60% del área basal total acumulan ocho individuos de gran tamaño (Dbe>30 cm).

El promedio de las áreas de la copa fluctúa entre 0,06 y 111,69 m<sup>2</sup>, mostrando una clara tendencia en su desarrollo en los individuos de mayor tamaño que son capaces de superar los 30 m<sup>2</sup> de área de copa.

Solo un 7,40% de los árboles medidos (14 árboles) registraron frutos, concentrándose en tres árboles de gran tamaño (Dbe>62,5 cm) pertenecientes a la serie B.

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 – enero 2024

Rango Dbe (cm)	N° Vástagos promedio por individuo			Altura media (m)			Área basal acumulada (m2)			Área de copa (m2)		
	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos*	Total
0 - 2,5	6,8	3,8	5,9	0,13	0,08	0,11	0,0129	0,0029	0,0158	0,07	0,03	0,06
2,6 - 5	11,7	7,9	10,2	0,65	0,57	0,62	0,0158	0,0073	0,0231	1,42	1,37	1,40
5,1 - 7,5	20,0	21,0	20,3	0,52	0,78	0,60	0,0048	0,0031	0,0079	1,33	3,03	1,90
7,6 - 10	34,7	6,5	23,4	0,94	1,39	1,12	0,0178	0,0135	0,0313	2,58	3,81	3,07
10,1 - 12,5	31,5	-	31,5	1,25	-	1,25	0,0587	-	0,0587	5,87	-	5,87
12,6 - 15	3,0	22,0	12,5	0,94	0,53	0,74	0,0154	0,0132	0,0286	8,71	1,53	5,12
15,1 - 17,5	12,0	7,0	9,5	1,63	0,60	1,12	0,0209	0,0207	0,0416	5,99	0,75	3,37
17,6 - 20	133,3	11,0	102,8	1,80	1,67	1,77	0,0861	0,0248	0,1109	12,31	5,45	10,60
20,1 - 22,5	15,0	1,0	8,0	2,22	0,93	1,58	0,0376	0,0337	0,0713	25,39	2,73	14,06
22,6 - 25	6,0	-	6,0	2,40	-	2,40	0,1744	-	0,1744	17,40	-	17,40
25,1 - 27,5	2,3	-	2,3	3,00	-	3,00	0,1665	-	0,1665	18,40	-	18,40
27,6 - 30	1,0	6,0	3,5	3,55	2,10	2,83	0,0697	0,0632	0,1329	19,84	12,46	16,15
40,1 - 42,5	13,0	-	13,0	2,4	-	2,4	0,1279	-	0,1279	42,10	-	42,10
50,1 - 52,5	1,0	-	1,0	3,5	-	3,5	0,2043	-	0,2043	45,25	-	45,25
60,1 - 62,5	7,0	-	7,0	4,5	-	4,5	0,3036	-	0,3036	54,10	-	54,10
62,6 - 65,0	1,0	-	1,0	5,1	-	5,1	0,3187	-	0,3187	102,64	-	102,64
65,1 - 67,5	23,0	-	23,0	5,25	-	5,25	0,3356	-	0,3356	111,69	-	111,69
80,1 - 82,5	2,0	-	2,0	6,5	-	6,5	0,5153	-	0,5153	88,42	-	88,42
Total/Media	11,8	5,2	9,9	0,66	0,31	0,56	2,4860	0,1824	2,6684	5,39	0,82	4,09

(\*) 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 2024)

La Tabla 5-6 presenta la biomasa aérea promedio (kg) por componente y total, según vitalidad (vivos, secos) de la población de árboles estudiada.

La biomasa aérea alcanza los 8.357,96 kg para el total de la población medida (136 árboles “Vivos” y 54 árboles “Secos”), con un valor promedio por individuos de 43,99 kg. El 95,70% de la biomasa proviene de individuos vivos y sólo el 4,3% restante a individuos secos.

El 77,6% de la biomasa aérea se concentra en cinco individuos monofustales de gran tamaño, con diámetros que van entre los 51,0 y los 81,0 cm y con alturas que van entre los 3,5 m hasta 6,5 m. Es importante señalar, que los valores de biomasa total no coinciden con la biomasa total obtenida mediante la suma de cada componente, debido al efecto de no aditividad de las funciones para cada componente (Parresol, 2001; ver capítulo 1.3).

La biomasa total de frutos (peso húmedo) alcanza los 49,72 kg distribuida en 14 individuos de la Serie A y B, en donde un 70,2% se concentra en tres individuos de gran tamaño (>62,5 cm) de la Serie B. Es importante señalar que un 92,8% de los individuos (13 árboles) que presentan frutos, registraron frutos en la medición de enero de 2024.

La biomasa aérea total de los individuos se distribuye porcentualmente de la siguiente forma: un 9,9% corresponde al fuste, 87,3% a ramas, 2,8% a hojas. Es importante señalar que, para determinar específicamente estas proporciones por componente de biomasa, sólo se consideraron los individuos vivos. Esto debido a que, en el caso de aquellos secos, no se sabe exactamente cuál es la proporción real de cada componente, ya que estos no presentan hojas. Por otro lado, se excluyó del análisis la biomasa de frutos ya que no se registró presencia de estos en todos los individuos de la población.

Tabla 5-6. Biomasa aérea promedio (kg) por componente y total, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población de árboles del género *Neltuma* (ex *Prosopis*) – enero 2024

Rango Dbe (cm)	N° individuos			Peso seco Fuste (kg)			Peso seco Ramas (kg)			Peso seco Hojas (kg)			Peso húmedo Frutos (kg)			Peso seco Total (kg)		
	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total
0 - 2,5	94	39	133	16,74	4,03	20,77	14,37	2,88	17,25	2,30	-	2,30	-	-	-	15,49	3,63	19,12
2,6 - 5,0	11	7	18	13,08	6,31	19,39	32,40	13,94	46,34	3,28	-	3,28	-	-	-	28,54	11,77	40,31
5,1 - 7,5	2	1	3	3,52	3,10	6,62	4,51	0,26	4,77	0,82	-	0,82	-	-	-	9,50	6,55	16,05
7,6 - 10,0	3	2	5	8,75	6,17	14,92	0,97	0,59	1,56	1,02	-	1,02	-	-	-	44,46	29,47	73,93
10,1 - 12,5	6	-	6	33,18	-	33,18	6,86	-	6,86	5,80	-	5,80	-	-	-	138,54	-	138,54
12,6 - 15,0	1	1	2	9,22	3,82	13,04	1,86	1,39	3,25	0,87	-	0,87	-	-	-	40,43	31,06	71,49
15,1 - 17,5	1,0	1,0	2,0	6,64	11,60	18,24	0,02	3,20	3,22	1,04	-	1,04	-	-	-	37,93	54,36	92,29
17,6 - 20,0	3	1	4	25,47	7,46	32,93	0,62	0,72	1,34	6,43	-	6,43	4,10	-	4,10	156,14	44,96	201,10
20,1 - 22,5	1	1	2	11,07	7,58	18,65	0,24	7,96	8,20	4,83	-	4,83	-	-	-	68,17	79,24	147,41
22,6 - 25,0	4	-	4	50,98	-	50,98	15,68	-	15,68	15,15	-	15,15	0,71	-	0,71	305,47	-	305,47
25,1 - 27,5	3	-	3	50,56	-	50,56	104,17	-	104,17	14,16	-	14,16	0,09	-	0,09	392,50	-	392,50
27,6 - 30,0	1,0	1,0	2,0	22,49	14,92	37,41	28,94	9,47	38,41	5,73	-	5,73	0,04	-	0,04	139,08	99,55	238,63
40,1 - 42,5	1,0	-	1,0	24,70	-	24,70	27,18	-	27,18	7,91	-	7,91	3,43	-	3,43	138,93	-	138,93
50,1 - 52,5	1,0	-	1,0	43,73	-	43,73	617,09	-	617,09	10,86	-	10,86	1,56	-	1,56	782,56	-	782,56
60,1 - 62,5	1,0	-	1,0	71,35	-	71,35	549,73	-	549,73	17,42	-	17,42	4,84	-	4,84	833,83	-	833,83
62,6 - 65,0	1,0	-	1,0	85,58	-	85,58	1.755,89	-	1.755,89	32,51	-	32,51	11,41	-	11,41	1.578,47	-	1.578,47
65,1 - 67,5	1	-	1	90,99	-	90,99	2.096,31	-	2.096,31	37,67	-	37,67	18,20	-	18,20	1.757,61	-	1.757,61
80,1 - 82,5	1,0	-	1,0	160,93	-	160,93	1.145,75	-	1.145,75	36,98	-	36,98				1.529,72	-	1.529,72
Total	136	54	190	728,98	64,99	793,97	6.402,59	40,41	6.443,00	204,77	7,81	294,77	49,72	-	49,72	7.997,37	360,59	8.357,96

Tabla 5-6. Biomasa aérea promedio (kg) por componente y total, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población de árboles del género Neltuma (ex Prosopis) – enero 2024

Rango Dbe (cm)	N° individuos			Peso seco Fuste (kg)			Peso seco Ramas (kg)			Peso seco Hojas (kg)			Peso húmedo Frutos (kg)			Peso seco Total (kg)		
	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total

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

Los valores de biomasa total no coinciden con la biomasa total obtenida mediante la suma de cada componente, debido al efecto de no aditividad de las funciones para cada componente (Parresol, 2001).

Fuente: Cuadro 3, Anexo 12 Informe “Estimación biomasa de una población del género Prosopis emplazada en la Quebrada de Camar” (enero 2024)

La estimación de la biomasa en abril de 2024 presenta 261 registros correspondientes a árboles del género *Neltuma* (Series A, B, C, D) de los cuales fue posible ubicar y medir 191 árboles (73,10%). Los 70 árboles (26,8%) restantes no fue posible ubicarlos o se encuentran incompletos o desprendidos de su raíz en el lugar (desenterrados) y no fue posible su medición en terreno. Un 70,2% de los árboles (134 árboles) medidos se encuentran vivos, presentando algún nivel de vitalidad en sus vástagos y el 29,8% restante (57 árboles) actualmente no presenta ramillas con hojas o estas están secas y la madera de la totalidad de sus vástagos se aprecia completamente seca.

Según lo presentado en la Tabla 5-7, la mayor parte de los individuos (80,1%, 153 árboles) se concentran en las clases diamétricas de menor tamaño (0 a 2,5 cm, 2,6 a 5 cm) con alturas medias que no superan los 56 cm. Los individuos de mayor tamaño (>20 cm) sólo representan el 9,9% (19 árboles) de la población y pueden alcanzar en promedio hasta los 6,0 m de altura.

La mayoría de los individuos (86,3%, 165 árboles) presentan más de un vástago (plurifustales), cuyo número promedio fluctúa entre 2 y 259 vástagos por individuo.

El área basal es baja, alcanzando los 2,7291 m<sup>2</sup> para el total de la población, en donde el 74,60% de esta lo acumulan ocho individuos de gran tamaño (Dbe>30 cm).

El promedio de las áreas de la copa fluctúa entre 0,06 y 112,49 m<sup>2</sup>, mostrando una clara tendencia en su desarrollo en los individuos de mayor tamaño que son capaces de superar los 30 m<sup>2</sup> de área de copa.

**Tabla 5-7. 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 de 2024**

Rango Dbe (cm)	N° Vástagos promedio por individuo			Altura media (m)			Área basal acumulada (m <sup>2</sup> )			Área de copa (m <sup>2</sup> )		
	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos*	Total
0 - 2,5	6,0	4,1	5,4	0,14	0,09	0,12	0,0145	0,0057	0,0202	0,08	0,04	0,06
2,6 - 5,0	14,1	6,7	12,3	0,40	0,56	0,44	0,0206	0,0063	0,0269	0,46	2,23	0,87
5,1 - 7,5	34,0	18,0	30,0	0,71	0,68	0,70	0,0092	0,0025	0,0117	1,78	3,28	2,16
7,6 - 10,0	15,7	2,5	10,4	0,88	1,74	1,22	0,0186	0,0134	0,0320	3,55	5,34	4,27
10,1 - 12,5	25,5	-	25,5	1,57	-	1,57	0,0173	-	0,0173	9,16	-	9,16
12,6 - 15,0	8,0	21,0	12,3	1,71	0,48	1,30	0,0270	0,0132	0,0402	9,98	1,73	7,23
15,1 - 17,5	12,0	4,0	8,0	1,67	0,56	1,12	0,0193	0,0182	0,0375	6,46	0,63	3,54
17,6 - 20,0	69,5	1,0	46,7	2,01	0,97	1,66	0,0557	0,0314	0,0871	11,93	2,98	8,95
20,1 - 22,5	92,0	8,0	71,0	1,82	1,78	1,81	0,1086	0,0357	0,1443	17,60	7,74	15,13
22,6 - 25,0	3,0	-	3,0	2,02	-	2,02	0,1731	-	0,1731	10,61	-	10,61
25,1 - 27,5	3,5	-	3,5	3,20	-	3,20	0,1014	-	0,1014	25,27	-	25,27
27,6 - 30,0	4,7	4,0	4,5	3,08	2,61	2,97	0,1930	0,0672	0,2602	26,97	13,62	23,63
47,6 - 50,0	1,0	-	1,0	3,72	-	3,72	0,1810	-	0,1810	38,90	-	38,90

Tabla 5-7. 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 de 2024

Rango Dbe (cm)	N° Vástagos promedio por individuo			Altura media (m)			Área basal acumulada (m2)			Área de copa (m2)		
	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos*	Total
60,1 – 62,5	6,0	-	6,0	5,6	-	5,6	0,2862	-	0,2862	54,44	-	54,44
67,6 – 70,0	10,5	-	10,5	5,9	-	5,9	0,7558	-	0,7558	112,49	-	112,49
82,6 – 85,0	1,0	-	1,0	6,00	-	6,00	0,5542	-	0,5542	111,84	-	111,84
Total/Media	11,1	4,9	9,3	0,69	0,31	0,58	2,5355	0,1936	2,7291	5,65	0,98	4,26

(\*) 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 2024)

La Tabla 5-11 presenta la biomasa aérea promedio (kg) por componente y total, según vitalidad (vivos, secos) de la población de árboles estudiada.

La biomasa aérea alcanza los 7.847,87 kg para el total de la población medida (134 árboles "Vivos" y 57 árboles "Secos"), con un valor promedio por individuos de 41,08 kg. El 95,7% de la biomasa proviene de individuos vivos y sólo el 4,3% restante a individuos secos.

El 76,4% de la biomasa aérea se concentra en cinco individuos monofustales de gran tamaño, con diámetros que van entre los 48 y los 84 cm y con alturas que van entre los 3,7 m hasta 6,2 m. Es importante señalar, que los valores de biomasa total no coinciden con la biomasa total obtenida mediante la suma de cada componente, debido al efecto de no aditividad de las funciones para cada componente (Parresol, 2001; ver capítulo 1.3).

La biomasa aérea total de los individuos se distribuye porcentualmente de la siguiente forma: un 12,6% corresponde al fuste, 83,7% a ramas, 3,7% a hojas, es importante señalar que, para determinar específicamente estas proporciones por componente de biomasa, sólo se consideraron los individuos vivos, esto debido a que, en el caso de aquellos secos, no se sabe exactamente cuál es la proporción real de cada componente, ya que estos no presentan hojas. Por otro lado, se excluyó del análisis la biomasa de frutos ya que no se registró presencia de estos.

Tabla 5-8: Biomasa aérea promedio (kg) por componente y total, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población de árboles del género *Neltuma* (ex *Prosopis*). – abril 2024

Rango Dbe (cm)	N° individuos			Peso seco Fuste (kg)			Peso seco Ramas (kg)			Peso seco Hojas (kg)			Peso húmedo Frutos (kg)			Peso seco Total (kg)		
	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total
0 - 2,5	84	43	127	16,94	7,06	24,00	17,12	6,28	23,40	2,73	1,01	3,74	-	-	-	21,51	7,54	29,05
2,6 - 5,0	20	6	26	14,85	4,66	19,51	39,40	11,83	51,23	4,27	1,24	5,51	-	-	-	26,67	7,36	34,03
5,1 - 7,5	3	1	4	4,56	1,37	5,93	5,01	4,73	9,74	0,97	0,57	1,54	-	-	-	15,26	3,84	19,10
7,6 - 10,0	3	2	5	9,99	6,95	16,94	-	0,08	0,08	1,15	2,59	3,74	-	-	-	35,63	25,94	61,57
10,1 - 12,5	2	-	2	9,75	-	9,75	0,72	-	0,72	3,12	-	3,12	-	-	-	33,27	-	33,27
12,6 - 15,0	2	1	3	11,96	3,78	15,74	-	-	-	3,93	0,12	4,05	-	-	-	51,92	25,45	77,37
15,1 - 17,5	1	1	2	6,38	4,71	11,09	0,01	-	0,01	1,11	-	1,11	-	-	-	35,05	33,06	68,11
17,6 - 20,0	2	1	3	17,53	5,46	22,99	0,64	-	0,64	4,52	0,32	4,84	-	-	-	101,01	56,97	157,98
20,1 - 22,5	3	1	4	29,71	9,65	39,36	0,39	0,14	0,53	9,20	1,40	10,60	-	-	-	194,29	64,82	259,11
22,6 - 25,0	4	-	4	47,14	-	47,14	11,47	-	11,47	9,11	-	9,11	-	-	-	302,33	-	302,33
25,1 - 27,5	2	-	2	37,10	-	37,10	54,43	-	54,43	12,04	-	12,04	-	-	-	240,69	-	240,69
27,6 - 30,0	3	1	4	57,61	17,52	75,13	154,04	16,84	170,88	19,66	3,07	22,73	-	-	-	457,08	110,49	567,57
47,6 - 50,0	1	-	1	42,71	-	42,71	258,09	-	258,09	10,10	-	10,10	-	-	-	488,60	-	488,60
60,1 - 62,5	1	-	1	89,51	-	89,51	490,60	-	490,60	21,22	-	21,22	-	-	-	788,23	-	788,23
67,6 - 70,0	2	-	2	228,75	-	228,75	3.077,47	-	3.077,47	83,23	-	83,23	-	-	-	3.263,09	-	3.263,09
82,6 - 85,0	1	-	1	149,42	-	149,42	1.041,82	-	1.041,82	42,40	-	42,40	-	-	-	1.457,77	-	1.457,77
Total	134	57	191	773,91	61,16	835,07	5.151,21	39,90	5.191,11	228,76	10,32	239,08	-	-	-	7.512,40	335,47	7.847,87

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

Los valores de biomasa total no coinciden con la biomasa total obtenida mediante la suma de cada componente, debido al efecto de no aditividad de las funciones para cada componente (Parresol, 2001).

Fuente: Cuadro 2, Anexo 12 Informe "Estimación biomasa de una población del género *Prosopis* emplazada en la Quebrada de Camar" (abril 2024)

La distribución de la biomasa entre los periodos de enero y abril de 2024 se distribuyen porcentualmente de la siguiente manera:

Tabla 5-9. Distribución porcentual de la biomasa aérea de individuos vivos monitoreados en enero y abril de 2024

Componente	Enero	Abril	Diferencia
Fuste	9,9%	12,6%	+2,7%
Ramas	87,3%	83,7%	-3,6%
Hojas	2,8%	3,7%	+0,9%

Fuente: Elaboración propia

Se observa que entre enero y abril de 2024, la proporción del fuste aumentó un 2,7. Mientras que la biomasa de ramas disminuyó en un 3,6%, posiblemente debido a pérdida de tejido leñoso secundario (por quiebre, ramoneo o senescencia), o simplemente un cambio proporcional debido al crecimiento de otros componentes. Por su parte, la biomasa foliar registra un incremento del 0,9% lo que podría indicar un rebrote o una mejora en la actividad vegetativa, quizás relacionada con condiciones hídricas más favorables en abril.

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

Durante el primer semestre del 2024 se realizaron 19 monitoreos sobre los 37 ejemplares sometidos a riego, en los cuales se evaluó la vitalidad y porcentaje de copa viva de cada uno de ellos. A continuación, se presentan los resultados de estas mediciones, mientras que los reportes de cada monitoreo se entregan en el Anexo 8 de este informe.

### 5.2.1 Vitalidad

A lo largo del semestre la categoría Crecimiento normal es la más frecuente, aunque disminuye progresivamente hacia los monitoreos de mayo y junio. Se observa el máximo de 34 individuos en esta categoría el 08-03-2024 y un mínimo de 5 el 08-06-2024, lo que podría indicar que la mayoría de los árboles están perdiendo vigor hacia el final del semestre. Esto se reafirma al observar la dinámica temporal de las categorías muy débil y débil, las que presentan fluctuaciones notables a lo largo del período, precisamente entre enero y febrero, se observa la mínima cantidad de árboles en estas categorías, mientras que en marzo y abril aumentan progresivamente, ya en los meses de mayo y junio, el número de árboles muy débiles alcanza su valor máximo, de 21 ejemplares el 08-06-2024.

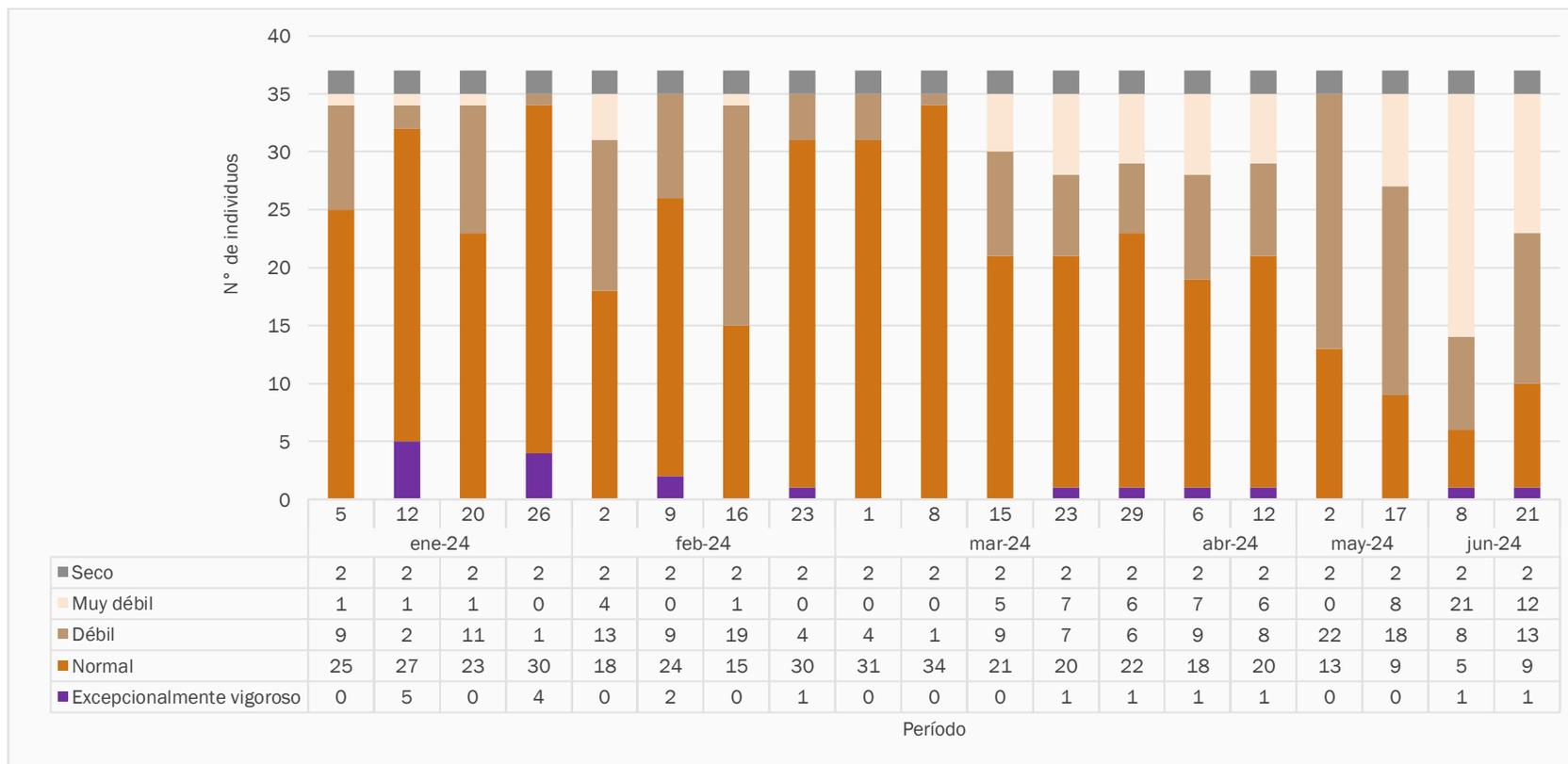
El número de individuos Secos se mantiene constante en 2 ejemplares (A06 y A59)<sup>19</sup>, lo que indica que estos árboles no aumentaron durante el período.

Estos resultados sugieren que los árboles monitoreados responderían a las condiciones ambientales propias del sector, como las altas temperaturas del desierto y la baja disponibilidad de agua hacia finales del semestre producto del inicio de la época invernal, mientras que es probable que los ejemplares Secos hayan llegado a un punto irreversible, al no registrar vitalidad o follaje verde a pesar del riego.

---

<sup>19</sup> Individuo A06 y A56 secos desde el primer monitoreo mensual; solo en noviembre de 2023 el árbol A56 presentó vitalidad, registrándose Débil.

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 SQM, 2024. Elaboración propia, 2024

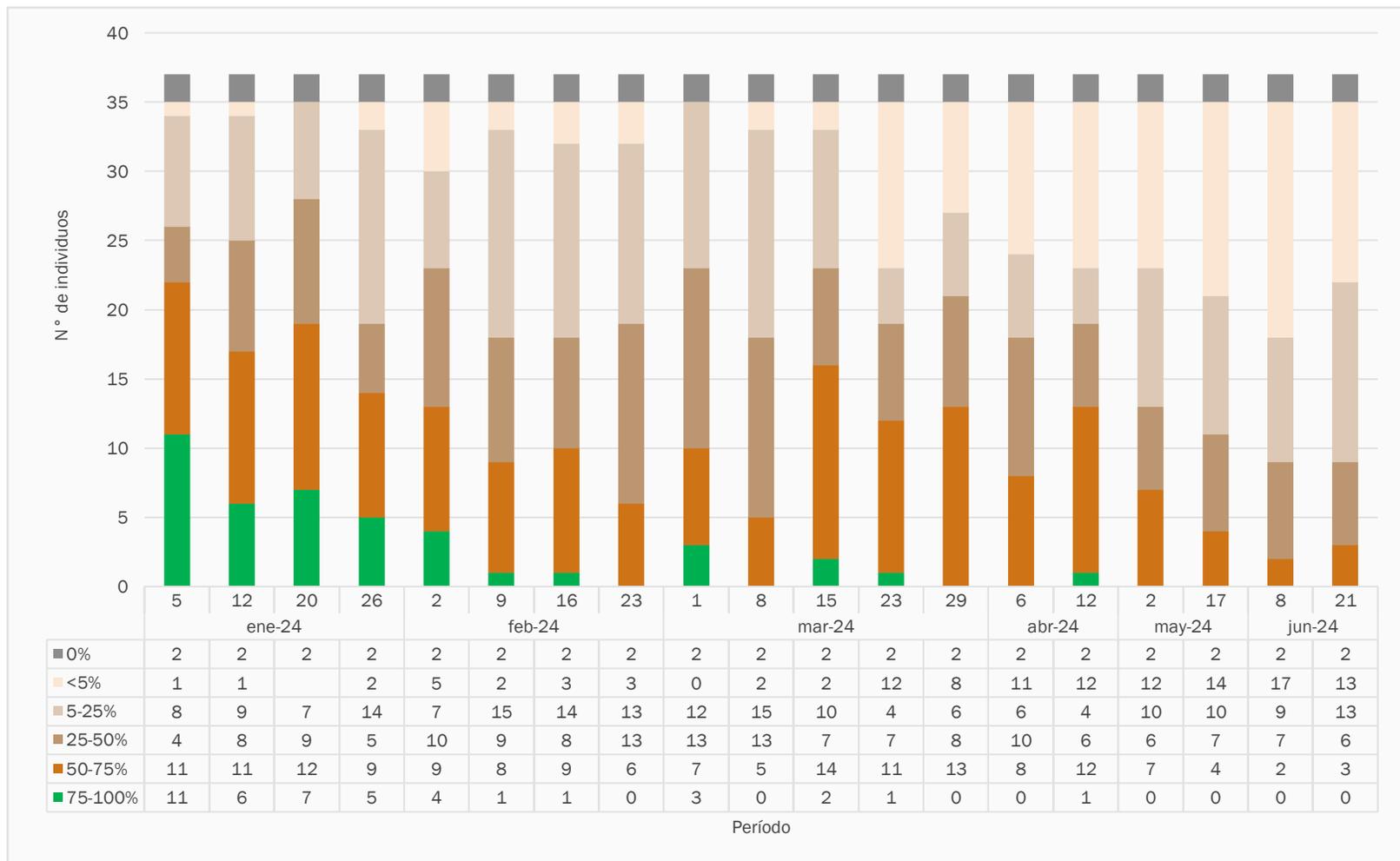
## 5.2.2 Porcentaje de copa viva

La Figura 5-24, muestra la proporción de copa viva clasificada en seis categorías de porcentaje: 0%, <5%, 5-25%, 25-50% 50-75% y 75-100%, para los individuos de algarrobo con riego monitoreados durante el primer semestre del 2024.

Las categorías de copa viva más altas (50-75% y 75-100%) predominan al inicio del año, pero comienzan a disminuir gradualmente a medida que se acerca la temporada de invierno, aumentando la porción de individuos en categorías más bajas, (<5% y 5-25%). Hacia los meses de abril a junio, este comportamiento se hace más evidente, lo que se relacionaría a la estacionalidad. Las categorías intermedias (5-25% y 25-50%), muestran cierta estabilidad, indicando que algunos árboles logran mantener una proporción moderada de copa viva. Por su parte, el número de árboles sin copa viva permanece constante en 2 individuos a lo largo de todo el periodo.

Estos resultados son concordantes con los parámetros de vigor vistos en la sección anterior y sugieren que los árboles responderían a las condiciones ambientales propias del sector, como las altas temperaturas del desierto y la baja disponibilidad de agua hacia finales del semestre producto del inicio de la época invernal, siendo su comportamiento en el semestre acorde a esto, disminuyendo el follaje al acercarse la época de receso vegetativo.

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 SQM, 2024. Elaboración propia, 2024.

### 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 y fugas en las líneas de abastecimiento de agua y piquetes en las cañerías. En menor medida, se han encontrado pérdidas de presión.

En la Tabla 5-10 se muestran los principales desperfectos ocurridos durante el primer semestre de 2024. A partir de enero de 2024, la empresa de riego *Teknoriego* realiza el mantenimiento del sistema.

**Tabla 5-10. Principales desperfectos detectados en los componentes del sistema de riego**

Fecha de detección	Tipo de afectación	Árbol afectado	Reparación
05.01.2024	Filtraciones en cañerías	*Sectores 1 y 2 (sin árbol asociado)	Reparo provisorio en Individuo A-34.
12.01.2024	Piquete en cañerías	Se indica en informes de riego que en casi el 50% de los individuos se presenta esta afectación.	Reparo provisorio en individuos A-17, A-21, A-23, A-25, A-41, A-45, A-46, C14, C-15 y C-71. 20-01-2024
26.01.2024	Filtraciones de distinto tipo	Se indica en informes de riego que en el 80% de los individuos se presenta esta afectación.	-
02.02.2024	Piquete en cañerías	A-04, A-33, A-36, A-38, A-39, A-41, A-42, A-58, AX-01, C-15, C-19 y C-16.	Reparo provisorio. 02.02.2024
16-02-2024	Piquete en cañerías	AX-01, A-37, A-07, A-12, A-17, A-21, A-23, A-25, A-26, A-30 y A-31.	Reparo provisorio. 16.02.2024
23.02.2024	Piquete en cañerías	A-07, A-11, A-12, A-17, A-21, A-25, A-26, A-30, A-31 y AX-01	Reparo provisorio. 23.02.2024
01.03.2024	Piquete en cañerías	A-06, A-07, A-12, A-25 y A-31,	Reparo provisorio. 01.03.2024
15.03.2024	Piquete en cañerías	A-06, A-07, A-08, A-11, A-12, A-17, A-22, A-23, A-59, A-36, A-37, A-38, A-41, AX-01, C-14 y C-15	Reparo provisorio. 15.03.2024
23.03.2024	Piquete en cañerías	A-06, A-07, A-08, A-11, A-12, A-17, A-22, A-25, A-34, A-59, A-36, A-37, A-38, A-41, AX-01, C-14, C-15.	Reparo provisorio. 23.03.2024
29.03.2024	Piquete en cañerías	A-07, A-08, A-17, A-21, A-23, A-25 y AX-01.	29.03.2024
06.04.2024	Filtración en ejemplares	A-06; A-07; A-08; A-11; 4-12; A-17; A-21; A-22; A-30; A-31; -41; A-42; A-59	-
12.04.2024	Piquete en cañerías	A-40, A-48, AX-01, C-14, C-15, A-07, A-08, A-21 y A-23.	Reparo filtraciones de individuos A-07, A-08, A-21 y A-23.

Tabla 5-10. Principales desperfectos detectados en los componentes del sistema de riego

Fecha de detección	Tipo de afectación	Árbol afectado	Reparación
	Filtración en ejemplares	A-07; A-12; A-17; A-23; A-37	-
02.05.2024	Filtración en ejemplares	A-08; A-11; A-12; A-17; A-34; A-37; A-38; A-40; A-42; A-43; A-48.	-
17.05.2024	Filtraciones y rotura de mangueras	A-30, A-31, A-33, A-34, A-36, A-37, A-38, A-39, A-40, A-41, A-42, A-43, A-46, A-48, C-16, C-19	Reparo provisorio
08.06.2024	Piquete en cañerías	*Sector 1 y 2 (sin árbol asociado)	Reparo en filtraciones de individuos A-33, A-37, A-38, A-39, A-40, A-42, A-44, A-46, A-45, A58, C-14, C-16, C-15, C-19 y C-71.
21.06.2024	Filtraciones en cañerías	Sector 1 (15 individuos) y Sector 2 (A-37, A-39, A-45, A-46, A-47 y C-1).	-

Fuente: GMA SQM, en base a Anexo 8, Elaboración propia, 2024

### 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 de 2024, el cual contempla los monitoreos de enero y abril de 2024. La base datos obtenida en las campañas se presenta en el Anexo 2 (vegetación) y Anexo 3 (Flora).

#### 5.3.1 Vegetación

##### 5.3.1.1 Superficie

La quebrada de Camar registró durante el monitoreo de enero y abril 2024 una superficie total de 4.044,05 ha, de las cuales aproximadamente un 10% están ocupadas por vegetación y el resto (90%) por otras superficies (tales como zonas de vegetación escasa, zonas agrícolas, red vial y zonas pobladas, entre otras). La Tabla 5-11 muestra las superficies y porcentajes de representatividad en el área de estudio según las formaciones vegetales en el primer semestre del 2024:

Tabla 5-11. Formaciones vegetales y otras superficies presentes en la quebrada de Camar

Formación	Cobertura (%)	Enero 2024		Abril 2024		
		Superficie		Superficie		
		(ha)	Participación (%)	(ha)	Participación (%)	
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> - <i>Ephedra multiflora</i> (Rica rica - Pingo pingo)	Ralo	17,99	0,44	6,16	0,15	
	Muy abierto	-	-	28,92	0,72	
Subtotal		17,99	0,44	35,08	0,87	
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i> - <i>Atriplex imbricata</i> (Cachiyuyo - Ojalar)	5,91	5,91	0,15	5,91	0,15	
	Muy abierto	36,67	0,91	17,83	0,44	
	Abierto	1,47	0,04	7,03	0,17	
Subtotal		44,05	1,10	30,77	0,76	
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)	Rala	56,37	1,39	33,13	0,82	
	Muy abierto	151,49	3,75	173,19	4,28	
	Abierto	28,47	0,70	23,78	0,59	
	Semidenso	2,08	0,05	1,44	0,04	
Subtotal		238,41	5,89	231,54	5,73	
Matorral de <i>Tiquilia atacamensis</i> (Káuchal)	Ralo	67,92	1,68	70,47	1,74	
	Muy abierto	40,32	1,00	28,10	0,69	
	Abierto	0,17	0,004	0,17	0,004	
Subtotal		108,41	2,68	98,74	2,43	
<b>Total Matorrales</b>		-	<b>408,86</b>	<b>10,11</b>	<b>396,13</b>	<b>9,79</b>
Bosque de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo)	-	9,34	0,23	9,34	0,23	
<b>Subtotal</b>		<b>9,34</b>	<b>0,23</b>	<b>9,34</b>	<b>0,23</b>	
Pradera de <i>Distichlis spicata</i> (Gramma salada)	Ralo	0,24	0,01	0,24	0,01	
	Muy abierto	0,24	0,01	3,31	0,08	
<b>Subtotal</b>		<b>0,48</b>	<b>0,02</b>	<b>3,55</b>	<b>0,09</b>	
<b>Total superficie cubierta por vegetación</b>		<b>418,68</b>	<b>10,35</b>	<b>409,02</b>	<b>10,11</b>	
Zona agrícola	-	7,32	0,18	7,32	0,18	
Zona de vegetación escasa	-	3.572,83	88,35	3.582,48	88,59	
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	31,35	0,78	
Subtotal otras superficies		3.625,37	89,65	3.635,03	89,89	
<b>Total general</b>		<b>4.044,05</b>	<b>100,00</b>	<b>4.044,05</b>	<b>100,00</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tal como se señala en la tabla anterior, las formaciones vegetales con mayor superficie dentro de la quebrada corresponden a los matorrales con 408,86 ha (enero) y 396,13 ha (abril), lo que representa el 10,11% y 9,79% de la superficie total de la quebrada respectivamente. En menor proporción, se encuentran las formaciones boscosas con 9,34 ha (0,23% de la quebrada) y praderas con 0,48 ha (0,01% de la quebrada) en enero, y 3,55 ha (0,09% de la quebrada) en abril. La mayor parte de la quebrada corresponde a zonas de vegetación escasa, cuya cobertura de especies vegetales es menor al 5%. En enero, éstas registraron una superficie de 3.572,83 (88,35% de la quebrada) mientras que, en abril, registraron 3.582,48 (88,59% de la quebrada) en abril. El 1,30% de la superficie restante se divide en el área ocupada por la red vial (31,34 ha) y las zonas agrícolas, zonas pobladas, áreas intervenidas y el tranque de agua asociadas al pueblo de Camar (21,2) ha, cuyas superficies no variaron en el período analizado. El mapa de vegetación asociados a estas superficies para los periodos de enero y abril 2024 se adjunta en el Anexo 4.

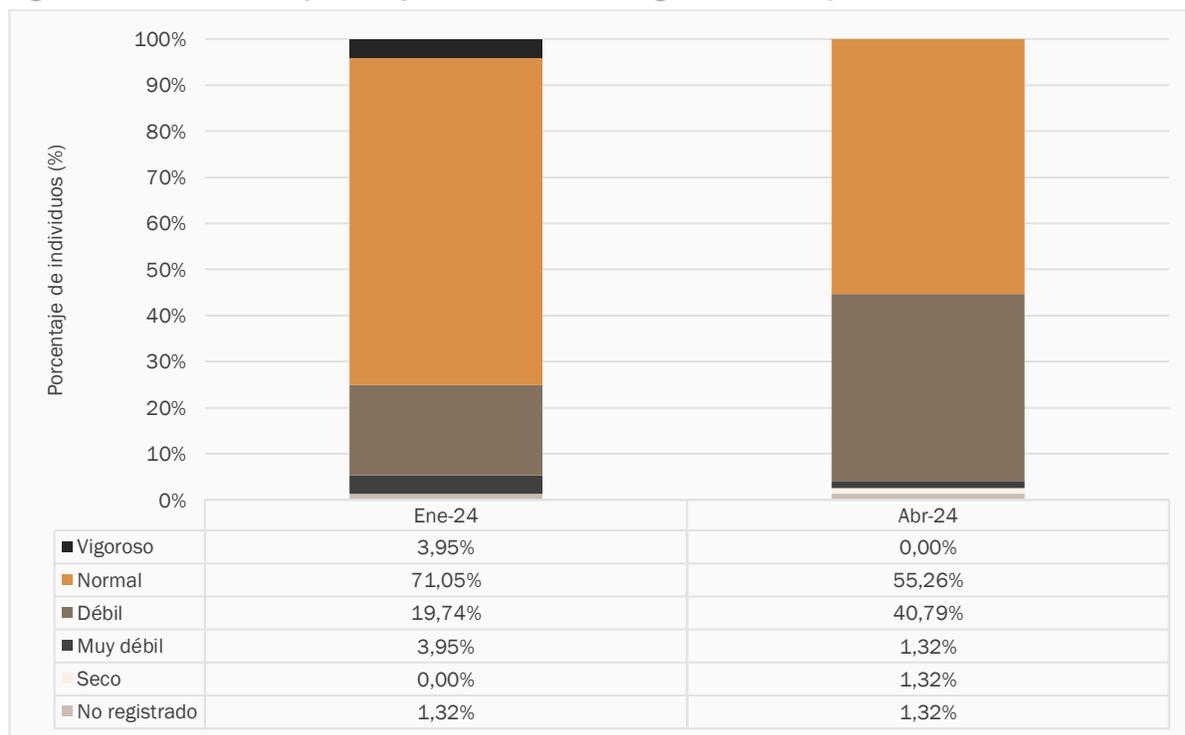
### 5.3.1.2 Vitalidad

Los resultados de la vitalidad se presentan en la Figura 5-25. De los 75 polígonos visitados en el primer semestre de 2024 (enero y abril), la mayoría se ubicó en la categoría de vitalidad de crecimiento normal, concentrando el 71,05% de las muestras en enero y el 55,26% en abril. Por su parte, la categoría débil, tuvo una mayor representación en abril respecto al monitoreo anterior (40,79% en abril, versus 19,74% en enero). Con respecto a la categoría de vitalidad muy débil, en enero, se registró un 3,95% (3 muestras), mientras que, en abril, sólo una muestra (1,32% del total); en la categoría seco no se observaron registros en enero y sólo uno (1,32% del total) en abril. Por último, para la categoría vigoroso presentó tres (3) registros (3,95% del total) en enero, y cero (0) registros en abril. En ambos meses (enero y abril), una descripción de terreno no tuvo registros<sup>20</sup>, equivalente al 1,32%. 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.

---

<sup>20</sup> El punto P-01 no pudo ser monitoreado, ya que, se encuentra dentro de un recito privado.

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



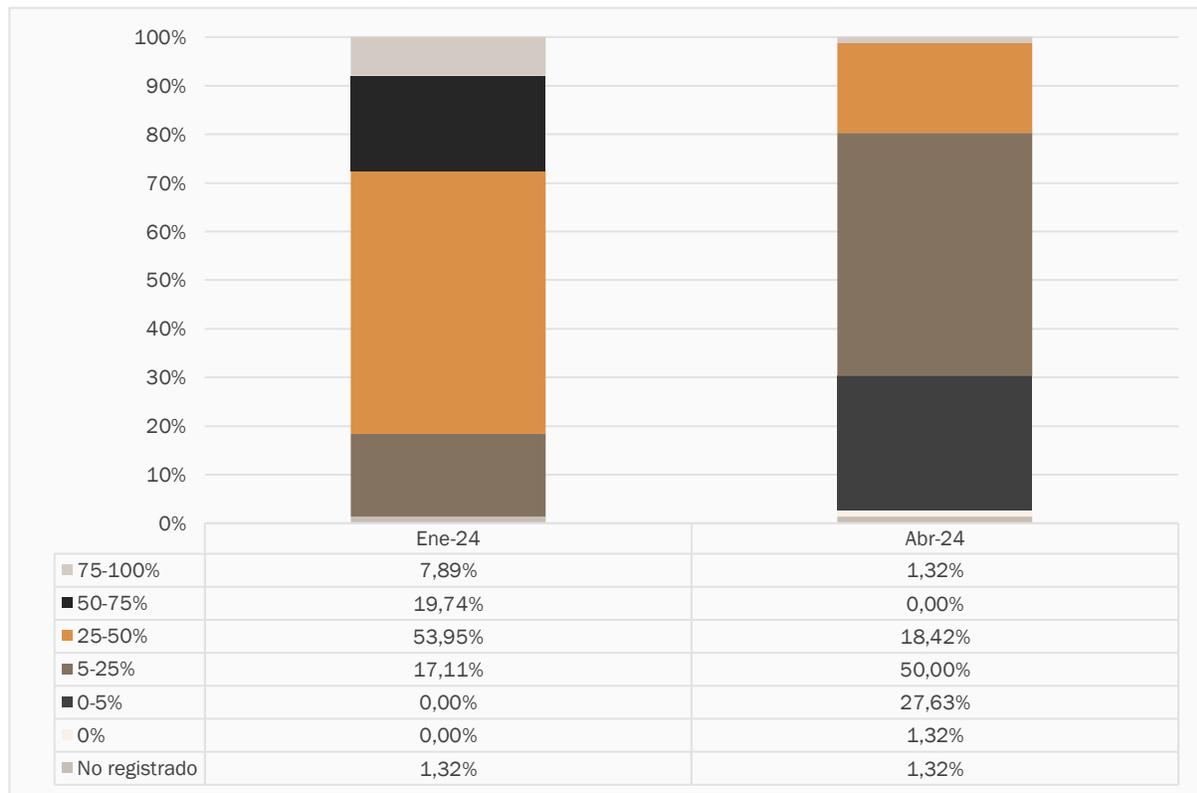
Fuente: Elaboración propia, 2024

### 5.3.1.3 Porcentaje de copa viva

Los resultados del porcentaje de copa viva se presentan en la Figura 5-26. A nivel general, de los 75 polígonos visitados en el primer semestre de 2024 (enero y abril), se observa que la mayoría se concentran en la categoría 25-50% en enero (53,96% del total) y en la categoría 5-25% en abril (50,00% del total). En enero, las categorías 50-75% y 75-100%, registraron un 19,74% y 7,89% del total de las muestras respectivamente, mientras que, la categoría 5-25% registró un 17,11% y las categorías 0-5% y 0%, registraron un 0,00% ambas. Por su parte, en abril 2024, las categorías 25-50%, 50-75% y 75-100%, registraron un 18,42%, 0,00% y 1,32% del total de las muestras respectivamente, mientras que, la categoría <5% y 0% registraron un 27,63% y 1,32% del total de las muestras respectivamente. La unidad P-001 no pudo ser muestreada<sup>21</sup> y fue clasificada como sin información (1,32% del total de las muestras).

<sup>21</sup> El punto P-001 se encuentra dentro de un sitio privado al cual no se tiene acceso.

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



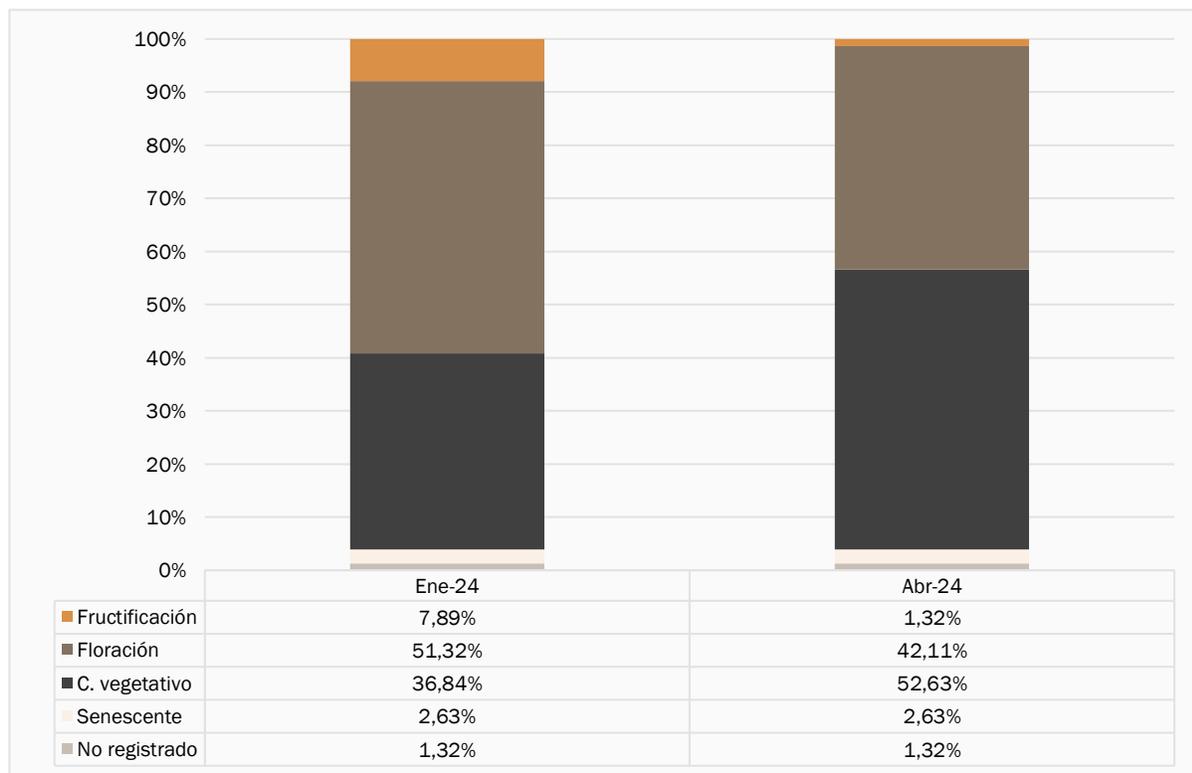
Fuente: Elaboración propia, 2024

### 5.3.1.4 Estado fenológico

La variación del estado fenológico de las 75 unidades vegetacionales visitadas y descritas en el primer semestre del 2024 se presenta en la Figura 5-27. Las categorías más representadas tanto en enero como en abril corresponden a las de floración y crecimiento vegetativo, concentrando un 88,16% de las muestras en enero, y un 94,74% en abril. En enero de 2024, la categoría de floración presentó un 51,32% de las muestras, por su parte, la categoría de crecimiento vegetativo registró un 36,84% del total, mientras que la senescencia y la fructificación representaron porcentajes menores, con un 2,63% y 7,89%, respectivamente. Para abril de 2024, se observó un aumento en la proporción de plantas en crecimiento vegetativo (52,63%) y una disminución en la floración (42,11%) y la fructificación (1,32%), manteniéndose estable la categoría de senescencia en 2,63%. La unidad P-001 no pudo ser muestreada<sup>22</sup> y fue clasificada como sin información (1,32% del total de las muestras) en ambos períodos.

<sup>22</sup> No pudo ser monitoreado, ya que, se encuentra dentro de un recito privado.

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



Fuente: Elaboración propia, 2024

### 5.3.1.5 Afectación antrópica y/o natural

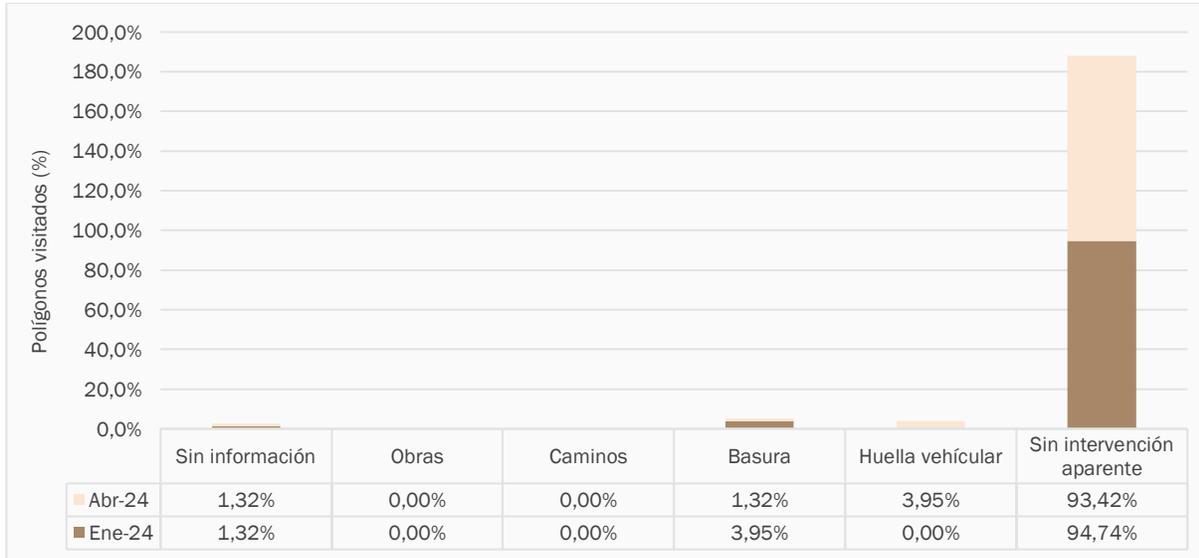
Los resultados relativos a la afectación antrópica sobre la vegetación dentro de la quebrada de Camar se presentan en la Figura 5-28. De las 75 unidades vegetacionales (polígonos) visitadas en enero 2024, se registraron signos de intervención antrópica en el 3,95%, correspondiente únicamente a presencia de basura, mientras que en el 94,74% no se observaron signos de intervención antrópica. Por otra parte, en abril de 2024, se registraron signos de intervención antrópica en el 5,26% de ellas, 1,32% por basura y 3,95% por huellas vehiculares, mientras que en el 93,42% no se observaron signos de intervención antrópica. Cabe destacar que, en ambos meses, un 1,32% se registró como sin información, ya que no fue posible acceder un polígono<sup>23</sup>. Los tipos de intervención registrados en el primer semestre del 2024 se pueden ver en la Fotografía 5-1.

Respecto a la afectación natural (animal, presencia de plagas o patógenos), en el presente monitoreo se reportó información respecto a la presencia de animales en la quebrada a través del registro de fecas de burro en el 44,74% de los puntos de muestreo en enero, y del 75,00% en abril. Además, se observa afectación directa por ramoneo en individuos de *Neltuma alba* (informe de “Análisis de vitalidad de algarrobos – abril

<sup>23</sup> El punto P-001 no pudo ser monitoreado, ya que, se encuentra dentro de un recito privado.

2024” 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).

Figura 5-28. Tipos de daño antrópico



Fuente: Elaboración propia, 2024

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



(Coordenadas UTM 594.959 E – 7.409.143 N)



(Coordenadas UTM 594.862 E – 7.411.032 N)

Fuente: Registro fotográfico en terreno, enero y abril de 2024

No se registraron en este período daños recientes asociados a tala, poda, extracción o descepado de individuos de especies vegetales dentro de la quebrada, así como plagas o patógenos. Sin embargo, cabe mencionar que existen signos antiguos de este tipo de intervención en algunos individuos de mayor tamaño de *Neituma 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*<sup>24</sup> (Gajardo, 1994), o establecimiento de poblaciones de forma natural. Estas áreas, en muchos casos, son de pequeña superficie.

### 5.3.2.1 Riqueza florística

En la Tabla 5-12 se muestran los resultados correspondientes a la riqueza registrada durante el primer semestre de 2024. El análisis de la flora registrada en la quebrada de Camar, de acuerdo con su origen fitogeográfico para los meses de enero y abril de 2024, da cuenta de un total de 10 taxa en ambos períodos. Las especies registradas en los transectos durante enero incluyen a *Aloysia deserticola*, *Atriplex atacamensis*, *Atriplex imbricata*, *Distichlis spicata*, *Ephedra multiflora*, *Tessaria absinthioides*, *Tiquilia atacamensis* y *Cistanthe celosioides*, mientras que en abril se registraron las mismas especies, con la adición de *Tarasa operculata* en lugar de *Cistanthe celosioides*. Además, se encuentran presentes dentro de la quebrada las especies arbóreas *Neltuma alba* y *Strombocarpa tamarugo* en ambos períodos.

De las especies identificadas en la quebrada de Camar, el 70% (7 de los 10 taxa) se ubican en regiones con escasa disponibilidad hídrica, mientras que dos (*Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*) poseen una amplia distribución nacional. En cuanto al hábito de crecimiento de las especies, en enero, el 50% (5 especies) presentó hábito arbustivo, el 20% (2 especies) correspondió a herbáceas y el 20% restante (2 especies) a especies arbóreas. En abril, un 70% (7 especies) de las especies fueron arbustos, el 10% (1 especie) fue herbáceas, y el 20% (2 especies) arbóreas.

Tabla 5-12. Riqueza de especies presentes en el área de estudio

Nº	Nombre científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	Enero 2024	Abril 2024
1	<i>Adesmia atacamensis</i>	Fabaceae	Arbusto	Endémico	-	-
2	<i>Adesmia rahmeri</i>	Fabaceae	Hierba anual	Nativo	-	-
3	<i>Allionia incarnata</i> *	Nyctaginaceae	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>	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	X	X
7	<i>Atriplex imbricata</i> var. <i>imbricata</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	X	X

<sup>24</sup> Desintegración del género en *Neltuma*, *Strombocarpa* y *Prosopis* en 2022.

Tabla 5-12. Riqueza de especies presentes en el área de estudio

Nº	Nombre científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	Enero 2024	Abril 2024
8	<i>Cistanthe amarantoides</i> *	Montiaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-
9	<i>Cistanthe celosioides</i>	Montiaceae	Hierba anual	Nativo	X	-
10	<i>Cistanthe salsoloides</i>	Montiaceae	Hierba anual	Nativo	-	-
11	<i>Cristaria dissecta</i> *	Malvaceae	Hierba anual	Nativo	-	-
12	<i>Distichlis spicata</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X
13	<i>Ephedra multiflora</i>	Ephedraceae	Arbusto	Nativo	X	X
14	<i>Euphorbia amandi</i> *	Euphorbiaceae	Hierba anual	Nativo	-	-
15	<i>Exodeconus integrifolius</i>	Solanaceae	Hierba anual	Nativo	-	-
16	<i>Hoffmannseggia doellii</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-
17	<i>Lupinus oreophilus</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-
18	<i>Neltuma alba</i>	Fabaceae	Árbol	Nativo	(*)	(*)
19	<i>Phragmites australis</i>	Poaceae	Hierba perenne	Introducido	-	-
20	<i>Solanum chilense</i>	Solanaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-
21	<i>Strombocarpa tamarugo</i>	Fabaceae	Árbol	Endémico	(*)	(*)
22	<i>Tarasa operculata</i>	Malvaceae	Arbusto	Nativo	-	X
23	<i>Tessaria absinthioides</i>	Asteraceae	Arbusto	Nativo	X	X
24	<i>Tiquilia atacamensis</i>	Boraginaceae	Arbusto	Endémico	X	X
25	<i>Tribulus terrestris</i>	Zygophyllaceae	Hierba anual	Introducido	-	-
26	<i>Urmenetea atacamensis</i>	Asteraceae	Hierba perenne	Nativo	-	-
Riqueza dentro de los puntos de muestreo					8	8
Riqueza fuera de los puntos de muestreo					10	10
Riqueza total					10	10

(x) = Presencia de la especie; (-) = Ausencia de la especie; (\*) Especie fuera de transecto

Fuente: Elaboración propia, 2024

### 5.3.2.2 Abundancia

En la Tabla 5-13 se presenta la frecuencia y cobertura de las especies registradas en enero y abril de 2024, 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 56 puntos en abril. Esto corresponde al 73,33% y 74,67% del total de puntos de muestreo respectivamente. La especie *Atriplex atacamensis* se registró en 21 puntos de monitoreo (28,00% del total) en enero y en 25 puntos (33,33% del total) en abril. La especie *Distichlis spicata* se registró en 21 puntos (28,00% del total) en enero y 17 puntos (22,67% del total) en abril. Le siguió la especie *Tiquilia atacamensis* presente en 19 puntos de monitoreo (25,33% del total) en enero y 14 puntos (18,67% del total de puntos) en abril. Por último, la especie

*Aloysia deserticola* se registró en 11 puntos de monitoreo (14,67% del total) tanto en enero como en abril. En menor medida y con participaciones menores al 10% en ambos períodos se registraron las especies *Atriplex imbricata*, *Ephedra multiflora*, *Cistanthe celosioides* y *Tarasa operculata*.

Con respecto a las coberturas, la especie con mayor cobertura fue *Tessaria absinthioides*, con un 10,46% en enero y un 10,38% en abril, seguida de *Atriplex atacamensis*, que registró un 1,94% en enero y un 2,53% en abril. Le siguieron *Aloysia deserticola*, con un 1,26% en enero y un 1,39% en abril; *Tiquilia atacamensis*, con un 1,04% en enero y un 0,61% en abril; y *Distichlis spicata*, que mantuvo una cobertura relativamente estable con un 0,50% en enero y un 0,49% en abril. Otras especies como *Atriplex imbricata* y *Ephedra multiflora* presentaron coberturas menores al 1%, con variaciones mínimas entre los dos periodos. Finalmente, *Cistanthe celosioides* registró una cobertura mínima de 0,01% en enero y no fue registrada en abril, mientras que *Tarasa operculata* se registró con una cobertura de apenas un 0,01% en abril y no fue registrada en enero.

Tabla 5-13. Cobertura y frecuencia de las especies registradas

N°	Especie	Enero 2024		Abril 2024	
		N° de puntos de muestreo	% de cobertura	N° de puntos de muestreo	% de cobertura
1	<i>Aloysia deserticola</i>	11	1,26%	11	1,39%
2	<i>Atriplex atacamensis</i>	21	1,94%	25	2,53%
3	<i>Atriplex imbricata</i>	7	0,28%	3	0,02%
4	<i>Cistanthe celosioides</i>	1	0,01%	0	0,00%
5	<i>Distichlis spicata</i>	21	0,50%	17	0,49%
6	<i>Ephedra multiflora</i>	2	0,13%	4	0,10%
7	<i>Tarasa operculata</i>	0	0,00%	1	0,01%
8	<i>Tessaria absinthioides</i>	55	10,46%	56	10,38%
9	<i>Tiquilia atacamensis</i>	19	1,04%	14	0,61%

Fuente: Elaboración propia, 2024

## 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 de 2024 no indican

tendencias marcadas de mayores CHS ni al oeste ni al este de la quebrada (Figura 5-29). En general, el CHS da cuenta de un promedio semestral del  $0,90\% \pm 0,79\%$ . 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 para el primer semestre de 2024, el mayor valor promedio general se registra en el mes de mayo con un  $2,46\% \pm 2,71\%$ . Por otro lado, el menor valor promedio general se observa en el mes de enero, con un  $0,46\% \pm 1,08\%$ .

Figura 5-29. Contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en la quebrada de Camar – primer semestre 2024

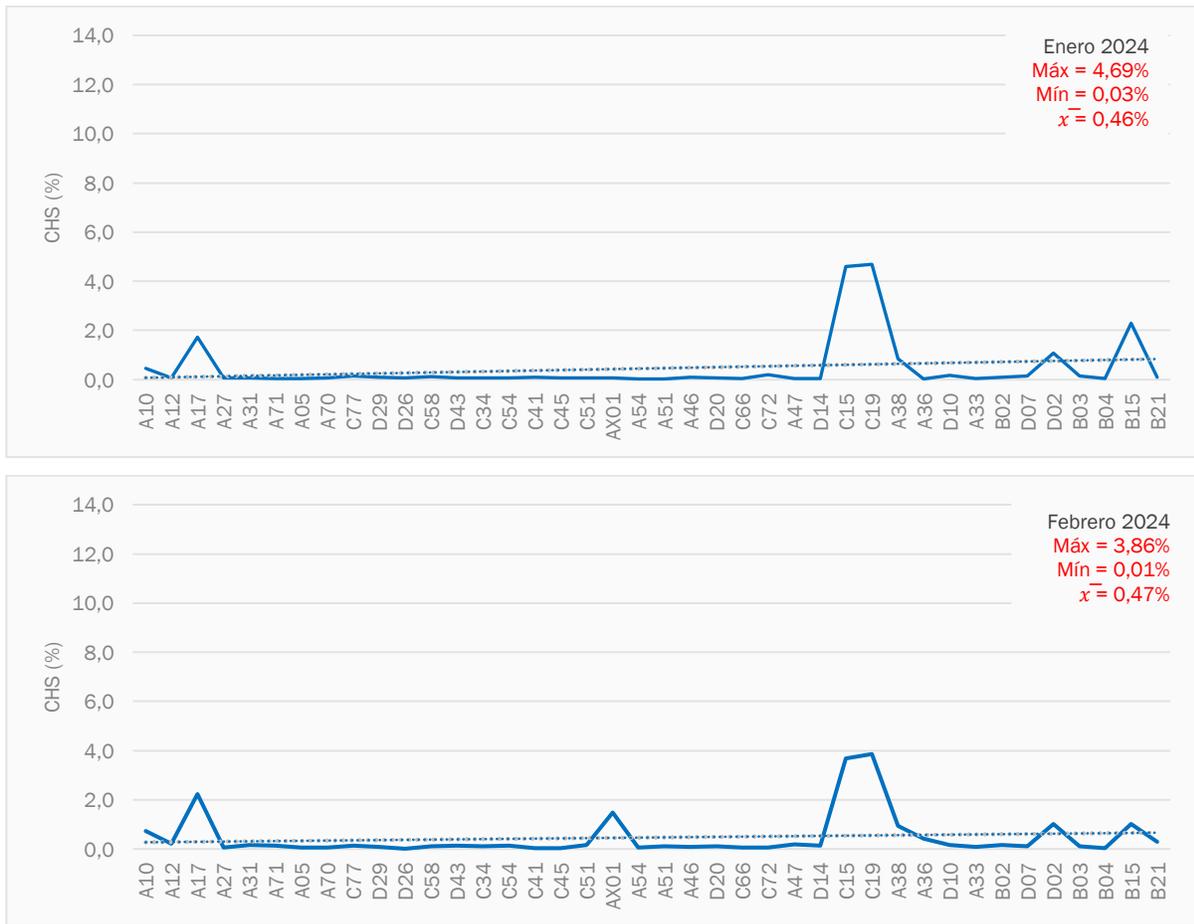


Figura 5-29. Contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en la quebrada de Camar – primer semestre 2024

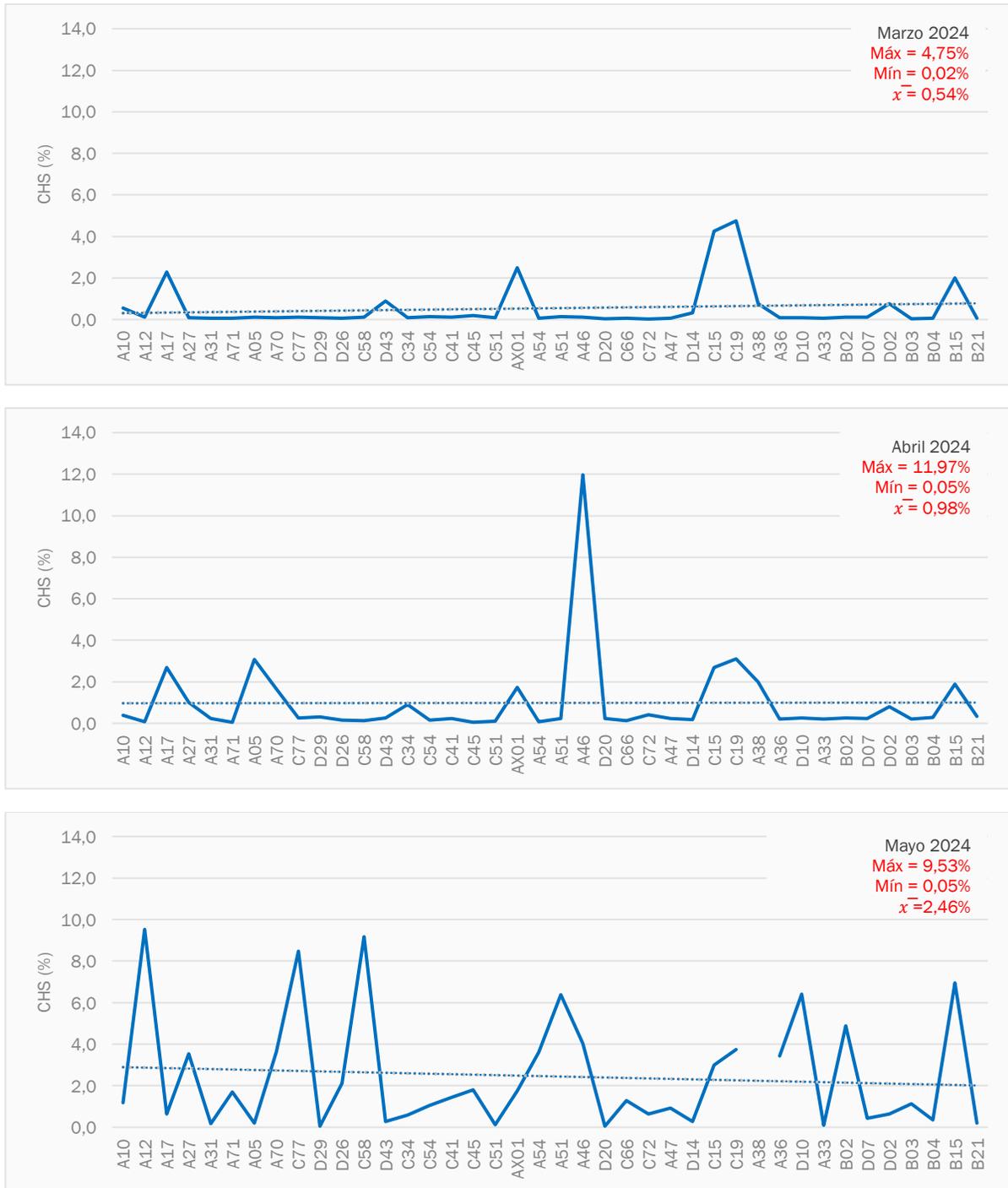
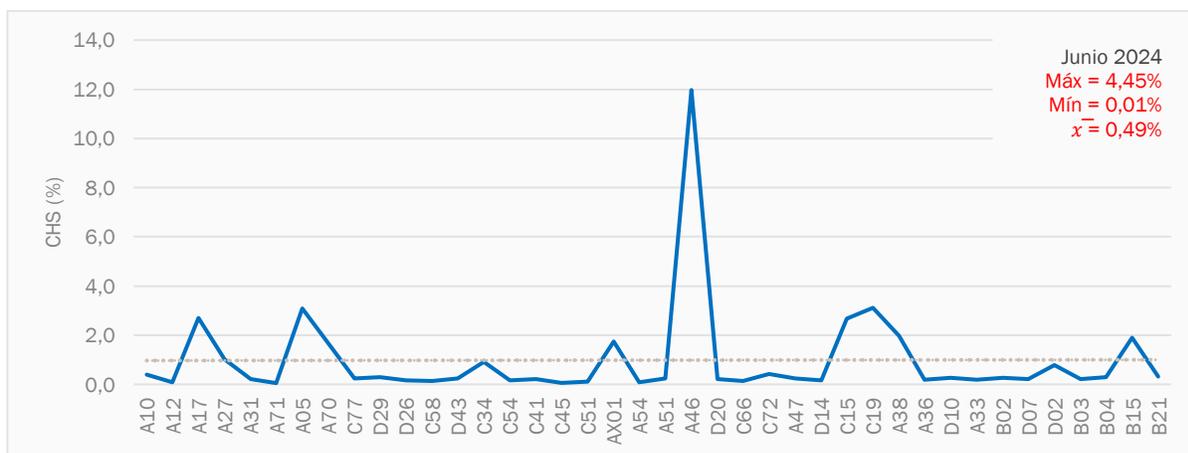


Figura 5-29. Contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en la quebrada de Camar – primer semestre 2024



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

Fuente: Elaboración propia

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, 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 5-14 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 del primer semestre de 2024, se puede ver que el valor promedio máximo fue 11,97% y se registró en el punto A-46 (individuo con riego) en el monitoreo de abril, mientras que el valor mínimo fue 0,01% y fue registrado en los puntos D-26 y C-54 (individuos sin sistema de riego) en los meses de febrero y junio.

Estos valores se encuentran muy alejados del promedio y no representan el comportamiento general de los demás individuos, cuyos valores de CHS se mantienen estables o aumentan luego de los eventos de precipitaciones, para luego ir disminuyendo conforme avanza el semestre. En todos los casos, los individuos con riego presentaron un promedio mayor CHS que los individuos sin riego.

Tabla 5-14. CHS en individuos de Neltuma alba con y sin sistema de riego

Individuo	Sistema	Coordenada este	Coordenada norte	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
A12	Con riego	597.220	7.409.970	0,08	0,21	0,12	0,08	9,53	0,43
A17	Con riego	597.603	7.409.916	1,72	2,22	2,28	2,7	0,63	2,97
A31	Con riego	597.789	7.409.950	0,06	0,17	0,06	0,22	0,17	0,27
A33	Con riego	598.756	7.409.890	0,05	0,08	0,06	0,2	0,1	0,22
A36	Con riego	598.727	7.409.760	0,03	0,41	0,08	0,2	3,43	0,01

Tabla 5-14. CHS en individuos de Neituma alba con y sin sistema de riego

Individuo	Sistema	Coordenada este	Coordenada norte	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
A38	Con riego	598.674	7.409.690	0,86	0,94	0,76	1,98	16,71	1,95
A46	Con riego	598.490	7.409.730	0,09	0,08	0,1	11,97	4,04	0,1
A47	Con riego	598.580	7.409.760	0,05	0,2	0,07	0,24	0,92	0,08
C15	Con riego	598.603	7.409.690	4,6	3,68	4,25	2,68	3	2,94
C19	Con riego	598.630	7.409.700	4,69	3,86	4,75	3,1	3,73	4,45
AX01	Con riego	598.302	7.409.800	0,07	1,48	2,5	1,74	1,75	1,44
A05	Sin riego	598.000	7.409.770	0,04	0,05	0,11	3,08	0,19	0,06
A10	Sin riego	597.084	7.409.690	0,45	0,72	0,55	0,39	1,19	0,47
A27	Sin riego	597.676	7.409.910	0,07	0,05	0,08	1,01	3,53	0,01
A51	Sin riego	598.486	7.409.650	0,03	0,1	0,13	0,24	6,39	0,07
A54	Sin riego	598.413	7.409.640	0,03	0,07	0,06	0,08	3,61	0,21
A70	Sin riego	598.021	7.409.880	0,06	0,06	0,09	1,66	3,63	0,07
A71	Sin riego	597.816	7.409.790	0,04	0,13	0,07	0,05	1,71	0,27
B02	Sin riego	599.016	7.409.890	0,09	0,17	0,11	0,26	4,87	0,11
B03	Sin riego	599.710	7.409.940	0,14	0,1	0,03	0,21	1,12	0,23
B04	Sin riego	600.761	7.410.290	0,04	0,02	0,06	0,29	0,35	0,16
B15	Sin riego	601.710	7.410.670	2,29	1,02	2	1,9	6,96	1,03
B21	Sin riego	602.313	7.411.000	0,11	0,3	0,06	0,33	0,19	0,23
C34	Sin riego	598.117	7.409.480	0,07	0,1	0,09	0,91	0,59	0,03
C41	Sin riego	598.133	7.409.490	0,1	0,02	0,1	0,22	1,45	0,14
C45	Sin riego	598.150	7.409.470	0,07	0,04	0,2	0,06	1,8	0,23
C51	Sin riego	598.156	7.409.530	0,06	0,16	0,08	0,11	0,12	0,12
C54	Sin riego	598.131	7.409.520	0,07	0,14	0,14	0,15	1,04	0,01
C58	Sin riego	598.113	7.409.510	0,12	0,11	0,1	0,13	9,17	0,2
C66	Sin riego	598.557	7.409.720	0,05	0,06	0,07	0,14	1,28	0,08
C72	Sin riego	598.575	7.409.720	0,2	0,06	0,02	0,42	0,63	0,18
C77	Sin riego	598.102	7.409.488	0,14	0,13	0,12	0,25	8,48	0,12
D02	Sin riego	599.297	7.409.920	1,07	1,01	0,77	0,79	0,63	0,14
D07	Sin riego	599.227	7.410.000	0,16	0,1	0,11	0,22	0,44	0,17
D10	Sin riego	598.731	7.409.610	0,17	0,15	0,08	0,26	6,42	0,01
D14	Sin riego	598.603	7.409.720	0,05	0,14	0,31	0,17	0,27	0,11

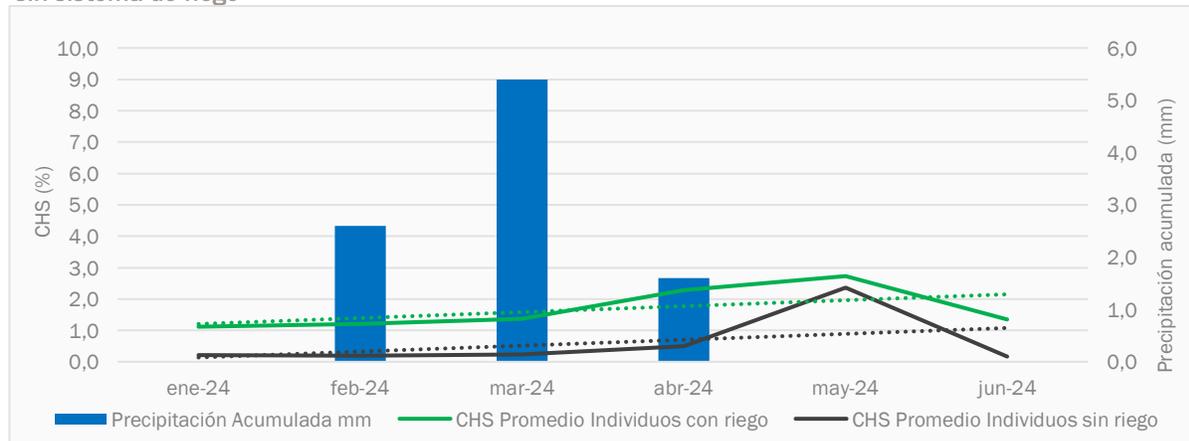
Tabla 5-14. CHS en individuos de *Neltuma alba* con y sin sistema de riego

Individuo	Sistema	Coordenada este	Coordenada norte	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
D20	Sin riego	598.550	7.409.620	0,08	0,11	0,04	0,22	0,05	0,09
D26	Sin riego	598.113	7.409.460	0,06	0,01	0,05	0,16	2,12	0,1
D29	Sin riego	598.107	7.409.900	0,11	0,08	0,09	0,3	0,05	0,15
D43	Sin riego	598.117	7.410.210	0,07	0,13	0,88	0,25	0,27	0,05

Fuente: elaboración propia

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) durante el primer semestre de 2024. El promedio máximo alcanzado en los individuos con riego fue de 2,73% y se reportó en mayo de 2024, mientras que el promedio máximo en los individuos sin riego fue 2,36% y también se reportó en mayo de 2024. Los individuos con riego presentan un CHS creciente conforme avanza el semestre, registrando el valor máximo valor en abril de 2024 (11,97%), y el valor mínimo en junio de 2024 (0,01%). Por su parte, el promedio de los individuos sin sistema de riego reporta valores inferiores respecto al promedio de los individuos con sistema de riego. Sin embargo, en ambos promedios se observa el mismo comportamiento, aumentando en las campañas de abril y mayo, y disminuyendo en junio. El valor máximo se registró en mayo de 2024 (9,17%), mientras que el valor mínimo fue en febrero de 2024 (0,00%).

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

## 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 Tabla 5-15. Al comparar los resultados de abril 2024 con el reporte anterior (enero 2024), se observa una disminución en el CHS en el 52,38% de los puntos (22 estaciones de muestreo). Esto podría estar relacionado con la baja disponibilidad hídrica debido a la estacionalidad. El promedio de contenido de

humedad de suelo en los puntos del borde este del salar pasó de 2,73% (enero de 2024) a 1,87 (abril de 2024), es decir, hubo una disminución de 0,32%. Por otra parte, el promedio de contenido de humedad de suelo en los puntos del cono aluvial pasó de 0,25% (enero de 2024) a 0,32% (abril de 2024), es decir, aumentó en un 0,07%. La disminución en el promedio para el trimestre actual puede estar relacionada con la escasez de precipitaciones desde abril 2023 (donde se registró un promedio de 53,30 mm). A pesar de que en el trimestre de abril 2024 se registraron precipitaciones, éstas fueron leves (9,6 mm) y no se reflejaron en un aumento del CHS con respecto al monitoreo anterior.<sup>25</sup>.

En la Figura 5-31 se presenta el contenido de humedad de suelo (%) promedio por tipo vegetacional. En enero, los mayores valores de CHS se encuentran en el matorral de *Tessaria absinthioides* (3,36% de CHS promedio), en segundo lugar, se encuentra el matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata* (1,84% de CHS promedio), seguido de el matorral de *Aloysia deserticola* – *Ephedra multiflora* (0,83% de CHS promedio), luego las zonas de vegetación escasa (0,73% de CHS promedio), y, por último, el matorral de *Tiquilia atacamensis* (0,13% de CHS promedio). Por otro lado, en abril, los mayores valores se ubicaron en el matorral de *Tessaria absinthioides*, con un promedio de 2,90% de CHS. Los demás tipos vegetacionales no superaron el 1%, siendo el con menor contenido, incluso por debajo de las ZVE, el matorral de *Tiquilia atacamensis*, que registró un promedio de 0,12% de CHS.

**Tabla 5-15. Resultados de contenido de humedad de suelos en los puntos monitoreados de la quebrada de Camar**

Sector	Estación de muestreo (Borde este)	CHS (%) Ene-24	CHS (%) Abr-24
Borde este	CHPCE-04	1,69	0,98
Borde este	CHPCE-06	4,97	0,41
Borde este	CHPCE-11	1,25	1,1
Borde este	CHPCE-05	5,5	3,86
Borde este	CHPCE-09	4,35	2,1
Borde este	CHPCE-10	0,71	0,27
Borde este	CHPCE-12	4,25	3,76
Borde este	CHPCE-18	4,98	1,9
Borde este	CHPCE-02	0,04	0,31
Borde este	TF-4-03	0,94	1,18
Borde este	CHPCE-01	1,62	0,62
Borde este	CHPCE-03	8,24	6,68
Borde este	CHPCE-07	0,2	3,38
Borde este	CHPCE-08	0,45	0,81

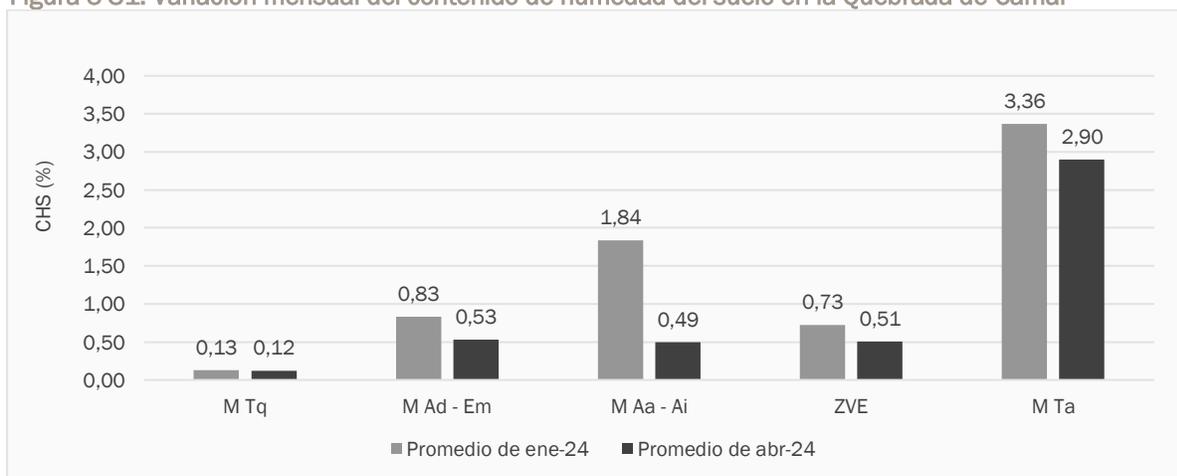
<sup>25</sup> SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. <https://www.agrometeorología.cl>

Tabla 5-15. Resultados de contenido de humedad de suelos en los puntos monitoreados de la quebrada de Camar

Sector	Estación de muestreo (Borde este)	CHS (%) Ene-24	CHS (%) Abr-24
Borde este	TF-3-01	0,82	0,87
Borde este	TF-3-02	1,91	5
Borde este	TF-4-02	0,88	0,21
Borde este	TF-4-04	7,74	1,58
Borde este	TF-4-05	1,34	0,56
Cono aluvial	C-41	0,09	0,26
Cono aluvial	CHPCE-15	0,11	0,05
Cono aluvial	CHPCE-17	0,07	0,16
Cono aluvial	CHPCE-13	0,12	0,02
Cono aluvial	CHPCE-19	0,07	0,19
Cono aluvial	CHPCE-14	0,14	0,08
Cono aluvial	CHPCE-16	0,19	0,07
Cono aluvial	CHPCE-20	0,12	0,02
Cono aluvial	CHPCE-21	0,06	0,03
Cono aluvial	CHPCE-27	0,07	0,2
Cono aluvial	CHPCE-22	0,06	27,5
Cono aluvial	CHPCE-23	0,06	0,01
Cono aluvial	CHPCE-24	0,04	0,06
Cono aluvial	CHPCE-25	0	0,15
Cono aluvial	A-10	0,63	0,94
Cono aluvial	A-27	0,05	0,34
Cono aluvial	B-04	0,06	0,28
Cono aluvial	B-15	3,41	2,76
Cono aluvial	B-21	0,09	0,37
Cono aluvial	CHPCE-26	0,11	0,19
Cono aluvial	CHPCE-28	0,07	0,26
Cono aluvial	D-07	0,08	0,3
Cono aluvial	D-14	0,08	0,29
Cono aluvial	D-43	0,19	0,33

Fuente: Elaboración propia

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



M Ad - Em =Matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora*; M Aa - Ai = Matorral de *Atriplex atacamensis*; - *Atriplex imbricata*; M Tq = Matorral de *Tiquilia atacamensis*; M Ta = Matorral de *Tessaria absinthioides*; ZVE = Zona de vegetación escasa

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.2.2 pH del sustrato

Los resultados del pH del sustrato correspondientes a los trimestres de enero y abril de 2024 para los suelos de la quebrada de Camar se presentan en la Tabla 5-15.

En enero, los valores de pH registraron entre 8,10 (moderadamente alcalino) y 9,70 (muy fuertemente alcalino). La mayoría de los puntos monitoreados se clasificaron como fuertemente alcalinos (67,44%; 29 puntos), mientras que el resto se distribuye entre moderadamente alcalinos (18,61%; 8 puntos) y muy fuertemente alcalinos (13,95%; 6 puntos). En cuanto al pH promedio por tipo vegetacional, el matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* presenta el valor más alto, con 8,87, seguido de las zonas de vegetación escasa (8,77), el matorral de *Tiquilia atacamensis* (8,73), el matorral de *Tessaria absinthioides* (8,58), y el valor más bajo en el matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora*, con 8,56.

En abril, los valores de pH van de 7,80 (ligeramente alcalino) a 9,90 (muy fuertemente alcalino). La mayoría de los puntos se clasificaron como fuertemente alcalinos (53,49%; 23 puntos), seguidos por moderadamente alcalinos (23,26%; 10 puntos), muy fuertemente alcalinos (20,93%; 9 puntos) y ligeramente alcalinos (2,32%; 1 punto). En cuanto al pH promedio por tipo vegetacional, el matorral de *Tiquilia atacamensis* muestra el valor más alto, con 8,93, seguido de las zonas de vegetación escasa (8,86), el matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* (8,73), el matorral de *Tessaria absinthioides* (8,60), y el matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora* con el valor más bajo, con 8,56.

Tabla 5-16. Resultados de pH del suelo

Categorías de pH	pH	enero 2024 (%)	abril 2024 (%)
Extremadamente ácido	3,5 - 4,4	-	-
Muy fuertemente ácido	4,5 - 5,0	-	-
Fuertemente ácido	5,1 - 5,5	-	-

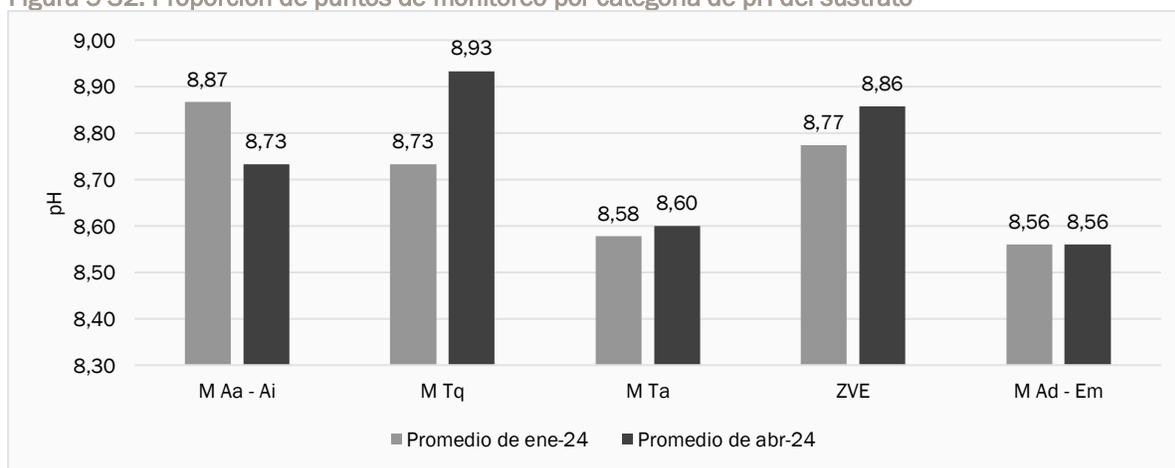
Tabla 5-16. Resultados de pH del suelo

Categorías de pH	pH	enero 2024 (%)	abril 2024 (%)
Moderadamente ácido	5,6 – 6,0	-	-
Ligeramente ácido	6,1 – 6,5	-	-
Neutro	6,6 – 7,3	-	-
Ligeramente alcalino	7,4 – 7,8	-	2,32
Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4	18,61	23,26
Fuertemente alcalino	8,5 – 9,0	67,44	53,49
Muy fuertemente alcalino	> 9,0	13,95	20,93
<b>Total</b>		<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

\* (-) 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



M Ad - Em =Matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora*; M Aa - Ai = Matorral de *Atriplex atacamensis*; - *Atriplex imbricata*; M Tq = Matorral de *Tiquilia atacamensis*; M Ta = Matorral de *Tessaria absinthioides*; ZVE = Zona de vegetación escasa

Fuente: Elaboración propia

### 5.4.2.3 Salinidad del sustrato

Los resultados asociados a la salinidad del suelo, medida como conductividad eléctrica (CE), durante los trimestres de enero y abril de 2024 se muestran en la Tabla 5-17 y La Figura 5-33. En enero, la mayoría de los puntos monitoreados indicaron suelos no salinos (55,81%; 24 puntos), seguidos por suelos fuertemente salinos (37,21%; 16 puntos), ligeramente salinos (4,65%; 2 puntos) y moderadamente salinos (2,33%; 1 punto). La Figura 5-33 muestra que el matorral de *Tessaria absinthioides* presenta la mayor CE promedio, con 15,37 dS/m (fuertemente salino), seguido del matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora* con 8,34 dS/m. El matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* tiene una CE de 3,64 dS/m, mientras que

las zonas de vegetación escasa registran una CE de 0,98 dS/m. El valor más bajo se observó en el matorral de *Tiquilia atacamensis*, con 0,07 dS/m.

En abril, se observa un aumento en los puntos clasificados como no salinos (83,71%; 36 puntos), seguidos de suelos fuertemente salinos (6,98%; 3 puntos), ligeramente salinos (4,65%; 2 puntos), moderadamente salinos (2,33%; 1 punto) y muy ligeramente salinos (2,33%; 1 punto). En cuanto a la salinidad por tipo vegetacional, el matorral de *Tessaria absinthioides* sigue teniendo la mayor CE promedio, aunque disminuyó a 7,00 dS/m. Le sigue el matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* con 0,98 dS/m, el matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora* con 0,54 dS/m, y las zonas de vegetación escasa con 0,43 dS/m. El valor más bajo sigue correspondiendo al matorral de *Tiquilia atacamensis*, con 0,09 dS/m.

Tabla 5-17. Resultados de conductividad eléctrica del suelo

Categorías de salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	% enero 2024	% abril 2024
No salino	0 - 0,98	55,81	83,71
Muy ligeramente salino	0,98 - 1,71	0,00	2,33
Ligeramente salino	1,71 - 3,16	4,65	4,65
Moderadamente salino	3,16 - 6,07	2,33	2,33
Fuertemente salino	> 6,07	37,21	6,98
<b>Total</b>		<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

“-“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



M Ad - Em =Matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora*; M Aa - Ai = Matorral de *Atriplex atacamensis*; - *Atriplex imbricata*; M Tq = Matorral de *Tiquilia atacamensis*; M Ta = Matorral de *Tessaria absinthioides*; ZVE = Zona de vegetación escasa

Fuente: Elaboración propia

Para mayor detalle, en el 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 de 2024, entre todas las series monitoreadas, existe un acumulado de 96 ejemplares desaparecidos o desprendidos. De estos, 12 fueron desprendidos por aluviones en temporadas previas al 2020. A lo anterior, se suman eventos de escorrentías luego de las precipitaciones registradas en los meses de febrero y marzo de 2023<sup>26</sup>. Estos eventos causaron la desaparición de al menos 13 individuos en abril 2023<sup>27</sup>. El resto de los ejemplares se desconoce la causa exacta de su desaparición, aludiendo posiblemente a condiciones climáticas (viento, movimientos de arenas), desprendimientos por acción de animales (ramoneo) y/o antrópicas.

A la fecha (junio de 2024) se han identificado 16 individuos correspondientes a regeneración de *Stromboscarpa 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 457 ejemplares que se encuentran en pie hasta la fecha (junio de 2024).

#### 6.1.1 Vitalidad

Respecto a la variación histórica en la vitalidad de la serie A (ver Figura 6-1), durante el periodo 2022-2024, los individuos mostraron una tendencia positiva en las categorías de mayor vigor, destacando especialmente la categoría de Crecimiento normal, la cual experimentó un aumento sostenido desde finales de 2022 hasta principios de 2024, alcanzando su punto más alto en mayo de 2024 con un 51,67%. Este comportamiento refleja una mejora general en la vitalidad de los árboles, particularmente durante las estaciones más cálidas y húmedas, como primavera y verano, cuando las condiciones son óptimas para su desarrollo. Respecto a los individuos Excepcionalmente vigorosos, esta categoría es minoritaria durante casi todo el periodo, mostrando valores bajos (<2%) en la mayoría de los meses. Se observan también, fluctuaciones en las categorías Muy débil y Débil, las que responden a cambios ambientales mes a mes, sin embargo, su tendencia general

---

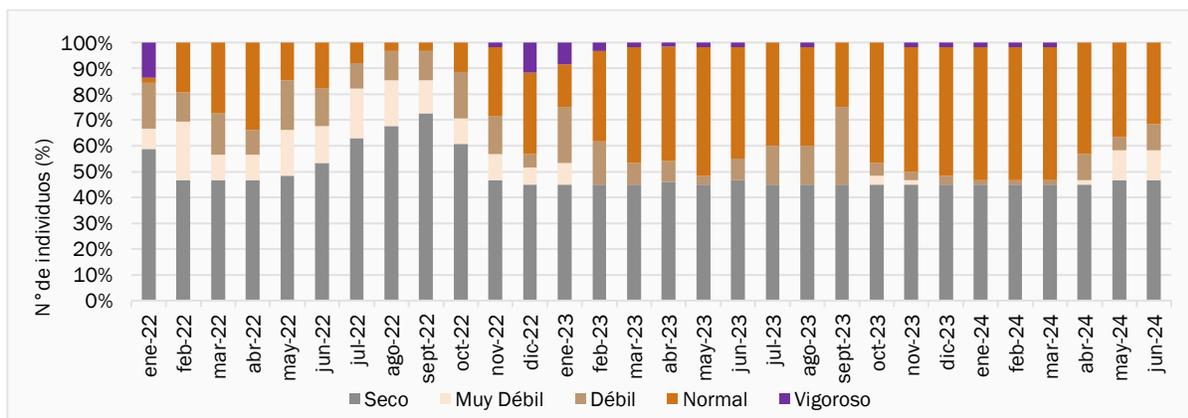
<sup>26</sup> SQM en línea, <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. [www.agrometeorologia.cl](http://www.agrometeorologia.cl)

<sup>27</sup> 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.

es a disminuir en el tiempo. Aunque hay fluctuaciones, un porcentaje importante de los árboles permanece en estado seco (>45%).

Cabe destacar que se acuerdo a las definiciones de las categorías de vigor, los individuos secos se caracterizan por no tener follaje verde ni estructuras reproductivas de ningún tipo, sin embargo, no define al ejemplar como muerto, por lo que pueden estar secos en ciertas épocas del año cuando las condiciones ambientales son menos favorables y brotar cuando las condiciones mejoran. Por otra parte, vale la pena señalar que desde el inicio del monitoreo de la serie A (abril de 2006), 12 ejemplares se agregaron al monitoreo estando ya secos, con la finalidad de evaluar sus posibles rebrotes, situación que no ha ocurrido a la fecha.

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

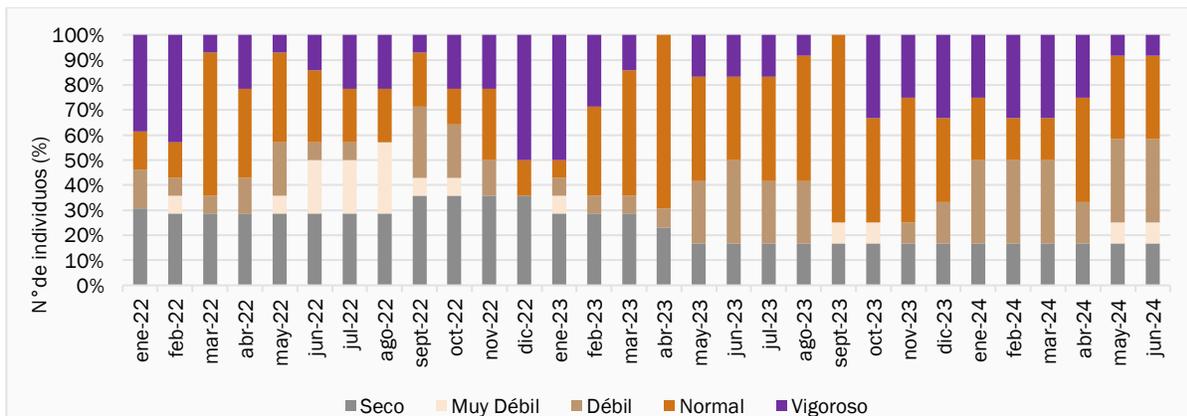


Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la Figura 6-2, durante el periodo 2022-2024, los individuos de la serie B mostraron fluctuaciones en las categorías de mayor vigor. La categoría Excepcionalmente vigoroso destacó a principios de 2022, alcanzando su punto máximo en enero con un 38,46%, seguido de un descenso progresivo. A pesar de esto, mostró cierta estabilidad en 2023, manteniéndose entre el 16,67% y 33,33%, con leves máximos en los meses de febrero y diciembre. La categoría de Crecimiento normal evidenció una tendencia creciente, especialmente en primavera y verano, alcanzando su punto más alto en septiembre de 2023 con un 75%, lo que sugiere una mejora general en la vitalidad durante esos periodos. Estas tendencias reflejan que las condiciones climáticas más favorables, típicas de la primavera y el verano, tienen un impacto positivo en el vigor de los individuos. La categoría Muy Débil tuvo máximos durante el invierno de 2022, alcanzando hasta un 28,57%, desapareciendo casi por completo en años posteriores. En cuanto a la categoría Débil, se registraron aumentos significativos durante el otoño-invierno de 2023, llegando al 33,33% en el monitoreo de junio. En la categoría Seco, se observó una estabilidad inicial cercana al 28,57% durante 2022, con un aumento en invierno (junio-septiembre) y una disminución sostenida hacia 2023-2024, estabilizándose en 16,67%.

Estas tendencias reflejan un efecto estacional, donde las condiciones climáticas de primavera y verano favorecen la vitalidad, mientras que en invierno se observan incrementos en las categorías de menor vigor.

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

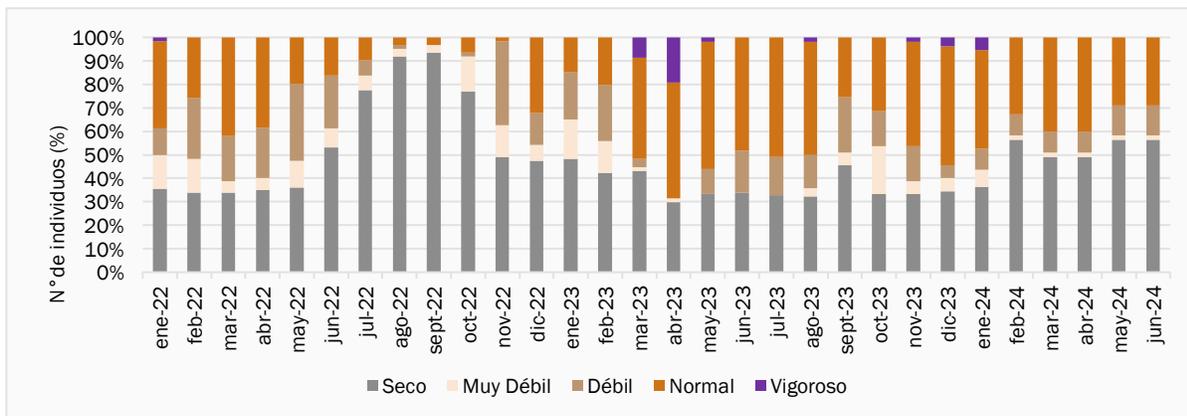


Fuente: Elaboración propia

La serie C (Figura 6-3), presenta una marcada fluctuación en las categorías de vitalidad a lo largo del periodo 2022-2024, con un predominio durante gran parte del 2022 de árboles clasificados como Secos. Posteriormente, la categoría Crecimiento normal se posicionó como la categoría más representativa de la vitalidad de la población, especialmente entre marzo y mayo de 2023, cuando alcanzó su máximo con un 54,39%. Esta categoría mostró un aumento durante los meses más cálidos, indicando una respuesta positiva a las condiciones climáticas más favorables (primavera y verano). Por otro lado, la categoría Excepcionalmente vigoroso se mantuvo con valores cercanos a cero en la mayor parte del periodo, salvo el monitoreo de abril de 2023 donde la categoría registró un 19,30%.

En contraste, las categorías Muy débil y Débil tuvieron menores fluctuaciones. La categoría Débil, registró máximos en mayo de 2022 y junio de 2023 con 32,79% y 17,86% respectivamente; mientras que la categoría Muy débil se mantuvo generalmente por debajo del 20%. Por otra parte, la categoría Seco, aunque disminuyó ligeramente en algunos periodos, sigue siendo una de las más representativas, con valores superiores al 50% en varios meses.

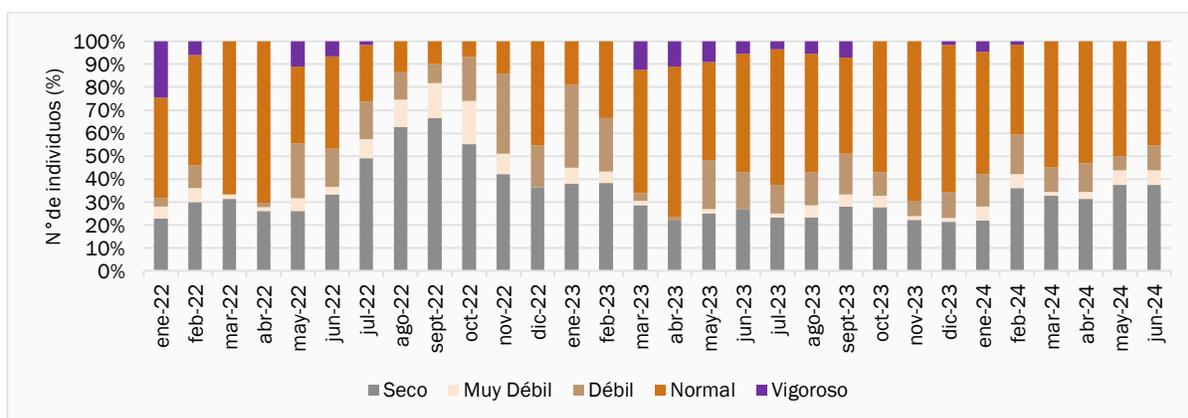
Figura 6-3. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la variación histórica en la vitalidad de la serie D (Figura 6-4), La categoría Crecimiento normal destaca como la más representativa de mejor vitalidad, alcanzando su máximo en marzo de 2022 con un 70,37% y mostrando consistencia al mantenerse en niveles superiores al 50% durante gran parte de 2023 y 2024. Por otro lado, la categoría Excepcionalmente vigoroso mostró valores bajos y dispersos, con algunos máximos, como en mayo de 2023 (8,93%) y abril de 2023 (10,91%), pero en general permaneció por debajo del 12%. En cuanto a las categorías de menor vitalidad (Muy débil y Débil), presentaron grandes variaciones en el periodo estudiado. La categoría Débil mostró un aumento en noviembre de 2022 (35,09%) y tuvo valores elevados en algunos periodos, mientras que la categoría Muy débil se mantuvo generalmente por debajo del 10%, con algunos máximos aislados, como en septiembre de 2022 (15,00%). Por último, la categoría Seco se mantuvo como una de las más representativas, con valores altos en varios meses, particularmente en los meses de invierno, como julio de 2022 (49,18%) y en septiembre de 2022 (66,67%).

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

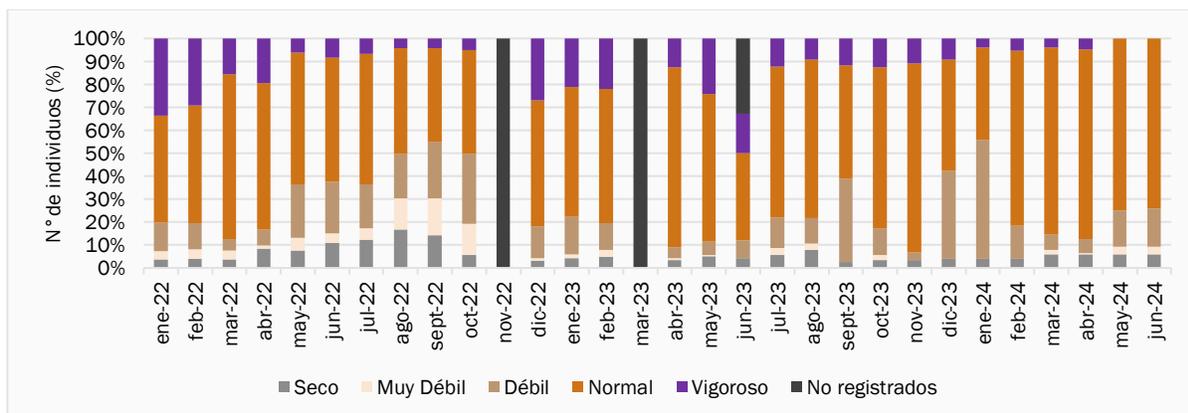


Fuente: Elaboración propia

Respecto a la variación histórica en la vitalidad de la serie E (Figura 6-5), destaca la categoría de Crecimiento normal, la cual domina como el estado de mayor vitalidad en los individuos. Esta categoría alcanzó un máximo importante en marzo de 2022 con un 71,88%, y volvió a repuntar consistentemente en varios momentos del periodo analizado, como por ejemplo en abril de 2023 (78,62%) y marzo de 2024 (81,58%). Este comportamiento sugiere una respuesta de los árboles a condiciones favorables, especialmente en primavera y verano. Por otro lado, la categoría Excepcionalmente vigoroso, presentó variaciones moderadas, con algunos máximos relevantes en meses como diciembre de 2022 (27,04%) y junio de 2023 (25,32%), aunque permaneció generalmente en valores inferiores al 25%.

En cuanto a las categorías de menor vitalidad, la categoría Débil mostró incrementos destacados en ciertos periodos, como noviembre de 2023 (36,36%) y enero de 2024 (51,95%). Por su parte, las categorías Muy débil y Seco se mantuvieron con valores bajos y relativamente estables, con algunos máximos ocasionales.

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



\*Valores no registrados: en noviembre de 2022 se suspendió la campaña por motivos técnicos. En marzo de 2023, se suspendió la campaña debido a eventos de precipitaciones. En junio de 2023, se suspendió la campaña por motivos de seguridad.

Fuente: Elaboración propia

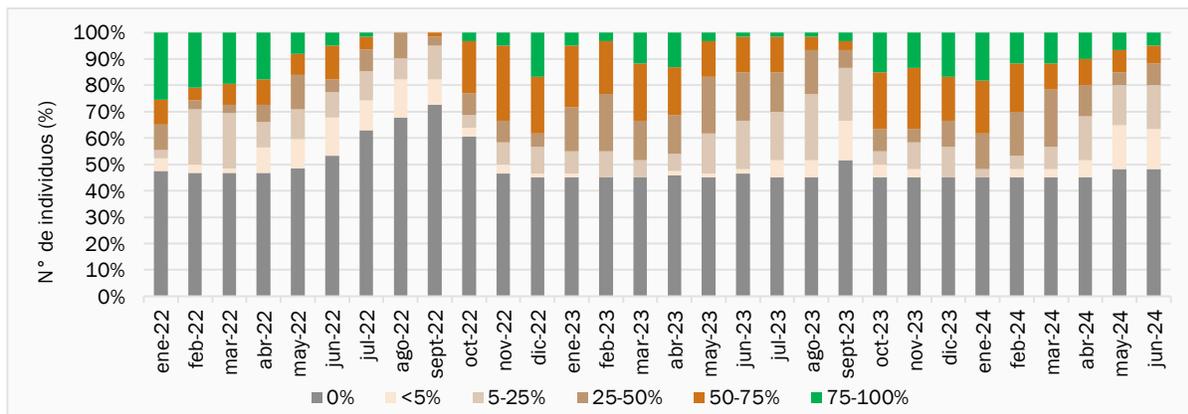
### 6.1.2 Copa viva

En la serie A, el porcentaje de copa viva evidencia una distribución dominada por la categoría 0%, la cual representa una proporción elevada y relativamente estable a lo largo del periodo analizado. Este estado alcanzó máximos importantes, como en septiembre de 2022 (72,58%) y julio de 2022 (62,90%), mostrando una tendencia a disminuir ligeramente después de ese año, pero manteniéndose en valores cercanos al 45% en la mayoría de los meses analizados en 2023 y 2024.

Por otro lado, las categorías con mayor porcentaje de copa viva, como 50-75% y 75-100%, reflejan variaciones estacionales marcadas a partir del monitoreo de octubre de 2022. La categoría 50-75% alcanzó valores destacados en noviembre de 2022 (28,33%) y marzo de 2023 (23,33%), mientras que la categoría 75-100% mostró un máximo en abril de 2023 (13,11%) y enero de 2024 (18,33%), aunque con una clara disminución hacia los meses posteriores. Estas observaciones podrían indicar que las condiciones favorables para un mayor porcentaje de copa viva se dan entre finales de primavera y comienzo del otoño.

Las categorías intermedias, como 5-25% y 25-50%, experimentaron incrementos en algunos momentos del periodo analizado, destacando en febrero de 2023 y marzo de 2024, con valores que oscilaron entre el 15% y el 21,67%. Por último, las categorías <5% y 25-50% muestran incrementos puntuales.

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



Fuente: Elaboración propia

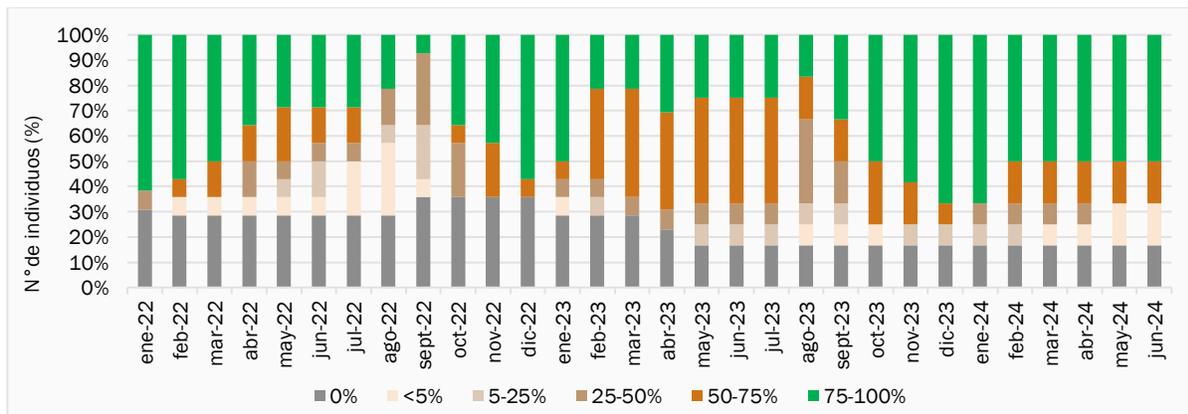
La variación histórica del porcentaje de copa viva de la serie B (Figura 6-7), muestra un comportamiento donde la categoría 75-100% predomina durante gran parte del periodo, aunque con variaciones. En enero de 2022, alcanza el 61,54%, pero decrece de manera notable hasta llegar a valores mínimos en septiembre de 2022 (7,14%). Posteriormente, muestra una recuperación hacia finales de 2023 y 2024, estabilizándose en niveles del 50%.

La categoría 50-75% experimenta un comportamiento oscilante. Inicia en niveles bajos (0% en enero de 2022), pero presenta incrementos sostenidos a partir de marzo de 2023, con valores máximos alcanzados en abril de 2023 (42,86%). Posteriormente, se estabiliza alrededor del 16,67% durante la primera mitad de 2024.

La categoría 25-50% mantiene una participación moderada, alcanzando un máximo del 33,33% en agosto de 2023, aunque su comportamiento general es bastante irregular. Por otro lado, las categorías <5% y 5-25% presentan valores bajos y esporádicos a lo largo del periodo, con aumentos puntuales en ciertos meses (como marzo de 2024 para <5%, con 16,67%).

La categoría 0% muestra una tendencia a disminuir con el tiempo. Aunque comienza con valores relativamente altos en enero de 2022 (30,77%), desciende de manera consistente hasta estabilizarse en el 16,67% a partir de mayo de 2023, reflejando una mejora en el porcentaje de copa viva en esta serie.

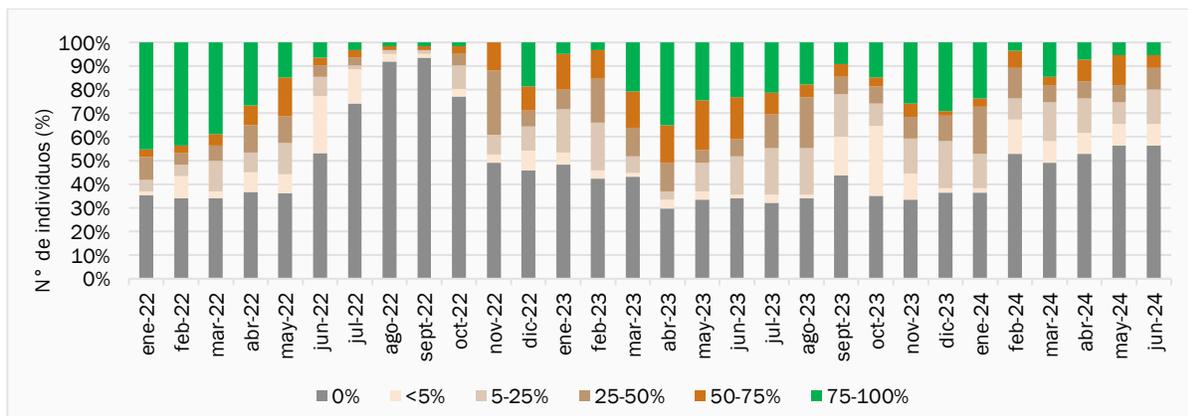
Figura 6-7. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-8 muestra la variación histórica en la copa viva de la serie C. se observa que la categoría 0% aumenta desde mayo a septiembre de 2022, donde alcanza un máximo de 93,55%, para luego decrecer en los meses posteriores, manteniéndose en valores cercanos al 50% a partir de noviembre de 2023. Las categorías de mayor copa viva 50-75% y 75-100% tienen una participación constante en el periodo analizado, con aumentos en los meses de primera y verano. Así mismo, las categorías intermedias (<5%, 5-25% y 25-50%) presentan fluctuaciones estacionales, destacándose incrementos puntuales en primavera y otoño, posiblemente debido a lo favorables de estas épocas para el crecimiento vegetal, como lo es la finalización de la época invernal (primavera) y el periodo posterior a lluvias estivales (otoño).

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

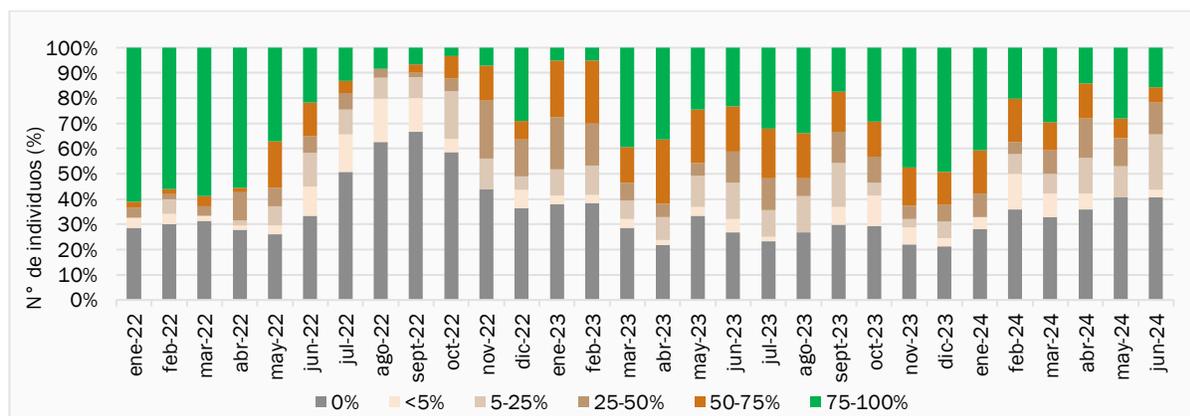


Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-9 muestra la variación histórica del porcentaje de copa viva de los individuos pertenecientes a la serie D. se observa que el follaje vivo en la categoría de mayor vitalidad (75-100%) comenzó en 2022 con un 61,22% en verano (enero de 2022), para luego disminuir drásticamente a un 15,63% en invierno (junio de 2024), evidenciando una marcada influencia estacional, con valores más bajos durante el invierno y otoño, y ligeros incrementos en primavera y verano, como el 47,46% en diciembre de 2023. La categoría 50-75% mantiene un comportamiento variable con máximos moderados en primavera y verano, alcanzando un 25%

en febrero de 2023, y reducciones en invierno. Las categorías intermedias (25-50% y 5-25%) experimentan fluctuaciones, con valores más altos en otoño y primavera, mientras que la categoría <5% oscila entre 0% y 16,95%, con máximos en invierno y primavera. Finalmente, la categoría 0% presenta un incremento continuo desde un 28,57% en enero de 2022 hasta valores superiores al 40% en invierno de 2024.

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



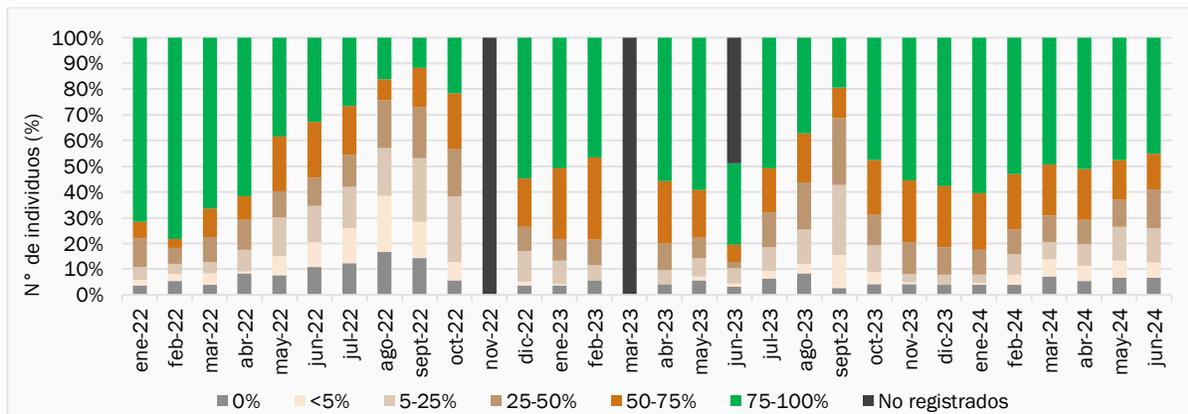
Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-10 muestra la variación histórica del porcentaje de copa viva de la serie E. se observa que la categoría con mayor copa viva (75-100%) refleja valores altos a partir de enero de 2022, los que descienden hacia el invierno y primavera del mismo año, para luego aumenta en las épocas más favorables de los años siguientes. Este comportamiento muestra una marcada estacionalidad, con valores más altos en verano y primavera, como el 60,39% en enero de 2024, y disminuciones en otoño e invierno, alcanzando mínimos durante agosto y septiembre de 2022 (16,15% y 11,73%, respectivamente).

La categoría 50-75% también muestra altas variaciones atribuibles a la estacionalidad, con máximos en los meses cálidos, como el 31,90% en febrero de 2023 (verano), y valores más bajos en otoño e invierno. Las categorías intermedias (25-50% y 5-25%) muestran incrementos progresivos, especialmente en otoño e invierno, con máximos como el 27,27% en septiembre de 2023 para 5-25% y el 25,97% en la misma fecha para 25-50%. Estas categorías reflejan un incremento relativo cuando las categorías superiores disminuyen, indicando una redistribución del follaje.

Por otro lado, las categorías <5% y 0% mantienen valores bajos, aunque presentan ligeros aumentos en invierno, como el 21,74% para <5% en agosto de 2022 y el 12,35% para 0% en julio del mismo año, lo que podría estar relacionado a condiciones ambientales particulares de cada año (como un verano más o menos lluvioso o años con temperaturas más cálidas que de costumbre).

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



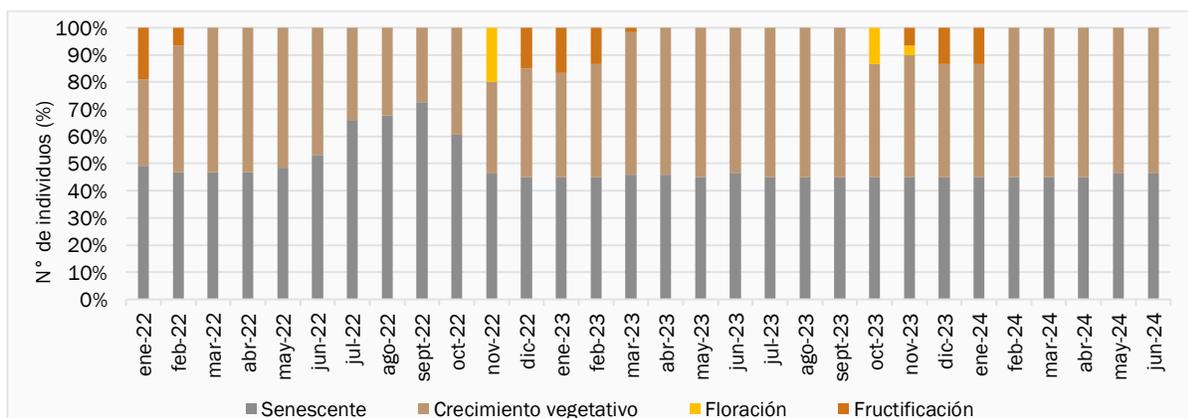
\*Valores no registrados: en noviembre de 2022 se suspendió la campaña por motivos técnicos. En marzo de 2023, se suspendió la campaña debido a eventos de precipitaciones. En junio de 2023, se suspendió la campaña por motivos de seguridad.

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.3 Fenología

La variación histórica del estado fenológico de la serie A se muestran en la Figura 6-11. donde se aprecia la marcada influencia de la estacionalidad, con predominio de senescencia en invierno (por ejemplo, 72,58% en septiembre de 2022) y crecimiento vegetativo en primavera y verano, alcanzando valores máximos del 55% en junio de 2023 y marzo de 2024, indicando un periodo de mayor actividad y desarrollo de los árboles. Por otra parte, aunque las fases reproductivas (floración y fructificación) son escasas, se concentran en la primavera y principios de verano (observándose durante todo el monitoreo en los primeros semestres del año), ya que corresponden a periodos del año donde las condiciones climáticas son más favorables para la producción de flores y la maduración de frutos.

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



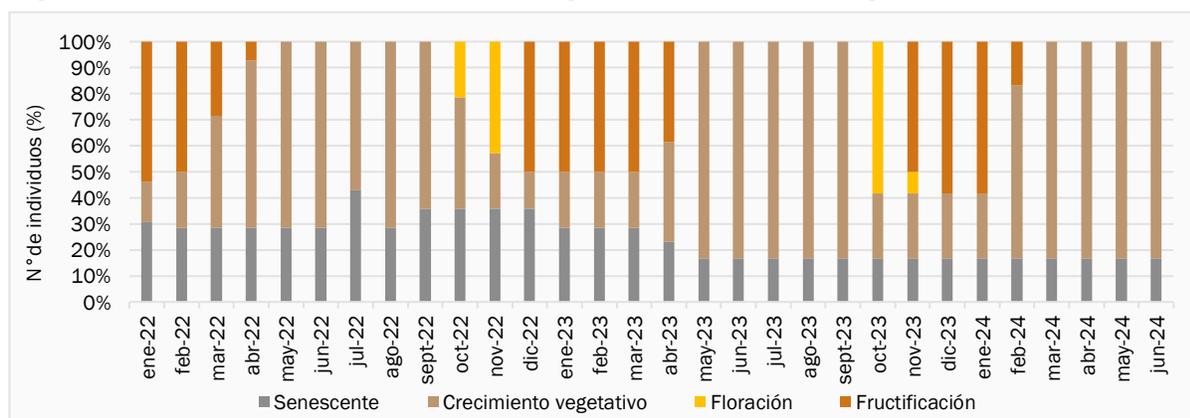
Fuente: Elaboración propia

La variación histórica en el estado fenológico, en el caso de la serie B se muestran en la Figura 6-12, donde se aprecia claramente que el crecimiento vegetativo es dominante en el ciclo fenológico, especialmente en

primavera y verano. Presenta un incremento constante desde el otoño de 2022, alcanzando su máximo en el periodo de mayo a junio de 2023 y 2024 (83,33%), reflejando una intensa actividad de brote y desarrollo durante las estaciones cálidas, mientras disminuye en los meses invernales. Por otra parte, la floración, es poco frecuente y se concentra principalmente en la primavera, con un máximo destacado en octubre y noviembre de 2022 (21,43% y 42,86%, respectivamente) y otro en octubre de 2023 (58,33%), lo que es consistente con las condiciones favorables de la primavera. En contraste, la fructificación está más presente en verano, como se observa en enero y febrero de 2022 (53,85% y 50,00%) y en diciembre de 2023 (50,00%). Sin embargo, desaparece casi por completo en otoño e invierno, reflejando un patrón reproductivo estacional similar a lo observado para la serie A.

La fase senescente tiene una baja representación en el periodo de estudio, aunque con un comportamiento estable en la mayor parte del periodo, alcanzando máximos en el invierno de 2022 (42,86% en julio) y disminuyendo significativamente en los meses de primavera y verano.

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



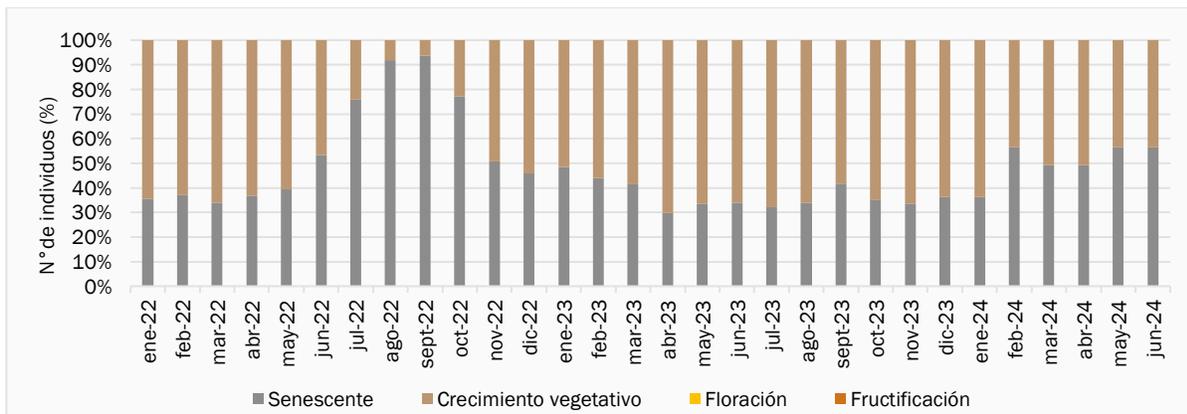
Fuente: Elaboración propia

La variación histórica en el estado fenológico de la serie C se muestran en la Figura 6-13 a continuación. Donde se observa que la fase de Crecimiento vegetativo predomina en primavera y verano, reflejando la intensa actividad de desarrollo durante las estaciones cálidas. En agosto y septiembre de 2022, los valores son mínimos (8,06% y 6,45%), pero aumentan considerablemente a partir de la primavera, alcanzando su punto máximo en abril de 2023 (70,18%) y manteniendo valores elevados durante este periodo.

Por su parte, la fase senescente domina en los meses más fríos, alcanzando sus máximos en invierno, como en julio y agosto de 2022 (75,81% y 91,94%, respectivamente) y manteniendo valores elevados hasta septiembre. Posteriormente, disminuye en primavera y verano, con los valores más bajos observados en los meses cálidos, como abril de 2023 (29,82%).

Por otro lado, las fases de floración y fructificación están ausentes en la serie C durante todo el periodo analizado, lo que podría estar relacionado con la baja altura de los ejemplares de esta serie, los que en su mayoría oscilan entre los 25 y 50 cm, haciéndolos susceptibles a ramoneo por parte de burros silvestres, lo que impide el desarrollo óptimo de la copa y por consiguiente a la producción de estructuras reproductivas.

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

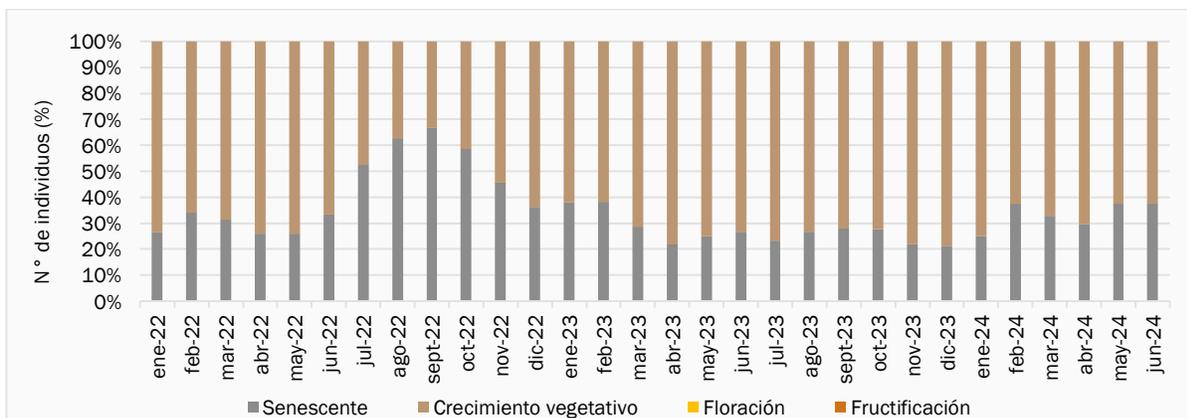


Fuente: Elaboración propia

La variación histórica en el estado fenológico, en el caso de la serie D se muestran en la Figura 6-14. La fase de crecimiento vegetativo domina en primavera y verano, con máximos destacados en abril de 2023 (78,18%) y marzo de 2024 (67,19%), reflejando la respuesta de los árboles a las condiciones climáticas favorables para el desarrollo y actividad vegetativa. Así mismo, La fase senescente es más predominante durante los meses fríos, particularmente en invierno. Por ejemplo, en julio de 2022, se alcanza un valor elevado del 52,46%, incrementándose hasta 62,71% en agosto de 2022 y manteniéndose alta en septiembre (66,67%). Esto coincide con el periodo de menor actividad de crecimiento en los árboles.

Al igual que la serie C, los individuos de la serie D no han alcanzado la madurez reproductiva, dado que durante todo el periodo estudiado las fases de floración y fructificación no se han observado, por lo tanto corresponden en su totalidad a ejemplares juveniles.

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

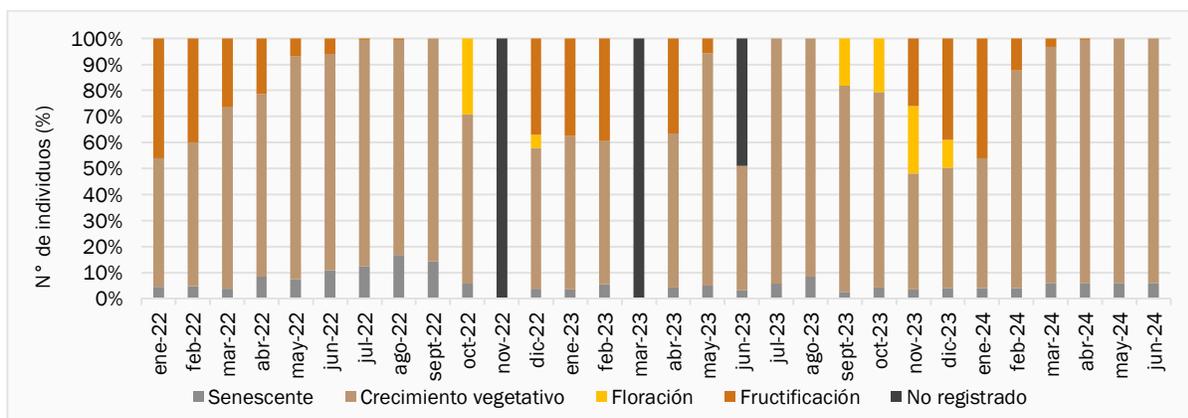


Fuente: Elaboración propia

En la serie E, el crecimiento vegetativo es predominante (Figura 6-15), con máximos durante el verano (enero de 2023 con 58,79% y febrero de 2024 con 83,66%) y también en otoño (abril-mayo de 2023 con 89,29%). Sin embargo, mantiene altos valores durante todo el año, especialmente en invierno, con un máximo en julio

de 2023 (94,29%). La senescencia es más marcada en el invierno (julio-agosto de 2022 con 12,35%-16,77%) y disminuye durante las estaciones más cálidas. La floración aparece de forma puntual, destacando un aumento en octubre de 2022 (29,30%) (primavera) y en octubre-noviembre de 2023 (20,69%-26,03%), coincidiendo con la misma estación. Por último, la fructificación es más relevante en verano, con un máximo en enero de 2024 (46,10%), pero decae rápidamente en otoño e invierno.

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



\*Valores no registrados: en noviembre de 2022 se suspendió la campaña por motivos técnicos. En marzo de 2023, se suspendió la campaña debido a eventos de precipitaciones. En junio de 2023, se suspendió la campaña por motivos de seguridad.

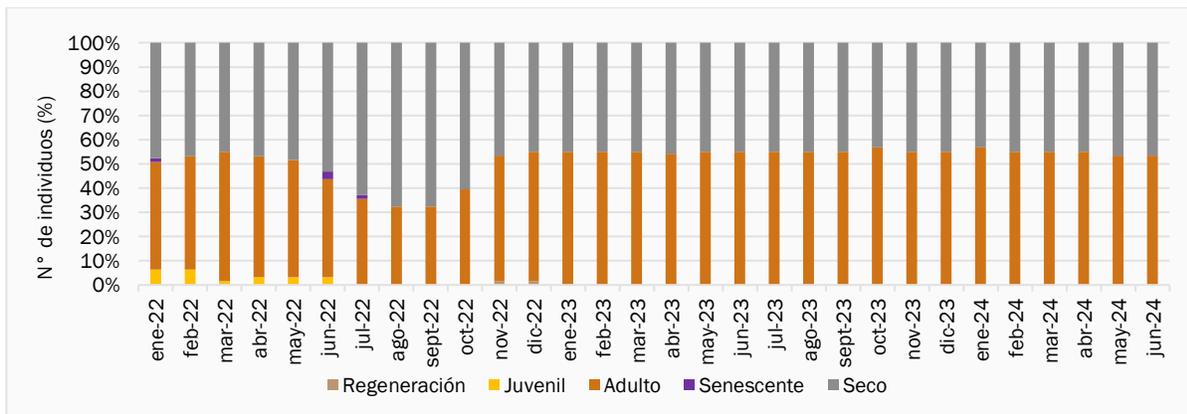
Fuente: Elaboración propia

### 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, de la metodología, los cuales se establecieron considerando las particularidades morfológicas y fenológicas de los individuos prospectados. Su implementación, implicó un cambio en la categorización de algunos individuos durante el primer semestre de 2023, pertenecientes a la serie C, D y E, dado que se encontraba en categoría Regeneración desde el inicio de los reportes. Estos cambios se abordan en los párrafos y figuras siguientes, para cada una de las series evaluadas.

En particular, la serie A se compone principalmente de individuos adultos; teniendo a la fecha un promedio del 50,55% (equivalente a 30 individuos), y una variación del 7,33%. No se observan ejemplares de regeneración en esta serie. Además, un porcentaje importante de individuos se catalogan como secos (promedio 48,32%).

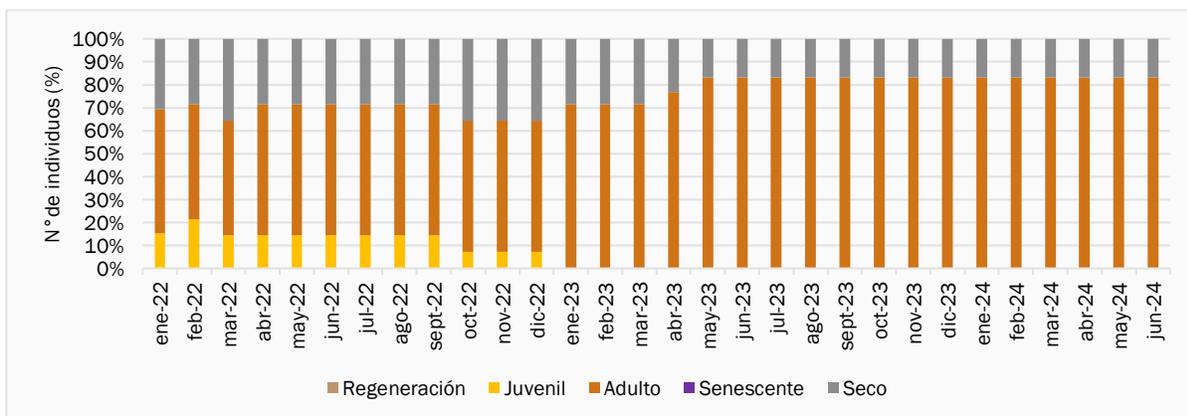
Figura 6-16. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia

Al igual que la serie A, la serie B se compone principalmente de individuos adultos, donde el 70,87% presentan esta etapa de crecimiento. La segunda mayor proporción corresponde a ejemplares secos, los que, en promedio, ocupan el 23,86% de los individuos de la serie. Durante todo el 2022, se constató la presencia de algunos ejemplares juveniles, los que a partir del 2023 se comenzaron a catalogar como adultos.

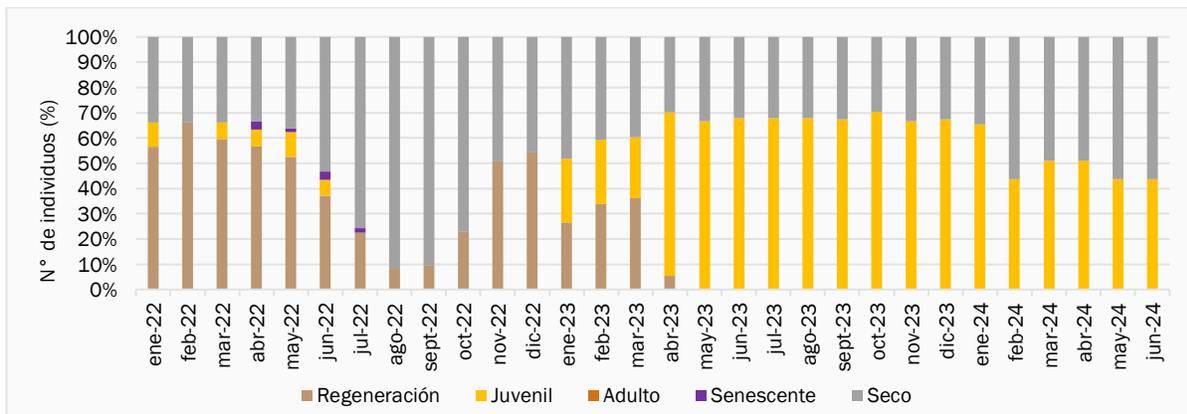
Figura 6-17. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: Elaboración propia

La serie C se caracteriza por ser una población de individuos juveniles, los que predominan a partir de abril de 2023 y llegan a ser cerca del 50% a la fecha.

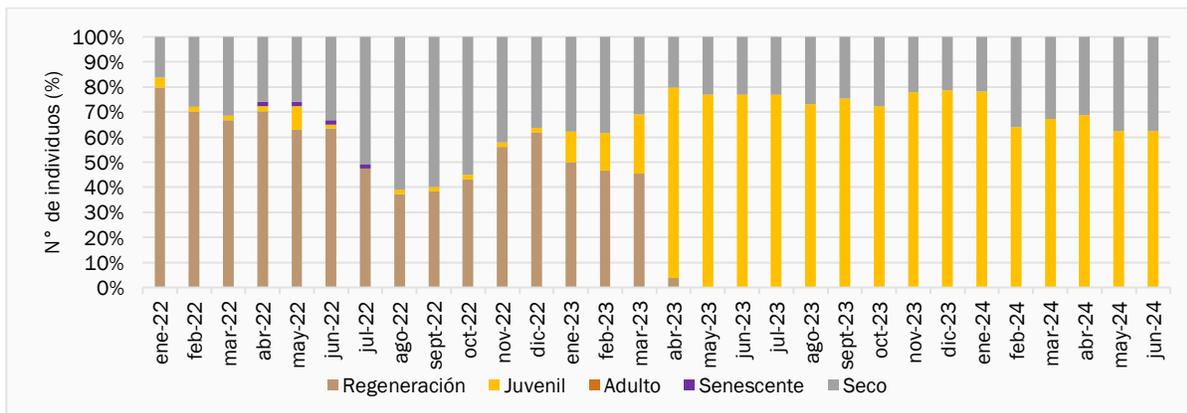
Figura 6-18. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia

Al igual que la serie C, la serie D se caracteriza por ser una población de individuos juveniles, los que predominan a partir de abril de 2023 y llegan a ser cerca del 70% a la fecha. Esto se explica por la recategorización de individuos en etapa de Regeneración a etapa Juvenil que se realizó durante el primer semestre de 2023.

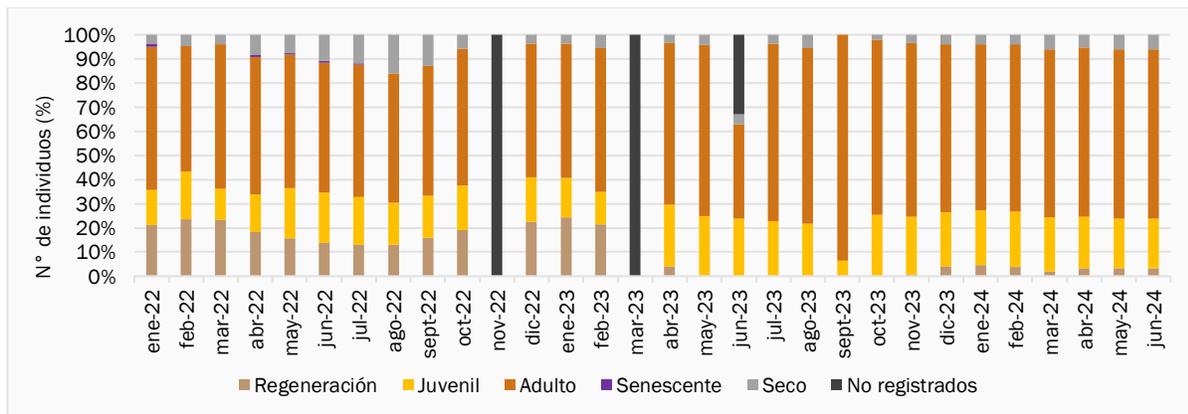
Figura 6-19. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia

La serie E, corresponde a una población variada en términos etarios, donde existen individuos en todas las categorías de etapa de crecimiento. Predominan los ejemplares Adultos, donde en promedio se ubica el 59,78% de los ejemplares. Le sigue la categoría Juvenil con un promedio del 18,80%. En menor medida, hay ejemplares de Regeneración y Secos los que llegan al 9,15% y 5,41% respectivamente. Los individuos senescentes registran un pequeño porcentaje de árboles, llegando a un promedio de 0,13%.

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



\*Valores no registrados: en noviembre de 2022 se suspendió la campaña por motivos técnicos. En marzo de 2023, se suspendió la campaña debido a eventos de precipitaciones. En junio de 2023, se suspendió la campaña por motivos de seguridad.

Fuente: Elaboración propia

### 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 desgarrado de ramas. Esta última se define como ramoneo y es la principal evidencia de la presencia de burros silvestres 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 a junio de 2024, en la serie A se observa que el promedio histórico de afectación animal alcanza un valor de  $41,48\% \pm 10,17\%$ , mientras que el valor máximo de afectación fue reportado en el mes de abril de 2023 con un  $54,10\%$  (33 individuos). Respecto a la serie B, el promedio de afectación fue de  $70,69\% \pm 10,42\%$ , mientras que el valor máximo registrado es de  $83,33\%$  (10 individuos), valor que se repite en varios monitoreos durante 2023 y 2024. Respecto a la serie C, el promedio de afectación alcanzó un valor de  $22,86\% \pm 20,14\%$  con un valor máximo alcanzado de  $73,02\%$  (46 individuos) en abril de 2023. Respecto a la serie D, se reporta un promedio de afectación de  $25,18\% \pm 19,32\%$ , mientras que, el valor máximo reportado fue de  $78,57\%$  (44 individuos) en abril de 2023. Finalmente, en la serie E, el promedio anual registrado alcanza un valor de  $37,75\% \pm 17,96\%$ , con un valor máximo de afectación de  $61,74\%$  (92 individuos) y también se reportó en abril de 2023.

En la Fotografía 6-1 se observan individuos pertenecientes a la serie A y D con afectación natural por causa animal.

Fotografía 6-1. Afectación animal – Primer semestre 2024



A-07 (Coordenadas UTM 597.031 E - 7.409.692 N)

Abril, 2024



D-13 (Coordenadas UTM 598.570 E - 7.409.716 N)

Junio, 2024

Fuente: Registro fotográfico terreno, 2024

Respecto a la afectación antrópica, en general, se reportan pocos casos de afectación, los cuales se concentran principalmente en la serie E. Respecto a la serie A, se registra un promedio anual de  $1,57\% \pm 2,52\%$ , registrándose un valor máximo de afectación de 6,67% (4 individuos) en enero, octubre y noviembre de 2023. La serie B registra un promedio acumulado de  $3,79\% \pm 10,14\%$  con un valor máximo de 38,46% (5 individuos) en mayo de 2023. La serie C registra un promedio de 0,21% y el valor máximo se registró en noviembre de 2023 con un 1,92% (1 individuo). La serie D registra un promedio acumulado de  $0,34\% \pm 1,10\%$ , con un valor máximo de 4,48% (3 individuos) registrado en abril de 2023. Por último, la serie E es la que registra el mayor valor promedio con un valor de  $16,27\% \pm 13,29\%$ , con un valor máximo de 62,75% (96 individuos) registrado en abril de 2023. 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 son susceptibles a sufrir intervenciones no programadas, lo cual es llevado a cabo por los propios habitantes del lugar (ver Fotografía 6-2).

Fotografía 6-2. Afectación antrópica – Primer semestre 2024



E-043 (Coordenadas UTM 605.977 E - 7.411.099 N)

Abril, 2024



E-030 (Coordenadas UTM 605.885 E - 7.411.098 N)

Junio, 2024

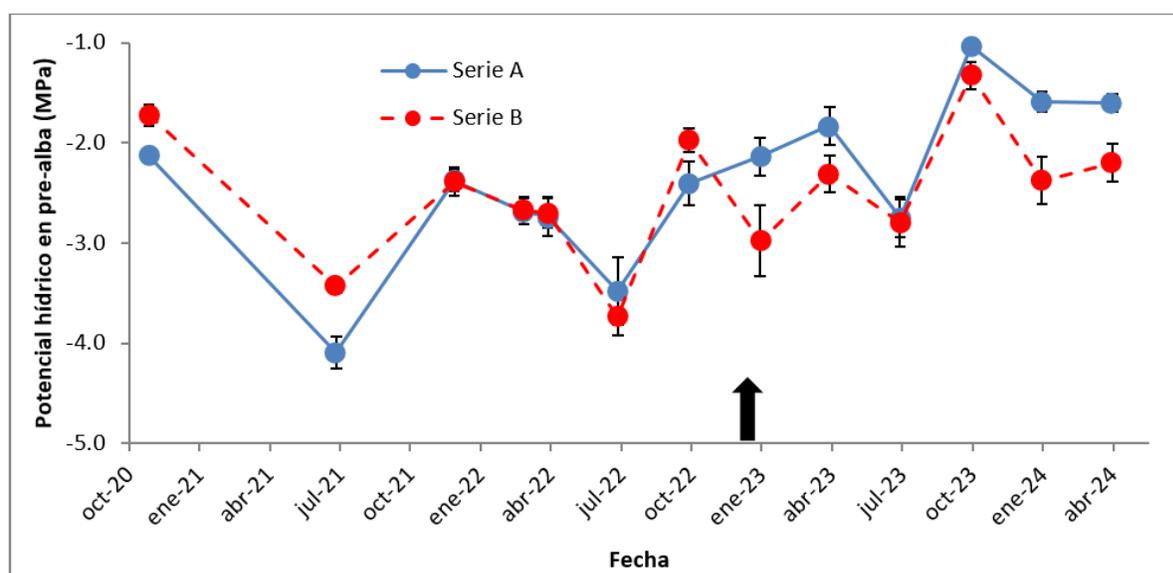
Fuente: Registro fotográfico terreno, 2024. Elaboración propia

### 6.1.6 Fisiología de algarrobos

En la Figura 6-21 se observa la evolución en el tiempo (desde octubre de 2020 a abril de 2024) del potencial hídrico en pre-alba en los árboles de la serie A y B. En los meses de julio (2021 y 2022) se observan los valores más bajos de potencial (inferiores a -3,0 MPa), tanto en la serie A como en la serie B. Por otro lado, antes de la aplicación de riego (diciembre 2022) la serie B tuvo valores superiores o similares a los de la serie A, lo que se da por el mejor estado hídrico de los árboles B-11, B-17, B-20 y B-21. Estos árboles se encuentran distribuidos cercanos a la ruta CH-23, donde los árboles B-20 y B-21 reciben diariamente agua liberada desde el poblado de Camar, lo que ha sido observado desde el inicio de las mediciones en 2020. Pese a ello, al iniciar el riego, la serie A alcanza valores superiores a los de la serie B en enero, abril y octubre de 2023. En la campaña de octubre 2023, se alcanzaron los valores más altos de todo el seguimiento, tanto en la serie A como en la serie B.

En enero de 2024, se observaron diferencias estadísticamente significativas en el potencial hídrico en pre-alba entre las series A y B-C, observándose en la serie B-C los valores más bajos (-2,38 y -2,96 MPa, respectivamente). En abril de 2024, se observaron diferencias estadísticamente significativas solo en el potencial hídrico en pre-alba, entre las series A y B-C, observándose en la serie B-C los valores más bajos (-2,2 MPa).

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



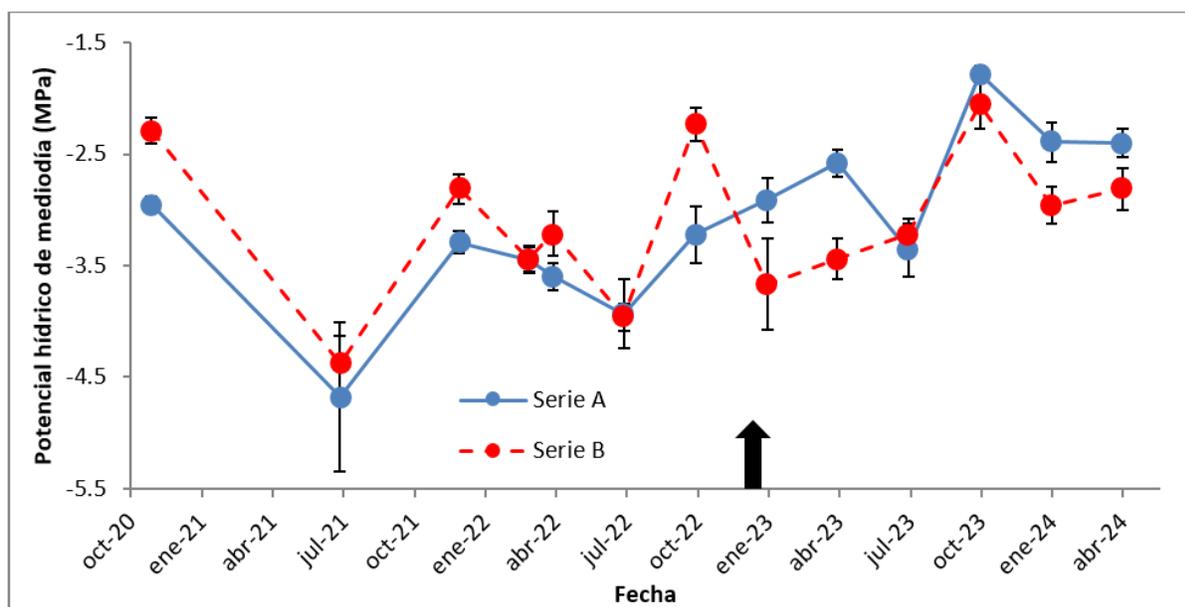
\*Las barras verticales representan el error estándar de la media. La flecha representa el inicio de la aplicación de riego en los árboles de la serie A.

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

La Figura 6-22 se observa la evolución en el tiempo del potencial hídrico de mediodía en los árboles de la serie A y B. Al igual que en el potencial hídrico en pre-alba, se aprecia que en los meses de julio (2021 y 2022) se presentaron valores más bajos de potencial de cada año (en 2021 alcanzan valores inferiores a los -4,0 MPa), tanto para la serie A como para la serie B. Lo anterior es esperable debido a que en el mes de julio el potencial tiende a ser el más negativo de cada año (Informe de Estado hídrico en Algarrobo de la

Quebrada de Camar, 2024)<sup>28</sup>. Por otro lado, antes de la aplicación de riego, la serie B alcanzó una media superior a la de la serie A, mientras que, en las campañas de enero y abril de 2023, con la aplicación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores a los de la serie B. En la campaña de octubre de 2023, la serie A alcanza el valor de potencial hídrico de mediodía más alto de todo el seguimiento (-1,78 MPa). En la campaña de enero de 2024, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre series, a diferencia de la campaña de abril de 2024, donde el potencial hídrico de mediodía no registró diferencias estadísticamente significativas.

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

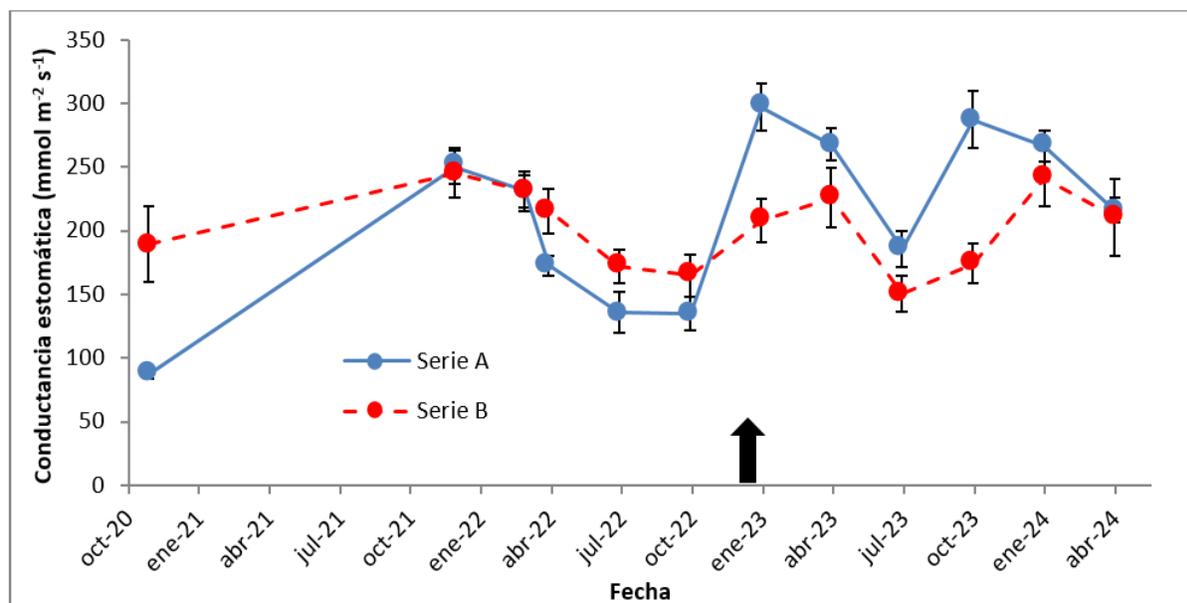


Fuente: Informe de estado hídrico en algarrobo de la Quebrada de Camar, Anexo 11

Al analizar la variación histórica en la conductancia estomática en los árboles de la serie A y B (Figura 6-23), se aprecia que antes de la aplicación de riego, la serie B alcanzó valores superiores o similares a los de la serie A (hasta 2022), mientras que, en las campañas posteriores a la implementación del riego en la serie A, esta alcanza valores superiores a los de la serie B. En la campaña de octubre de 2023 se observaron valores más altos de conductancia estomática respecto de la campaña realizada en julio de 2023. En enero de 2024, la conductancia estomática no se diferenció significativamente entre series, situación que se repite en la campaña de abril de 2024.

<sup>28</sup> Para más información, consultar en Informe Estado de Hídrico en Algarrobo en la Quebrada de Camar, Fundación Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Abril de 2024.

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 1.1

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, exceptuando el mes de julio 2023, donde el valor de la serie B fue levemente más bajo en enero que en julio. Este cambio temporal de potenciales coincide con lo evaluado en *Strombocarpa tamarugo*, donde se observa un patrón de menor potencial hídrico de pre-alba en la época de invierno, y un mayor valor en la época estival (SAP, 2021). Por otro lado, se observa un efecto de la aplicación del riego, ya que previo a esta aplicación, los valores de potencial hídrico y conductancia estomática de la serie B eran superiores o similares a los de la serie A. Posteriormente, iniciado el riego en los árboles de la serie A, estos alcanzaron valores superiores a la serie B en las tres variables medidas.

Con respecto a los algarrobos ubicados aguas arriba y aguas debajo de la tubería que atraviesa la quebrada, tampoco se observó diferencias entre estos grupos en la campaña de Julio de 2023, encontrando una media de  $\Psi_{pa}$ ,  $\Psi_{md}$  y  $g_s$  de: -2,75 MPa, -3,34 MPa y 178,67 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, respectivamente. Esto, posiblemente debido al receso invernal de estos árboles (MMA, 2012a; MMA, 2012b), los cuales en esa época del año presentan una disminución de la copa viva, mayor senescencia de hojas y disminución de la producción de ramillas nuevas. Por otra parte, en octubre 2023, sí se observaron diferencias, con los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba (-1,2 MPa y 209,89 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), lo que se podría explicar debido a la cantidad de árboles sin riego que hay aguas arriba de la tubería (48%), mientras que aguas abajo solo dos árboles no tienen sistema de riego (18%).

Por otra parte, desde que comenzó el riego de los algarrobos, diciembre 2022, las diferencias entre las series A y B-C como en la serie regada y no regada se han observado principalmente en los meses en que es mayor tanto la demanda atmosférica como el área foliar de los algarrobos (enero, abril y octubre). Así mismo, al analizar la dinámica temporal de las variables medidas, se observó un patrón similar en el potencial hídrico

en pre-alba y mediodía, donde los valores de potencial presentan cambios estacionales. En los meses de julio el potencial tiende a ser el más negativo de cada año. Este cambio temporal de potenciales coincide con lo evaluado en otras especies freatófitas del Desierto de Atacama *Strombocarpa tamarugo* (SAP, 2021) y *Strombocarpa burkartii* (Carevic et al., 2017). El menor potencial hídrico observado en julio podría ser efecto de las bajas temperaturas (Allen y Ort, 2001) que pueden provocar cavitación del xilema (Hacke y Sauter, 1996), cambios en la fluidez y permeabilidad de las membranas (Sellin y Kupper, 2007) y/o cambios en la viscosidad del agua (López y Nobel, 1990).

### 6.1.7 Biomasa de algarrobos

Respecto a la biomasa aérea, las mediciones dan cuenta que una gran proporción de los individuos censados (70,2%, 134 árboles) presenta algún nivel de vitalidad en sus fustes y sólo un 29,8% de estos (57 árboles) están secos. La población está compuesta en su mayoría de árboles de hábito arbóreo-arbustivo, con más de un vástago o fuste (plurifustales) y varias ramas principales. Esto refleja la capacidad de los individuos del género *Neltuma* (ex *Prosopis*) de retoñar vigorosamente después que el fuste y ramas principales son destruidas por fenómenos ambientales y/o antrópicos (Fisher, 1977). Al respecto, Caron y Ortin (2010) evaluaron la respuesta de la recuperación por rebrote en 3 especies de *Prosopis* (*P. alba*, *P. nigra* y *P. flexuosa*) posterior a un incendio en Salta, Argentina, concluyendo que predomina la capacidad de los algarrobos para rebrotar de yemas basales con un promedio de 6 rebrotes por ejemplar. Por otro lado, Meier et al., (2012) ha estudiado como algunas especies tienen mecanismos para rebrotar a partir de brotes epicórmicos. Este mecanismo fue observado por Atanasio (2014) para *P. alba* en el Chaco, Argentina, quien concluyó que cortas intensas de ramas vivas en proporción a la copa viva remanente, producen un factor de estrés que estimula fuertemente las yemas durmientes debajo la corteza del tronco, emitiendo en corto tiempo una gran cantidad de brotes epicórmicos para reemplazar la biomasa aérea perdida. Además, se ha observado que en caso de cortas totales (tala rasa) de los árboles de *P. alba*, estos al rebrotar tienden a adquirir un hábito arbustivo (Karlin et al., 1997).

Los individuos de mayor tamaño (>20, cm de Dbe) sólo representan el 9,9% y pueden alcanzar hasta los 6,0 m de altura, lo cual indica que la estructura de la población se concentra en los vástagos jóvenes de menor desarrollo de individuos plurifustales, con una alta capacidad de retoñación. Esta estructura se ha mantenido constante en el periodo analizado.

En término de la vitalidad de los individuos de la población, es importante señalar que para el último periodo analizado (enero 2024 - abril 2024) el número de árboles que rebrota (Cambio de “Secos” a “Vivos”) se encuentra un 46,6% por sobre el promedio registrado a la fecha ( $7,5 \pm 3,4$  árboles), coincidiendo con el mismo periodo para el año 2023, siendo ambas mediciones los valores más altos registradas a la fecha. A estos árboles, se le contrapone al número de árboles que se desecan (Cambio de “Vivos” a “Secos”) que alcanza un 95,4% sobre el promedio ( $7,5 \pm 3,5$  árboles), siendo también el más alto registrado a la fecha. Esto proporcionalmente representa un ligero aumento de los individuos que se desecan por sobre los que rebrotan alcanzando una proporción de 0,6 individuos para un valor que en término históricos (abril 2022 - enero 2024) se mueve entre 0,2 y 1,8 individuos. Esto indica la importancia de seguir monitorear la totalidad de los individuos (“Vivos” y “Secos”) como se ha realizado hasta la fecha, para establecer posibles patrones en el comportamiento de la población.

Se observa un ligero quiebre en la tendencia a la fecha de mantener la dirección de los cambios en los componentes estudiados (aumento de la biomasa de Ramas y biomasa aérea Total). Registrando en el último periodo (enero 2024 - abril 2024) una disminución de la biomasa Total (6,1 %, 510,01 kg) y de Ramas (19,4%, 1.251,9 kg), sumado a un aumento de la biomasa de fustes (5,1% 41,1 kg), lo que podría indicar un cambio en la tendencia a adoptar un hábito más monopodial de los individuos hacia uno más simpodial. Las mediciones programadas durante el año 2024 permitirán tener un mayor detalle si se mantiene esta tendencia o resulta en un cambio en el hábito de los individuos de la población.

## 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 de 37 mediciones realizadas entre diciembre de 2022 y junio de 2024. Se presenta la evolución temporal de estos parámetros para dicho periodo. Cada uno de los 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 2024. A nivel histórico, se observa 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 sin variaciones hasta los monitoreos de junio de 2024. Los ejemplares en categoría Muy débil muestran un mínimo de 2 ejemplares (registrados en la campaña del 13 de diciembre 2022), mientras que el máximo alcanzó 21 individuos en la campaña del 08 de junio 2024. El aumento de individuos en categoría Muy débil en este período es concordante con la estacionalidad, ya que se observa un aumento hacia los meses de receso vegetativo (temporada invernal). El efecto de la estacionalidad también se evidencia en los ejemplares en categoría Débil, donde el valor máximo fue de 25 individuos y se registró en la campaña del 21 de agosto y 21 de septiembre de 2023. Por otra parte, los individuos en categoría Crecimiento normal muestran un mínimo de 2 individuos durante las campañas de agosto a septiembre de 2023, mientras que el valor máximo (35 individuos) se registra en la campaña del 17 de noviembre y 01 de diciembre de 2023. Finalmente, los individuos en categoría Excepcionalmente vigoroso se presentan de forma más aislada, donde el máximo se registró en la campaña del 11 de abril de 2023 con 8 ejemplares, mientras que el mínimo llega a 0 individuos y se mantiene sin registros durante todo el segundo semestre de 2023 para luego en enero de 2024 registrarse 5 individuos, cifra que disminuye a lo largo del primer semestre de 2024.

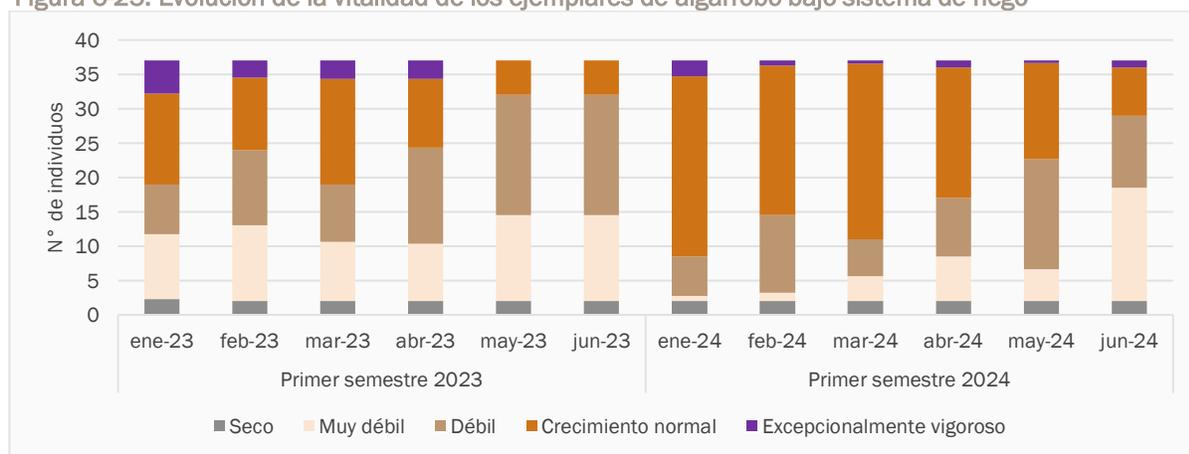


### 6.2.1.1 Evaluación de los árboles bajo sistema de riego respecto al primer semestre del año 2023

Para evaluar la vitalidad de los ejemplares bajo sistema de riego, se ha comparado este parámetro con los datos colectados durante el primer semestre de 2023 (Figura 6-25).

En general, se observa que los individuos en categoría Seco se han mantenido sin variaciones en ambos semestres estudiados. Por el contrario, los individuos en categoría Muy débil varían mes a mes a lo largo del semestre, en ambos períodos. Sin embargo, se observa una disminución de individuos en el primer semestre de 2024 respecto al primer semestre de 2023 en los meses de enero a mayo, para luego aumentar en 4 individuos en el mes de junio de 2024. En la categoría de vigor Débil, también se observa una disminución de individuos respecto al primer semestre de 2023. En la categoría de vigor Crecimiento normal se observa un aumento de individuos respecto al primer semestre de 2023 en todo el período (enero - junio). Lo anterior podría estar relacionado directamente al efecto que tiene el riego en el tiempo, permitiendo que se mantenga estable el estado vital de algunos individuos, incluso en el período invernal. Al analizar la categoría Excepcionalmente vigoroso, se observa una disminución sostenida durante el primer semestre de 2024 respecto al primer semestre de 2023. Sin embargo, en ambos semestres el número de individuos llega a 0 en el mes de mayo, con la diferencia de que en junio 2024 se registra 1 individuo y en junio de 2023 no se registran individuos.

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



Fuente: Elaboración propia

### 6.2.2 Porcentaje de copa viva

Tal como se mencionó en la sección anterior, los ejemplares con copa viva 0% al igual que los individuos en categoría de vigor Seco, se han mantenido relativamente constantes durante las prospecciones realizadas entre 2022 y 2024. Se observa que el valor máximo se registró el 03 de noviembre de 2023 con un total de 4 individuos. Luego de esa fecha, el número de individuos en esta categoría desciende a 2 ejemplares, manteniéndose en este valor sin variaciones hasta junio de 2024. Los ejemplares con copa <5%, muestran un mínimo de 0 ejemplares (registrados en las campañas del 6 de diciembre de 2023), mientras que el máximo alcanzó 17 individuos en la campaña del 7 de septiembre de 2023. Los resultados históricos hasta la fecha indican una tendencia hacia el aumento de individuos en esta categoría en la época de otoño e invierno,

mientras que disminuyen hacia primavera y verano. En el caso de los individuos en rango 5-25% y 25-50%, se observan valores máximos de 19 y 21 ejemplares en agosto y octubre de 2023 respectivamente. En el caso del rango 5-25% no se observa una tendencia clara, ya que los valores altos se extienden hasta junio de 2024. En el caso del rango 25-50%, tampoco se observa una tendencia clara en el tiempo. La categoría de rango 50-75%, registra un valor máximo anual de 15 individuos en la campaña del 26 diciembre de 2022. Esta categoría presenta una tendencia más marcada en el tiempo, registrando un aumento de individuos en las temporadas de primavera verano, y una baja en la temporada invernal. En el caso de la categoría 75-100%, se observa una alta variación entre monitoreos y una leve tendencia a la baja en el tiempo. 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 de 2023), mientras que los mínimos se registran en la época invernal con 0 ejemplares, situación que también se observa en el primer semestre de 2024.



## 6.3 Caracterización de la flora y vegetación

### 6.3.1 Vegetación

#### 6.3.1.1 Superficie

La superficie de la Quebrada de Camar presenta variaciones en el tiempo. Tal como se observa en la Figura 6-27 y Tabla 6-4, el matorral de *Tessaria absinthioides* corresponde al tipo vegetacional con mayor ocupación en la quebrada, concentrando un promedio de 242,09 ha  $\pm$  8,98 ha con un valor máximo de 257,84 ha en abril de 2023. A su vez, este matorral representa en promedio un 58,87%  $\pm$  1,29% de la superficie total cubierta de matorrales de la Quebrada de Camar.

El matorral de *Tiquilia atacamensis* registra un promedio de 111,85 ha  $\pm$  5,64 ha, el valor máximo se observó en los meses de abril 2021 y enero 2022 117,7 ha. Este matorral representa en promedio un 27,21%  $\pm$  1,37% de la superficie total de matorrales.

El matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* posee un promedio de 26,92 ha  $\pm$  9,17 ha con un valor máximo de 44,05 ha reportado en enero 2024. Este matorral representa en promedio un 6,56%  $\pm$  2,26% de la superficie total cubierta de matorrales de la quebrada.

El matorral de *Aloysia deserticola* registra un promedio de 30,33 ha  $\pm$  9,30 ha, con un valor máximo de 41,40 ha determinadas en octubre de 2022 y enero de 2023. Este matorral representa en promedio un 7,36%  $\pm$  2,22% de la superficie total cubierta por matorrales.

Las superficies de Bosque de *Neltuma alba* y pradera de *Distichlis spicata* registran un promedio de 9,24 ha  $\pm$  0,20 ha y 1,32 ha  $\pm$  1,43 ha respectivamente. Destaca el reciente aumento de la superficie de la pradera de *Distichlis spicata*. Dicho aumento se debe a que, durante la última campaña de terreno (abril 2024) se rectificó el tipo vegetacional de un polígono de 3,07 ha, pasando de un matorral muy abierto de *Tessaria absinthioides*, a una pradera muy abierta de *Distichlis spicata*.

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

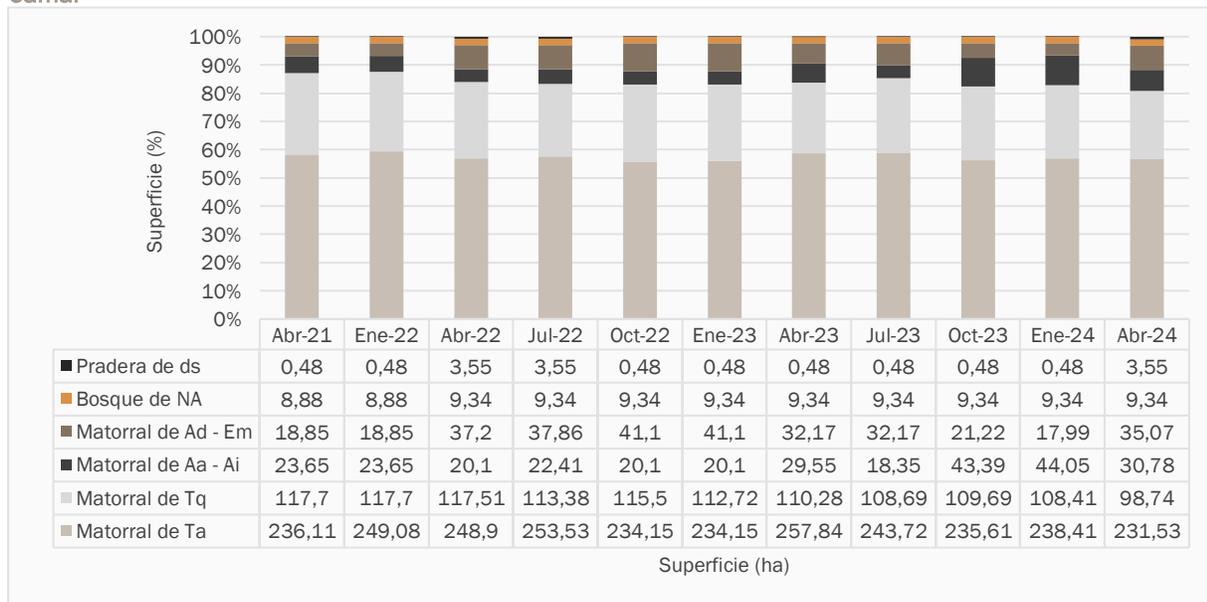
Período	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	Matorral de <i>Tiquilia atacamensis</i>	Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i> - <i>Atriplex imbricata</i>	Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> - <i>Ephedra multiflora</i>	Bosque de <i>Neltuma alba</i>	Pradera de <i>Distichlis spicata</i>	Total Matorrales
Abr-21	236,11	117,70	23,65	18,85	8,88	0,48	396,31
Ene-22	249,08	117,70	23,65	18,85	8,88	0,48	409,28
Abr-22	248,90	117,51	20,10	37,20	9,34	3,55	423,71
Jul-22	253,53	113,38	22,41	37,86	9,34	3,55	427,18
Oct-22	234,15	115,50	20,10	41,10	9,34	0,48	410,85
Ene-23	234,15	112,72	20,10	41,10	9,34	0,48	408,07

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

Período	Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	Matorral de <i>Tiquilia atacamensis</i>	Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i> - <i>Atriplex imbricata</i>	Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> - <i>Ephedra multiflora</i>	Bosque de <i>Neltuma alba</i>	Pradera de <i>Distichlis spicata</i>	Total Matorrales
Abr-23	257,84	110,28	29,55	32,17	9,34	0,48	429,84
Jul-23	243,72	108,69	18,35	32,17	9,34	0,48	402,93
Oct-23	235,61	109,69	43,39	21,22	9,34	0,48	409,91
Ene-24	238,41	108,41	44,05	17,99	9,34	0,48	408,86
Abr-24	231,54	98,74	30,78	35,07	9,34	3,55	396,13

Fuente: Elaboración propia 2024

Figura 6-27. Evolución de la superficie de las formaciones vegetacionales presentes en la quebrada de Camar



Donde: ds: *Distichlis spicata*; NA: *Neltuma alba*; Ad - Em: *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora*; Aa - Ai: *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata*; Tq: *Tiquilia atacamensis* y Ta: *Tessaria absinthioides*.

(\*) 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 2024

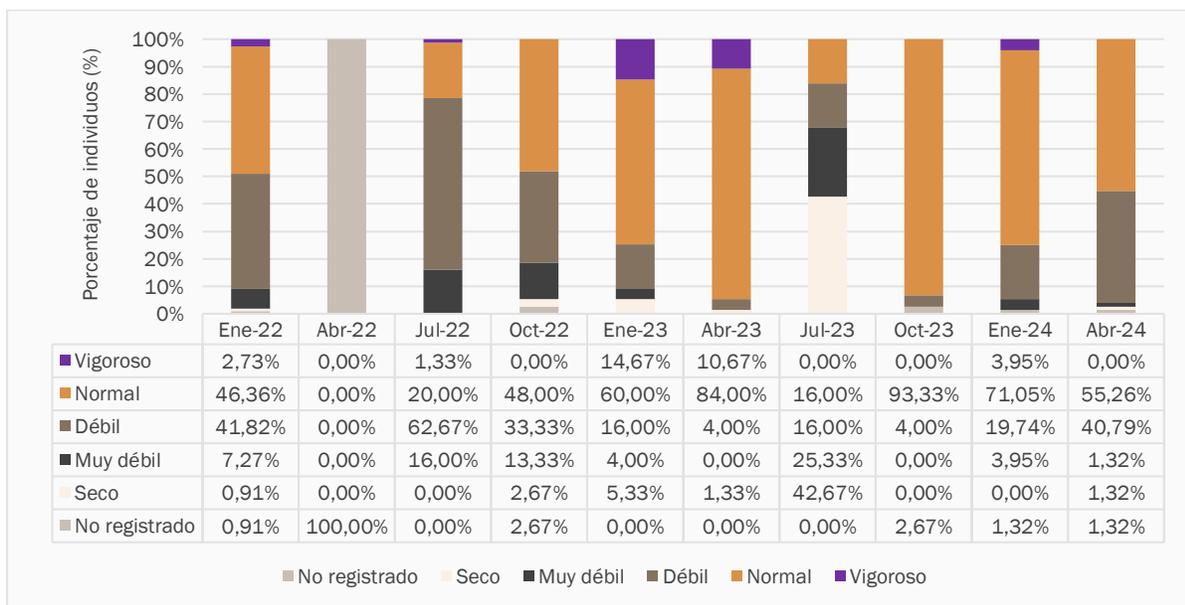
### 6.3.1.2 Vitalidad

Tal como se muestra en la Figura 6-28, 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 54,89% ± 26,13% con un valor máximo de 93,33% (70 unidades vegetacionales) en octubre 2023. La categoría Débil

registra un promedio de  $26,48\% \pm 19,60\%$ , mientras que el valor máximo fue de  $62,67\%$  (47 unidades) en julio 2022. La categoría Muy débil registra un promedio de  $7,91\% \pm 8,65\%$  y un valor máximo de  $25,33\%$  (19 unidades) registradas en julio 2023. La categoría Excepcionalmente vigorosa obtuvo un promedio de  $3,70\% \pm 5,36\%$ , con un valor máximo de  $14,67\%$  (11 unidades) registradas en enero 2023. Finalmente, un  $6,02\% \pm 13,85\%$  corresponde a ejemplares secos. 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 se registran signos de otros tipos de daños.

Al comparar el período analizado (enero y abril 2024), se observa un aumento en el número de polígonos en categoría débil en abril de 2024 con una diferencia de  $21,05\%$ . Contrariamente, que se observa una disminución en el número de polígonos en estado vital normal con un diferencial de  $15,79\%$ . Los polígonos en estado muy débil también disminuyeron en un  $2,63\%$  durante el mes de abril, mientras que los secos aumentaron en un  $1,32\%$ . La categoría excepcionalmente vigorosa disminuyó en un  $3,95\%$ . Este aumento en las categorías de baja vigorosidad y disminución en las de alta podría relacionarse al término del verano y el comienzo del otoño, ya que, los sectores del monitoreo son afectados por el fenómeno del invierno boliviano, caracterizado por sus precipitaciones en los meses estivales, lo que podría mejorar la vitalidad de la vegetación durante el primer monitoreo del 2024.

Figura 6-28. Variación histórica de la vitalidad en la vegetación de la Quebrada de Camar



Fuente: Elaboración propia, 2024

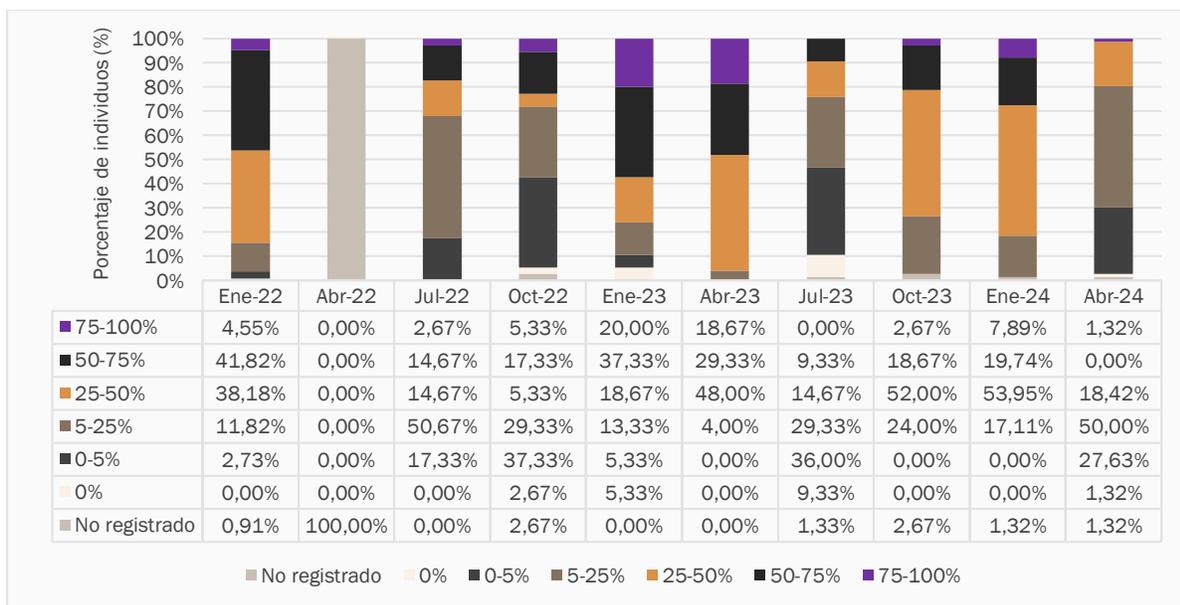
### 6.3.1.3 Porcentaje de copa viva

Tal como se muestra en la Figura 6-29 la categoría de copa viva entre 25-50% reporta el mayor promedio con un valor de  $29,32\% \pm 18,66\%$  con un valor máximo de  $53,95\%$  (41 unidades) en enero 2024. La categoría 5-25% de copa entre reporta un promedio de  $25,51\% \pm 16,33\%$  con un valor máximo de  $50,67\%$  (38 unidades) reportadas en julio 2022. La categoría de copa entre 50-75% con un promedio de  $20,91\% \pm 13,26\%$  y un valor máximo de  $41,82\%$  (46 unidades) reportado en enero 2022. La categoría de copa <5% reporta un

promedio de 14,04% ± 15,87% con un valor máximo de 37,33% (28 unidades) registrados en octubre 2022. La categoría 75-100% reporta un promedio de 7,01% ± 7,36% con un valor máximo de 20,00% (15 unidades) registradas en enero 2023. Finalmente, la categoría 0% reporta un promedio de 2,07% ± 3,27% con un valor máximo 9,33% (7 unidades) reportadas en julio 2023.

Al comparar los monitoreos del 1° semestre entre si (enero y abril 2024), se observa una disminución de las unidades con follaje sobre el 25% (categorías 25-50%, 50-75% y 75-100%), y un aumento de las unidades con follaje menor a este valor (5-25%, 0-5% y 0%). Las categorías 5-25%, 0-5% y 0%, aumentaron en un 32,89%, 27,63% y 1,32% respectivamente. Por otro lado, las categorías 25-50%, 50-75% y 75-100%, disminuyeron en un 35,53%, 19,74% y 6,58% respectivamente. Este aumento en las categorías con menor porcentaje de copa verde y aumento en las de mayor, indicaría que la vegetación de la quebrada se está secando conforme avanza la temporada de otoño.

Figura 6-29. Variación histórica del porcentaje de copa viva en la vegetación de la Quebrada de Camar



Fuente: Elaboración propia 2024

### 6.3.1.4 Estado fenológico

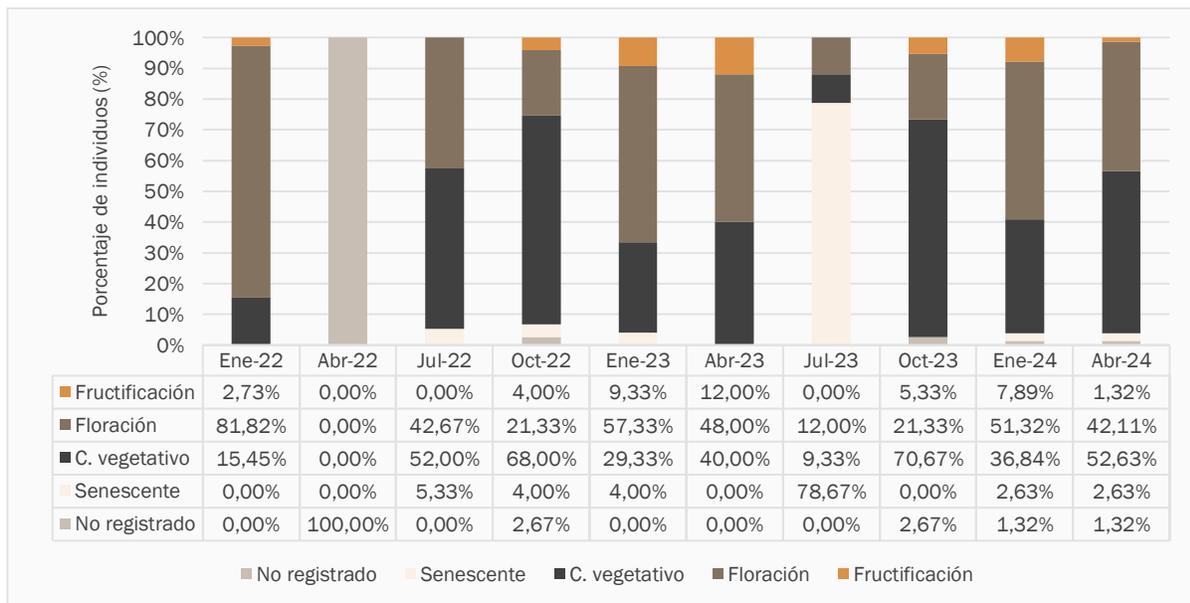
Tal como se muestra en la Figura 6-30, el estado fenológico con mayor promedio reportado fue la floración, con un valor de 41,99%± 21,50% y obtuvo un valor máximo de 81,82% (90 unidades<sup>29</sup>) en enero 2022. La categoría crecimiento vegetativo registró un promedio de 41,58% ± 21,42% con un valor máximo de 70,67% (53 unidades) en octubre 2023. La categoría senescente registra un promedio de 10,81% ± 25,52% con un

<sup>29</sup> El monitoreo de enero 2022 fue el primero que se realizó en el marco de la Acción 24 del Programa de Cumplimiento (PdC). Es este primer monitoreo se propusieron 110 estaciones de muestreo, de las cuales se seleccionaron 76 que continuaron siendo monitoreadas trimestralmente.

valor máximo de 78,67% (59 unidades) en julio 2023. La categoría fructificación registra un promedio de 4,73% ± 4,26% con un valor máximo de 12,00% (9 unidades) registradas en abril 2023.

Al comparar los períodos de enero y abril de 2024, se observa una disminución en las categorías de floración y fructificación, con una reducción del 9,21% y 6,58%, respectivamente. Por otro lado, se registra un aumento significativo en la categoría de crecimiento vegetativo, que creció en un 15,79%. Las categorías de senescencia y no registrado se mantuvieron estables en un 2,63% y 1,32%, respectivamente. Estos cambios coinciden con el término de la temporada estival y el avance del otoño, con un menor énfasis en la floración y la fructificación a medida que avanza la temporada.

Figura 6-30. Variación histórica del estado fenológico en la vegetación de la Quebrada de Camar



Fuente: Elaboración propia

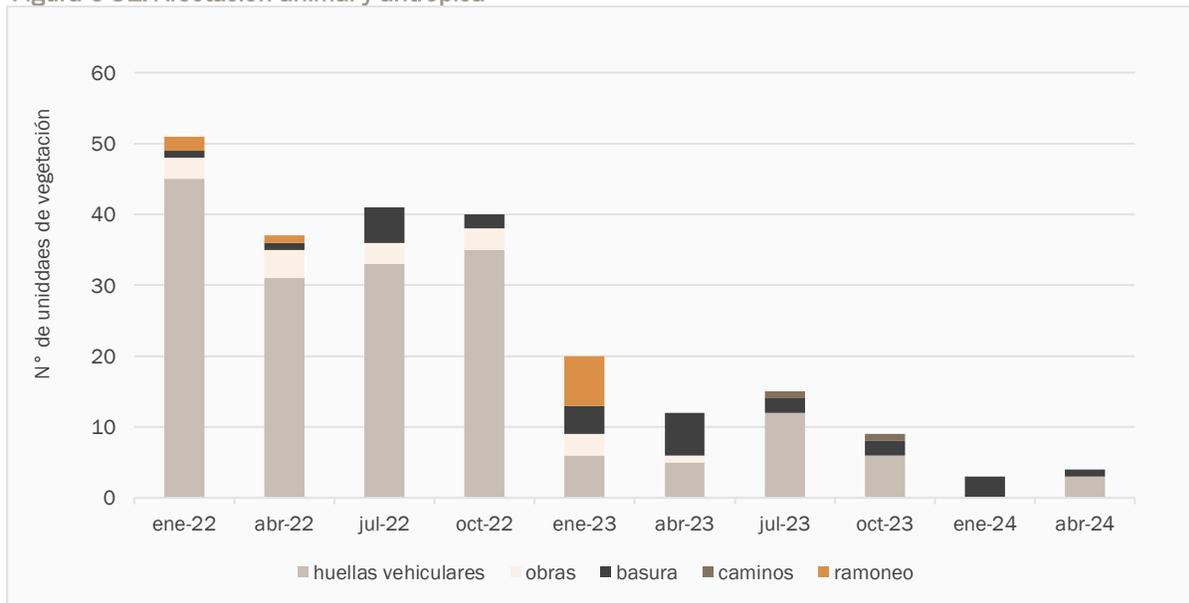
### 6.3.1.5 Afectación antrópica y/o natural

Los monitoreos trimestrales dan cuenta que desde el comienzo de los reportes mensuales del Plan de Cumplimiento (enero 2022) se han observado algunos signos que evidencian la afectación antrópica y en menor medida 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 2024 se observa que la presencia de huellas vehiculares corresponde a la principal afectación en las unidades de vegetación. Éstas 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 se ha encontrado presencia de basura en las unidades prospectadas y de obras dentro de las unidades, las que están asociadas principalmente al mejoramiento de la ruta B-371 y al camino entre pozos. La afectación animal (ramoneo) se ha encontrado en pocas oportunidades, dado que la vegetación de matorral (presencia de *Tessaria absinthioides*, *Atriplex atacamensis*, *Ephedra multiflora*, *Aloysia deserticola* y otras plantas), se consideran de bajo interés en la dieta de los burros silvestres,

observándose mayor presencia de este tipo de daño en los árboles de *Neltuma alba* (algarrobo) que crecen en la quebrada.

Respecto a la afectación antrópica, el 93,42% de los polígonos monitoreados se observó sin intervención aparente en el monitoreo de abril, lo que significa un aumento respecto del 1,32% en el número de polígonos intervenidos respecto al monitoreo de enero de 2024. Además, a diferencia del monitoreo anterior (enero 2024) en abril 2024, junto con la intervención por basura, también se registró intervención por huellas vehiculares, mientras que, en enero ninguno de los polígonos visitados registró este tipo de intervención. La evolución histórica de la afectación animal y antrópica se presentan en (Figura 6-31).

Figura 6-31. Afectación animal y antrópica



Fuente: Elaboración propia, 2024

## 6.3.2 Flora

### 6.3.2.1 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 2024.

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 2023<sup>30</sup>, donde, además, la napa es profunda, por lo que eventos de precipitaciones son considerablemente favorables para el crecimiento y desarrollo de algunas especies.

<sup>30</sup> SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. <https://www.agrometeorología.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	Julio 2023	Octubre 2023	Enero 2023	Abril 2023
1	<i>Adesmia atacamensis</i>	Fabaceae	Arbusto	Endémico	(*)	(*)	X	X	(*)	(*)	-	-	-	-
2	<i>Adesmia rahmeri</i>	Fabaceae	Hierba anual	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	-	-	-	-
3	<i>Allionia incarnata*</i>	Nyctaginaceae	Hierba perenne	Nativo	-	-	-	-	-	(*)	-	-	-	-
4	<i>Aloysia deserticola</i>	Verbenaceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	<i>Ambrosia artemisioides</i>	Asteraceae	Arbusto	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	-	-	-	-
6	<i>Atriplex atacamensis</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	<i>Atriplex imbricata</i> var. <i>imbricata</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	<i>Cistanthe amarantoides*</i>	Montiaceae	Hierba perenne	Endémico	-	-	-	-	-	(*)	-	-	-	-
9	<i>Cistanthe celosioides</i>	Montiaceae	Hierba anual	Nativo	X	X	(*)	(*)	X	(*)	-	-	X	-
10	<i>Cistanthe salsoloides</i>	Montiaceae	Hierba anual	Nativo	(*)	(*)	X	X	-	X	X	-	-	-
11	<i>Cristaria dissecta*</i>	Malvaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	(*)	-	-	-	-
12	<i>Distichlis spicata</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	<i>Ephedra multiflora</i>	Ephedraceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	(*)	X	X	X	X	X	X
14	<i>Euphorbia amandi*</i>	Euphorbiaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	(*)	-	-	-	-
15	<i>Exodeconus integrifolius</i>	Solanaceae	Hierba anual	Nativo	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
16	<i>Hoffmannseggia doellii</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Endémico	-	(*)	(*)	(*)	-	(*)	-	-	-	-
17	<i>Lupinus oreophilus</i>	Fabaceae	Hierba perenne	Endémico	-	(*)	(*)	(*)	-	(*)	-	-	-	-
18	<i>Neltuma alba</i>	Fabaceae	Árbol	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)	X	X	(*)	(*)
19	<i>Phragmites australis</i>	Poaceae	Hierba perenne	Introducido	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)	-	-	-	-
20	<i>Solanum chilense</i>	Solanaceae	Hierba perenne	Endémico	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)	X	-	-	-

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

N°	Nombre científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	Enero 2022	Abril 2022	Julio 2022	Octubre 2022	Enero 2023	Abril 2023	Julio 2023	Octubre 2023	Enero 2023	Abril 2023
21	<i>Strombocarpa tamarugo</i>	Fabaceae	Árbol	Endémico	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)	X	X	(*)	(*)
22	<i>Tarasa operculata</i>	Malvaceae	Arbusto	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	-	X	-	-	-	X
23	<i>Tessaria absinthioides</i>	Asteraceae	Arbusto	Nativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
24	<i>Tiquilia atacamensis</i>	Boraginaceae	Arbusto	Endémico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
25	<i>Tribulus terrestris</i>	Zygophyllaceae	Hierba anual	Introducido	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
26	<i>Urmenetea atacamensis</i>	Asteraceae	Hierba perenne	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)	-	-	-	-
Riqueza dentro de los puntos de muestreo					9	8	9	8	8	11	11	9	8	8
Riqueza fuera de los puntos de muestreo					10	12	11	12	3	15	-	-	2	2
Riqueza total					19	20	20	20	11	26	11	9	10	10

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

Fuente: Elaboración propia, 2024

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), la *Tessaria absinthioides* posee una amplia distribución. Tal como señalan Rodríguez *et al.*, (2018), este arbusto nativo se distribuye entre las regiones de Arica y Parinacota y Biobío, en un rango altitudinal que va desde los 0 hasta los 3.000 msnm.

El *Atriplex atacamensis* (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 *Atriplex imbricata* (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.

La *Tiquilia atacamensis* (káuchal), es de las especies más abundantes en el Salar de Atacama y conforma al tipo vegetacional Matorral de káuchal. 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).

La *Aloysia deserticola* (rica – rica), 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. La *Ephedra multiflora* (pingo pingo), corresponde a un arbusto nativo que crece entre los 2.300 y 4.000 msnm en las regiones de Arica y Parinacota, Antofagasta y Atacama (Rodríguez *et al.*, 2018).

La especie *Distichlis spicata* (grama salada) es una 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). En el Borde Este esta especie conforma al tipo vegetacional pradera de Grama salada. En el área de la quebrada de Camar este tipo vegetacional 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.

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.

Por último, se registró durante el monitoreo de abril 2024 la especie *Tarasa operculata*, que no se registraba desde abril 2023. Esta especie corresponde a un subarbusto nativo que crece entre los 1.500 y 3.800 msnm en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta (Rodríguez *et al.*, 2018).

Los resultados obtenidos evidencian la estabilidad en la composición florística de la quebrada de Camar entre los meses de enero 2022 y abril de 2024, con un número relativamente constante de especies registradas (8 a 11 especies registradas dentro de los transectos por período).

### 6.3.2.2 Abundancia

En la Tabla 6-3 se presenta la variación histórica (enero 2022 hasta abril 2024) en la cobertura que tienen las especies calculada a partir de los transectos. La alta cobertura de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis* reafirma su papel como especies dominantes en la zona, capaces de prosperar en un entorno caracterizado por la aridez. La fluctuación en la cobertura de algunas especies, aunque mínima, podría estar relacionada con factores estacionales que afectan el crecimiento y la expansión de la vegetación.

Entre enero y abril, la mayoría de las especies mostraron una disminución en su cobertura. Las especies que más disminuyeron fueron *Tiquilla atacamensis* con una reducción de 0,43% y *Atriplex imbricata* con una reducción de 0,26%. Otras especies como *Tessaria absinthioides*, *Ephedra multiflora* y *Distichlis spicata* también presentaron ligeras disminuciones menores al 0,1%. Contrariamente, *Aloysia deserticola* y *Atriplex atacamensis* registraron una mayor cobertura, con aumentos de 0,13% y 0,59% respectivamente.

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

N°	Especie	% de cobertura por transectos									
		Ene-22	Abr-22	Jul-22	Oct-22	Ene-23	Abr-23	Jul-23	Oct-23	Ene-24	Abr-24
1	<i>Adesmia atacamensis</i>	0,00%	0,00%	<0,01	<0,01	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%	0,63%	0,91%	1,26%	1,39%
3	<i>Atriplex atacamensis</i>	1,37%	1,44%	1,73%	0,78%	1,41%	1,97%	1,73%	2,97%	1,94%	2,53%
4	<i>Atriplex imbricata</i>	0,15%	0,12%	0,09%	0,03%	0,21%	0,11%	0,02%	0,03%	0,28%	0,02%
5	<i>Cistanthe salsoloides</i>	0,15%	0,06%	0,01%	0,02%	0,08%	0,02%	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%
6	<i>Cistanthe celosioides</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%
7	<i>Distichlis spicata</i>	0,3%	0,6%	0,41%	0,22%	0,58%	0,86%	0,54%	0,70%	0,50%	0,49%
8	<i>Ephedra multiflora</i>	0,27%	0,05%	0,06%	0,00%	0,22%	0,11%	0,00%	0,07%	0,13%	0,10%
9	<i>Exodeconus integrifolius</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
10	<i>Solanum chilense</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%
11	<i>Tarasa operculata</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
12	<i>Tessaria absinthioides</i>	8,00%	10,99%	7,22%	7,15%	9,83%	10,45%	8,41%	12,80%	10,46%	10,39%
13	<i>Tiquilia atacamensis</i>	3,22%	2,01%	1,34%	0,92%	1,63%	1,23%	1,45%	1,50%	1,04%	0,61%
14	<i>Tribulus terrestris</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fuente: Elaboración propia

## 6.4 Parámetros del suelo

### 6.4.1 Monitoreo mensual de CHS

El monitoreo del contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) se realiza desde febrero del 2022 a la fecha (junio de 2024), con el objetivo de dar cuenta de la evolución temporal de este parámetro y su posible relación con la vitalidad de la población de algarrobos presente en la quebrada de Camar.

#### 6.4.1.1 Evolución temporal del CHS a nivel de población

Tal como se ha mencionado en informes anteriores (CRICYT, 2018, PSAB año 2021), el principal aporte hídrico en el área aluvial de la quebrada de Camar proviene de las lluvias estivales altoandinas, las que infiltran por los horizontes superficiales arenosos del suelo, hasta el horizonte arcilloso. Por esta razón, los eventos de precipitaciones favorecen las reservas de agua aprovechable para las plantas.

La Figura 6-32 y Tabla 6-4 muestran el comportamiento histórico del CHS dentro de la quebrada de Camar. Se observan fluctuaciones según la época del año, registrando un valor máximo promedio de 3,61% consecutivamente en los meses de marzo y abril de 2023, fecha en la que se registraron eventos de precipitaciones<sup>31</sup>. El valor promedio general de CHS se ha visto influenciado por la puesta en marcha de un sistema de riego en diciembre de 2022 en 11<sup>32</sup> de los 40 puntos de monitoreo de CHS. A partir de ese momento, se observa un aumento general en el valor promedio de CHS, así como un aumento de los valores máximos registrados en cada mes de monitoreo.

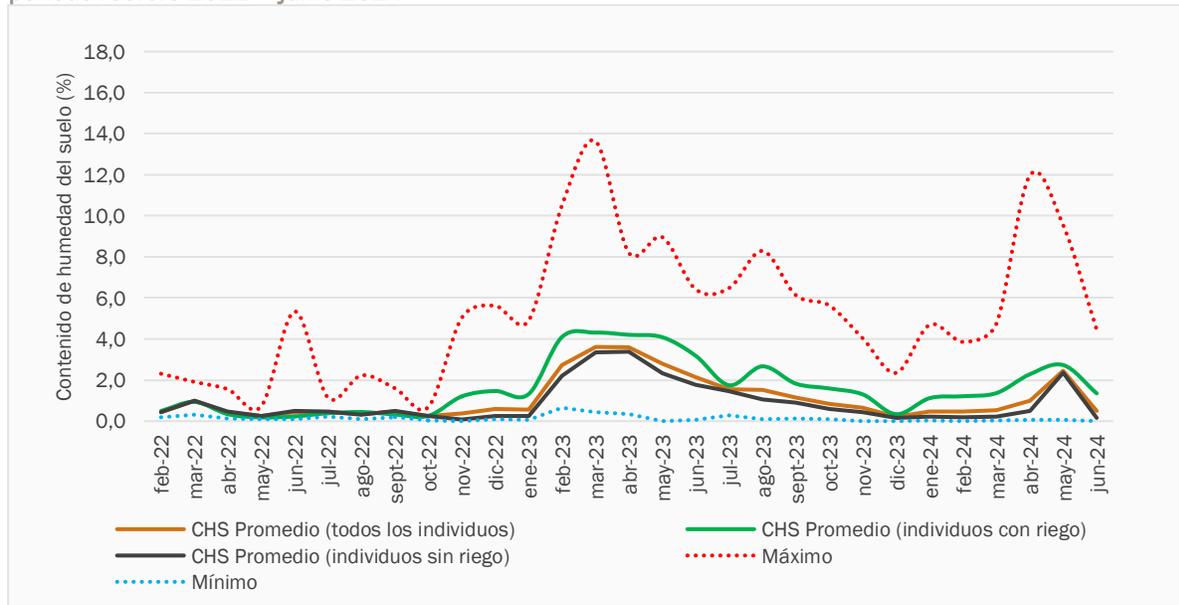
Al analizar los datos obtenidos durante el primer semestre de 2024, se registran los mayores promedios generales (considerando las 40 muestras) en abril y mayo de 2024 (0,98% y 2,46% respectivamente) (Tabla 6-4), observándose una disminución en el promedio general del contenido de humedad del suelo hacia junio de 2024. Al analizar el CHS promedio en individuos con y sin sistema de riego, también se aprecia una disminución hacia junio de 2024. Lo anterior concuerda con lo reportado durante el primer semestre de 2023, donde el CHS promedio disminuye hacia fin del semestre (Figura 6-32).

---

<sup>31</sup> Para más información, revisar SQM en línea, <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. [www.agrometeorologia.cl](http://www.agrometeorologia.cl)

<sup>32</sup> Los once individuos con riego son los siguientes: A-12, A-17, A-31, A-33, A-36, A-38, A-46, A-47, AX-01, C-15 y C-19.

Figura 6-32. Comparación mensual del contenido de humedad del suelo en individuos de *Neltuma alba*, periodo febrero 2022 – junio 2024



\*En diciembre de 2022 comienza la ejecución del sistema de riego en los puntos de medición de los individuos A-12, A-17, A-31, A-33, A-36, A-38, A-46, A-47, AX-01, C-15 y C-19.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-4. CHS en individuos de *Neituma alba* con y sin sistema de riego, periodo febrero 2022 – junio 2024

Sistema		Con riego*											Sin riego																												
Individuo		A12	A17	A31	A33	A36	A38	A46	A47	C15	C19	AX01	A05	A10	A27	A51	A54	A70	A71	B02	B03	B04	B15	B21	C34	C41	C45	C51	C54	C58	C66	C72	C77	D02	D07	D10	D14	D20	D26	D29	D43
2022	Febrero	0,3	0,58	0,35	0,18	0,21	2,31	0,26	0,29	0,22	0,3	0,42	0,36	1,15	0,39	0,37	0,38	0,29	0,35	0,36	0,29	0,84	0,61	0,36	0,3	0,26	0,27	0,31	0,25	0,37	0,34	0,18	0,5	0,27	0,4	0,36	0,31	0,49	0,23	0,77	0,96
	Marzo	0,92	1,51	0,95	0,97	0,92	1,02	0,68	0,62	0,8	0,71	1,22	0,82	1,91	0,99	0,54	0,67	0,99	0,82	0,62	1,32	1,37	1,57	1,5	1,15	0,98	1,07	0,75	0,7	0,8	0,86	0,73	0,31	1,46	0,91	1,33	0,71	0,77	0,68	0,89	1,66
	Abril	0,47	0,96	0,34	0,23	0,18	0,32	0,17	0,14	0,2	0,22	0,49	0,47	1,55	0,56	0,25	0,33	0,47	0,44	0,19	0,32	0,44	0,94	0,45	0,27	0,41	0,48	0,48	0,41	0,23	0,24	0,26	0,33	0,4	0,22	0,57	0,31	0,36	0,34	0,49	1,47
	Mayo	0,15	0,31	0,15	0,21	0,12	0,31	0,12	0,17	0,1	0,15	0,2	0,16	0,38	0,21	0,1	0,1	0,11	0,26	0,11	0,24	0,35	0,72	0,21	0,22	0,25	0,25	0,24	0,21	0,14	0,15	0,28	0,32	0,26	0,25	0,16	0,19	0,49	0,31	0,7	
	Junio	0,2	0,27	0,16	0,29	0,23	0,31	0,15	0,24	0,26	0,24	0,18	0,2	0,83	0,17	0,19	0,24	0,21	0,75	0,21	0,35	5,34	0	0,36	0,3	0,25	0,21	0,29	0,16	0,31	0,19	0,23	0,1	0,22	0,46	0,48	0,26	0,3	0,17	0,46	0,71
	Julio	0,47	0,58	0,38	0,23	0,35	0,41	0,29	0,4	0,38	0,34	0,39	0,33	1,14	0,42	0,39	0,41	0,33	0,49	0,28	0,41	0,62	0,66	0,27	0,38	0,46	0,33	0,43	0,38	0,4	0,34	0,36	0,46	0,57	0,46	0,58	0,41	0,47	0,49	0,51	0,75
	Agosto	0,27	0,3	0,22	0,18	0,26	0,35	0,2	0,22	2,23	0,2	0	0,23	0,67	0,22	0,23	0,28	0,27	0,31	0,16	0,38	0,43	0,62	0,27	0,12	0,21	0,22	0,24	0,2	0,27	0,26	0,2	0,11	0,39	0,37	0,47	0,32	0,33	0,17	0,38	0,98
	Septiembre	0,35	0,45	0,36	0,33	0,23	0,35	0,2	0,25	0,35	0,29	0,41	0,53	1,6	0,46	0,2	0,27	0,4	0,42	0,29	0,78	0,54	1,28	0,33	0,43	0,39	0,36	0,37	0,49	0,29	0,29	0,26	0,49	0,29	0,36	0,49	0,36	0,37	0,48	0,45	1,28
	Octubre	0,15	0,14	0,38	0,25	0,2	0,37	0,3	0,69	0,09	0,06	0,19	0,35	0,29	0,18	0,04	0,22	0,19	0,23	0,37	0,19	0,28	0,45	0,17	0,1	0,11	0,12	0,42	0,12	0,11	0,26	0,27	0,08	0,19	0,27	0,45	0,18	0,44	0,11	0,25	0,41
	Noviembre	0,05	2,14	0,07	0,07	1,47	0,08	0,04	0,03	4,22	5,03	0,02	0,01	0,04	0,05	0,02	0,07	0,04	0,02	0,06	0,15	0,1	0,16	0,2	0,02	0,03	0,06	0,06	0,03	0,04	0,08	0,07	0,07	0,07	0,15	0,18	0,1	0,08	0,03	0,07	0,24
Diciembre	0,21	5,62	0,18	0,1	0,18	0,31	0,21	3,68	2,04	3,4	0,21	0,19	0,33	0,13	0,3	0,24	0,14	0,19	0,21	0,28	0,48	0,57	0,26	0,18	0,24	0,22	0,2	0,12	0,22	0,27	0,26	0,24	0,28	0,27	0,42	0,33	0,38	0,18	0,19	0,32	
Enero	0,13	4,81	0,29	0,15	0,17	0,26	0,11	1,35	2,09	4,89	0,2	0,19	0,33	0,27	0,17	0,22	0,17	0,24	0,14	0,27	0,44	0,42	0,22	0,07	0,12	0,8	0,14	0,09	0,2	0,17	0,21	0,12	0,28	0,28	0,31	0,19	0,24	0,07	0,8	0,44	
2023	Febrero	1,62	9,22	1,97	2,29	1,81	3,05	2,25	3,57	6,34	10,51	2,44	2,49	1,5	2,31	2,64	2,1	3,76	1,31	2,33	1,96	0,65	2,75	1,12	2,34	1,83	2,27	1,58	2,45	2,29	2,52	1,52	2,35	1,5	3,09	1,47	2,15	1,79	3,04	3,1	3,91
	Marzo	6,08	5,97	5,75	3,02	1,86	4,93	3,43	5,15	2,93	5,22	3,09	2,41	5,36	4,07	2,92	2,87	3,23	5,91	2,38	1,02	0,45	0,45	1,07	2,23	2,6	3,27	3,68	3,04	2,25	4,42	6,18	3,13	4,4	2,18	1,65	3,89	13,64	1,86	3,49	3,06
	Abril	2,21	7,77	3,11	1,61	3,14	4,47	3,06	4,49	6	7,39	2,99	2,87	3,74	3,28	3,39	2,9	3,06	2,5	8,2	1,73	0,49	4,08	0,35	2,81	2,94	2,68	3,12	3,6	2,44	4,24	3,05	6,77	2,43	8,12	3,22	3,3	2,97	2,9	3,16	3,75
	Mayo	0,73	6,36	1,42	1,18	4,18	3,4	4,92	8,96	5,98	6,42	1,42	2,43	2,52	2,32	2,08	2,53	1,66	1,65	1,31	0,19	4,69	2,48	0	2,75	1,68	1,6	2,99	2,51	1,81	2,4	2,33	6,07	5,9	0,03	1,76	1,6	1,68	2,75	2,22	3,21
	Junio	1,7	6,42	1,74	1,43	2,37	3,8	1,88	2,51	5,98	5,64	1,55	2,8	2,57	2,29	1,73	1,92	1,66	1,82	1,24	0,49	0,05	1,89	0,37	1,81	1,26	1,08	1,94	2,05	1,59	2,07	2,3	5,2	1,14	0,14	2,05	1,8	1,47	1,66	2,11	2,72
	Julio	1,45	0,78	0,34	0,27	1,69	0,41	1,3	1,82	6,48	3,52	1,16	0,85	5,68	0,81	0,6	1,2	1,19	0,45	1,07	0,28	0,73	4,23	1,41	0,77	1,08	0,86	1,22	1,94	1,34	1,06	1,11	3,41	0,35	0,39	0,73	4,65	0,69	1,82	1,13	1,35
	Agosto	1,18	4,47	1,04	0,17	1,82	3,67	1,69	1,6	5,1	8,3	0,33	0,33	1,75	0,62	1,56	1,19	1,36	0,95	0,37	0,2	0,1	4,2	0,15	0,98	0,98	0,93	1,2	1,84	0,66	1,32	1,09	1,88	0,1	0,96	0,78	1,15	0,6	0,75	1,15	1,81
	Septiembre	0,38	3,92	0,78	0,38	0,77	2,25	0,9	0,47	3,48	6,13	0,6	0,26	1,64	0,42	0,74	1,01	0,3	0,23	0,48	0,46	0,24	4,61	0,26	1,45	0,61	0,46	1,35	1,14	0,47	2,27	0,94	0,86	2,9	0,23	0,39	0,14	0,22	0,91	0,4	0,83
	Octubre	0,45	5,06	0,62	0,42	0,49	1,87	0,89	0,34	2,68	5,63	0,14	0,72	1,44	0,33	0,36	0,37	0,13	0,38	0,47	0,12	0,19	5,35	0,28	0,27	0,27	0,4	0,31	0,31	0,51	0,14	0,31	2,26	0,09	0,25	0,12	0,34	0,35	0,72	0,34	
	Noviembre	3,39	32,42	2,93	0	0,1	1,04	0,06	0,03	29,65	4,03	0,13	0,14	0,96	0,39	0,05	0,02	1,17	2,79	0,07	0,08	0,03	3,09	0,09	0,1	0,06	0,33	0,44	0,23	0,08	0,12	0,0	0,17	0,89	0,86	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,09
Diciembre	0,13	0,11	0,08	0,05	0,08	0,1	0,1	0,04	0,12	2,35	0,55	0,05	0,21	0,06	0,07	0,04	0,1	0,07	0,06	0,09	0,05	0,36	0,14	0,08	0,0	0,0	0,04	0,03	0,12	0,05	0,07	0,08	0,91	0,04	0,03	0,04	0,01	1,85	0,1	0,05	
2024	Enero	0,08	1,72	0,06	0,05	0,03	0,86	0,09	0,05	0,07	4,6	4,69	0,04	0,45	0,07	0,03	0,03	0,06	0,04	0,09	0,14	0,04	2,29	0,11	0,07	0,1	0,07	0,06	0,07	0,12	0,05	0,2	0,14	1,07	0,16	0,17	0,05	0,08	0,06	0,11	0,07
	Febrero	0,21	2,22	0,17	0,08	0,41	0,94	0,08	0,20	3,68	3,86	1,48	0,05	0,72	0,05	0,10	0,07	0,06	0,13	0,17	0,10	0,02	1,02	0,30	0,10	0,02	0,04	0,16	0,14	0,11	0,06	0,06	0,13	1,01	0,10	0,15	0,14	0,11	0,01	0,08	0,13
	Marzo	0,12	2,28	0,06	0,06	0,08	0,76	0,1	0,07	4,25	4,75	2,5	0,11	0,55	0,08	0,13	0,06	0,09	0,07	0,11	0,03	0,06	2,00	0,06	0,09	0,1	0,2	0,08	0,14	0,1	0,07	0,02	0,12	0,77	0,11	0,08	0,31	0,04	0,05	0,09	0,88
	Abril	0,08	2,7	0,22	0,2	0,2	1,98	11,97	0,24	2,68	3,1	1,74	3,08	0,39	1,01	0,24	0,08	1,66	0,05	0,26	0,21	0,29	1,9	0,33	0,91	0,22	0,06	0,11	0,15	0,13	0,14	0,42	0,25	0,79	0,22	0,26	0,17	0,22	0,16	0,3	0,25
	Mayo	9,53	0,63	0,17	0,1	3,43	16,71	4,04	0,92	3,0	3,73	1,75	0,19	1,19	3,53	6,39	3,61	3,63	1,71	4,87	1,12	0,35	6,96	0,19	0,59	1,45	1,8	0,12	1,04	9,17	1,28	0,63	8,48	0,63	0,44	6,42	0,27	0,05	2,12	0,05	0,27
	Junio	0,43	2,97	0,27	0,22	0,01	1,95	0,1	0,08	2,94	4,45	1,44	0,06	0,47	0,01	0,07	0,21	0,07	0,27	0,11	0,23	0,16	1,03	0,23	0,03	0,14	0,23	0,12	0,01	0,2	0,08	0,18	0,12	0,14	0,17	0,01	0,11	0,09	0,1	0,15	0,05
Mínimo		0,05	0,11	0,06	0,0	0,01	0,08	0,04	0,03	0,07	0,06	0,0	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,06	0,03	0,02	0,16	0,0	0,02	0,0	0,04	0,01	0,04	0,05	0,0	0,07	0,07	0,03	0,0	0,0	0,01	0,01	0,05	0,05	
Máximo		9,53	9,22	5,75	3,02	4,18	4,93	4,92	8,96	6,48	10,51	4,69	3,08	5,68	4,07	6,39	3,61	3,76	5,91	8,2	1,96	5,34	6,96	1,5	2,81	2,94	3,27	3,68	3,6	9,17	4,42	6,18	8,48	5,9	8,12	6,42	4,65	13,64	3,04	3,49	3,91

Tabla 6-4. CHS en individuos de *Neltuma alba* con y sin sistema de riego, periodo febrero 2022 – junio 2024

Sistema	Con riego*											Sin riego																												
Individuo	A12	A17	A31	A33	A36	A38	A46	A47	C15	C19	AX01	A05	A10	A27	A51	A54	A70	A71	B02	B03	B04	B15	B21	C34	C41	C45	C51	C54	C58	C66	C72	C77	D02	D07	D10	D14	D20	D26	D29	D43
Promedio	1,15	2,87	0,85	0,51	0,93	1,50	0,99	1,33	2,67	3,64	1,10	0,78	1,43	0,89	0,89	0,82	0,92	0,86	0,92	0,46	0,68	2,02	0,38	0,72	0,66	0,71	0,78	0,82	0,92	0,90	0,81	1,47	1,10	0,75	0,87	0,81	0,98	0,83	0,84	1,13

\*El sistema de riego se implementó en noviembre de 2022, sin embargo, se comenzó a medir en diciembre 2022.

Fuente: elaboración propia

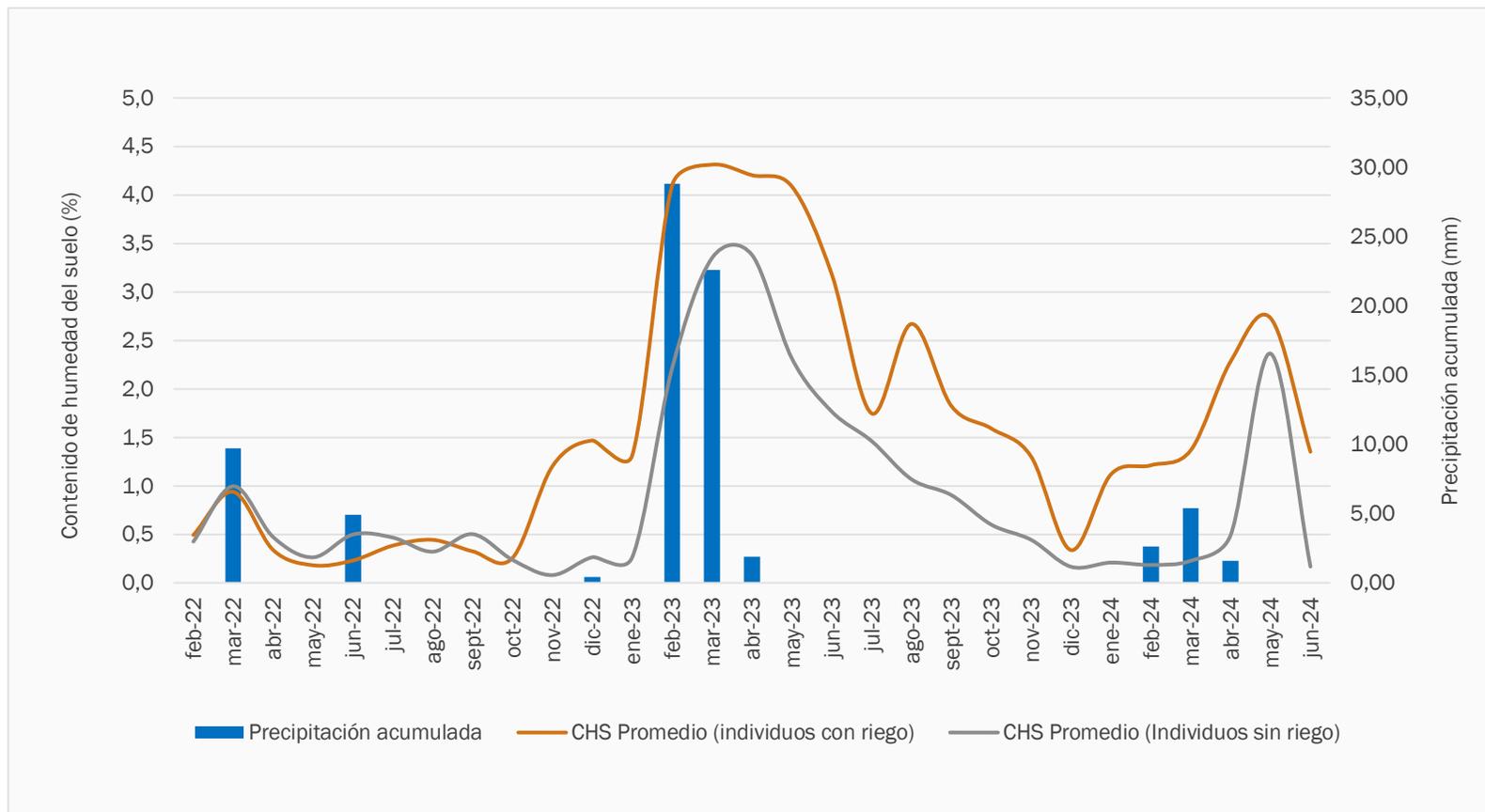
La Figura 6-33 muestra la variación del promedio del CHS de los individuos con y sin sistema de riego en el tiempo y su relación con las precipitaciones durante todo el periodo estudiado. El valor promedio máximo alcanzado en los individuos con riego (desde diciembre 2022 a junio de 2024) se observó en marzo de 2023 con un 4,31% de CHS, mientras que el valor promedio máximo en los individuos sin riego (desde diciembre de 2022 a junio de 2024) se registró en abril de 2023 con una humedad del 3,38%. El valor promedio mínimo alcanzado en los individuos con sistema de riego fue de 0,34% y se registró en diciembre de 2023, mientras que en los individuos sin sistema de riego fue de 0,17% y también se registró en diciembre de 2023.

Si bien el aumento en los valores de CHS tuvo históricamente una estrecha relación con las precipitaciones, luego de la implementación del sistema de riego se registran valores altos y un aumento del CHS promedio general que se relacionan directamente con el riego. Este hecho sumado a las precipitaciones registradas en febrero, marzo y abril de 2023 son determinantes para el registro de los promedios máximos históricos obtenidos precisamente durante esas fechas. Se observa también que la magnitud de las precipitaciones ocurridas en febrero y marzo de 2023, mantuvieron el suelo húmedo por varios meses, lo que se verifica al observar la disminución gradual del CHS que registraron los individuos sin sistema de riego en los meses posteriores a estas lluvias (ver Figura 6-33). Durante el primer semestre de 2024 solo se registraron precipitaciones en febrero, marzo y abril de 2024, con una precipitación acumulada mensual de 2,60, 5,40 y 1,60 mm respectivamente<sup>33</sup>. Las precipitaciones observadas durante este semestre fueron inferiores a las registradas en el primer semestre de 2023, lo que desencadenó una disminución del CHS promedio tanto de los individuos con y sin sistema de riego en todos los meses de monitoreo.

---

<sup>33</sup> Para más información, consultar en Informe Estado de Hídrico en Algarrobo en la Quebrada de Camar, Fundación Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, Abril de 2024.

Figura 6-33. Variación mensual del contenido de humedad de suelo en individuos de *Neltuma alba* con y sin sistema de riego, febrero 2022 – junio 2024



\*En diciembre de 2022 comienza la ejecución del sistema de riego en los puntos de monitoreo de los individuos A-12, A-17, A-31, A-33, A-36, A-38, A-46, A-47, AX-01, C-15 y C-19.

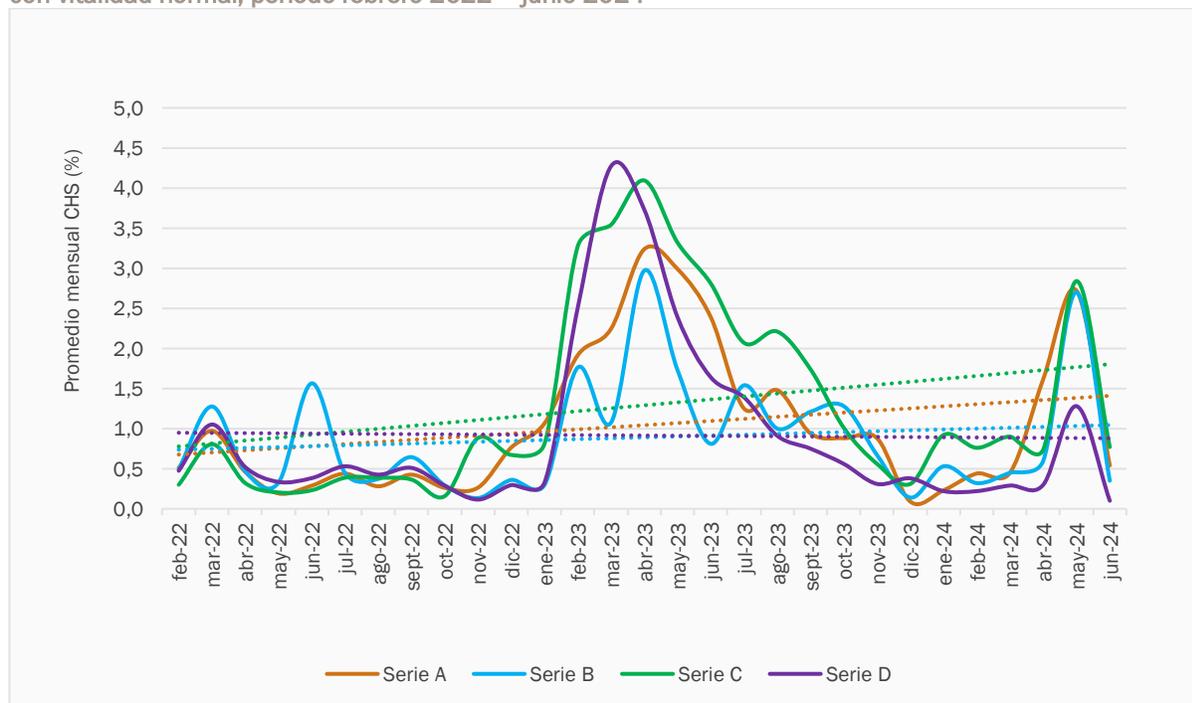
Fuente: Elaboración propia

6.4.1.2 Evolución temporal del CHS a nivel de series

La Figura 6-34 muestra la variación mensual en el promedio de CHS por cada serie. En general, se observa un aumento en el promedio de CHS en todas las series entre febrero y marzo de 2023, debido a las precipitaciones. Para todas las series monitoreadas, se aprecian los máximos históricos en abril del año 2023, salvo en la serie D donde el máximo se observó en marzo del mismo año. Esto se explica por las precipitaciones ocurridas entre febrero y marzo del 2023.

En general, todas las series (A, B, C y D) disminuyeron su promedio respecto al primer semestre de 2023. Lo anterior, como ya se ha señalado anteriormente, se explica por la diferencia en los eventos de precipitaciones, los que fueron más frecuentes y superiores en magnitud en el año 2023.

Figura 6-34. Contenido de humedad del suelo mensual versus proporción de individuos de *Neltuma alba* con vitalidad normal, periodo febrero 2022 – junio 2024



Fuente: elaboración propia

### 6.4.1.3 Relación del CHS y el estado vital normal de los individuos con y sin riego

La Figura 6-35 muestra el CHS promedio de los individuos con sistema de riego (11 individuos) y sin sistema de riego (29 individuos), y el porcentaje de individuos con vitalidad Crecimiento normal desde diciembre de 2022 hasta junio de 2024. En el caso de los individuos con sistema de riego que se categorizan en Crecimiento normal, estos fluctúan durante todo el primer semestre de 2023, registrando el valor mínimo en febrero 2023 con un 45,45% (5 individuos). En el segundo semestre de 2023 se comienza a observar una menor variación, registrándose un valor máximo de 100% (11 individuos) en octubre de 2023, valor que se mantiene hasta diciembre de 2023. En el primer semestre de 2024, en los monitoreos de febrero a abril de 2024, se registró un total de 11 individuos (100%) con vitalidad Crecimiento normal. En el monitoreo de mayo de 2024, este número desciende a 9 individuos (81,82%), valor que se muestra sin variaciones hasta junio de 2024. Sin embargo, en junio de 2024 se registra una disminución respecto a mayo de 2024 en el valor promedio del CHS con un diferencial de 1,38%.

Para verificar estadísticamente la relación entre el contenido de humedad del suelo y la vitalidad de los individuos con sistema de riego, se realizó la prueba de significancia de la pendiente (test t), con un nivel de confianza del 95% (valor  $p = 0,05$ ). Esta prueba indicó que la pendiente de la recta que describe la relación entre ambas variables no es significativa, ya que el valor de probabilidad calculado con los datos es inferior al valor  $p$  establecido (probabilidad= 0,52 vs valor  $p=0,05$ ); por lo tanto, se podría inferir que no existe una relación lineal significativa entre la variable independiente  $x$  (CHS) y la variable dependiente  $y$  (N° de individuos normales). Si la pendiente es cero, el cambio en el CHS no afecta en la cantidad de ejemplares normales, por lo tanto, los cambios observados en la población se podrían atribuir al azar.

En el caso de los individuos sin sistema de riego que registran Crecimiento normal, se observa un valor mínimo de 6,90% (2 individuos) en enero de 2023, mientras que el máximo reportado es 48,28% (14 individuos) registrado en abril de 2023. Al observar los datos, se podría inferir que el número de individuos con vitalidad normal aumenta cuando aumenta el CHS debido a eventos de precipitaciones. Esto ya que el mayor porcentaje de individuos con vitalidad Crecimiento normal se registró precisamente en el valor máximo promedio de CHS (4,31%) registrado en abril de 2023, luego de los eventos de precipitaciones registrados en febrero y marzo de 2023. En el presente año, el mayor número de individuos con vigor normal se registra en marzo de 2024 (41,38% del total de individuos sin riego), luego de los eventos de precipitaciones que se reportan en febrero y marzo de 2024<sup>34</sup>. En el monitoreo de mayo de 2024, el número de individuos en Crecimiento normal desciende a 9 (31,03% del total), disminuyendo nuevamente en el presente monitoreo a 5 individuos (17,24%).

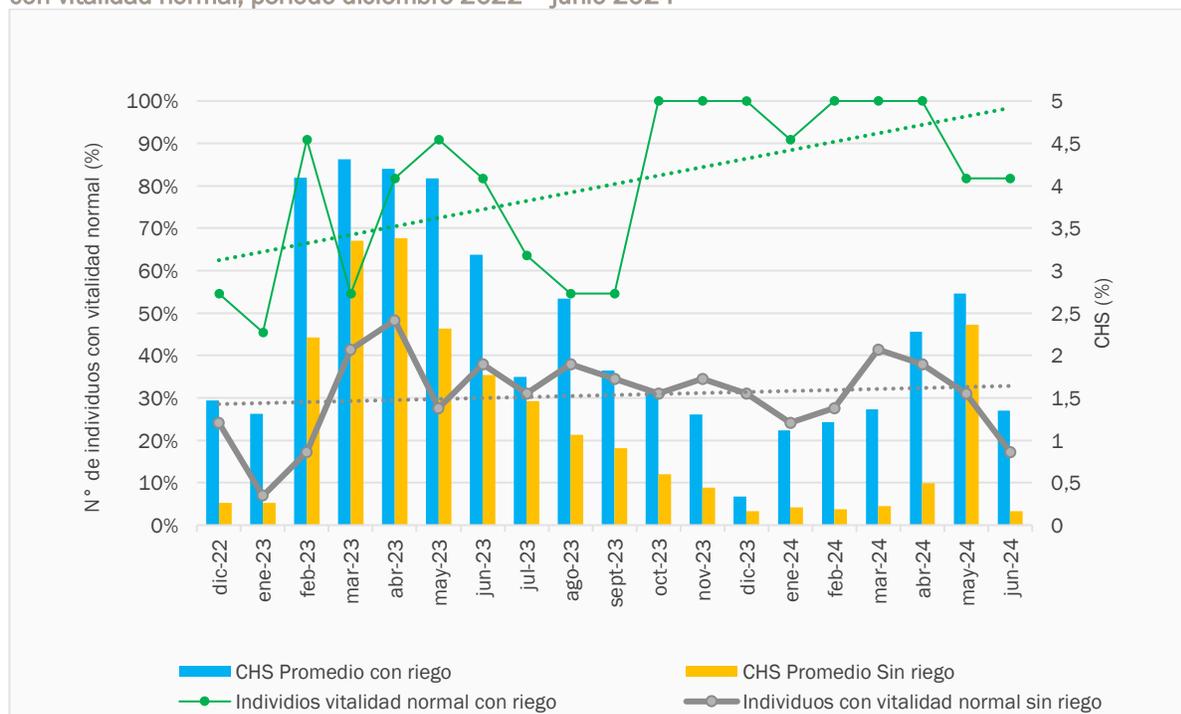
Para verificar estadísticamente la relación entre el contenido de humedad del suelo y la vitalidad de los individuos sin sistema de riego, se realizó la prueba de significancia de la pendiente (test t), con un nivel de confianza del 95% (valor  $p = 0,05$ ). Esta prueba indicó que la pendiente de la recta que describe la relación entre ambas variables no es significativa, ya que el valor de probabilidad calculado con los datos es inferior

<sup>34</sup> Para más información revisar en SQM en línea, <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. [www.agrometeorologia.cl](http://www.agrometeorologia.cl)

al valor p establecido (probabilidad= 0,08 vs valor p=0,05); por lo tanto, se podría inferir que no existe una relación lineal significativa entre la variable independiente x (CHS) y la variable dependiente y (N° de individuos normales). Si la pendiente es cero, el cambio en el CHS no afecta en la cantidad de ejemplares normales, por lo tanto, los cambios observados en la población se podrían atribuir al azar.

Lo anterior indicaría que la vitalidad de los individuos con y sin riego no depende del comportamiento del CHS, o que este parámetro por sí solo no explicaría las fluctuaciones en la cantidad de individuos normales en el periodo diciembre 2022 – junio 2024. La vitalidad es una variable cualitativa, la cual depende del criterio del profesional a cargo de la medición; además, de las condiciones ambientales y las etapas fenológicas de cada individuo (Allen et al. 2005), e incluso por la severidad del daño animal o antrópico que podría afectar a las plantas. Estos factores, hacen que sea esperable que las variaciones en la vitalidad de los individuos a lo largo de un año no se relacionen directamente con solo un parámetro de medición.

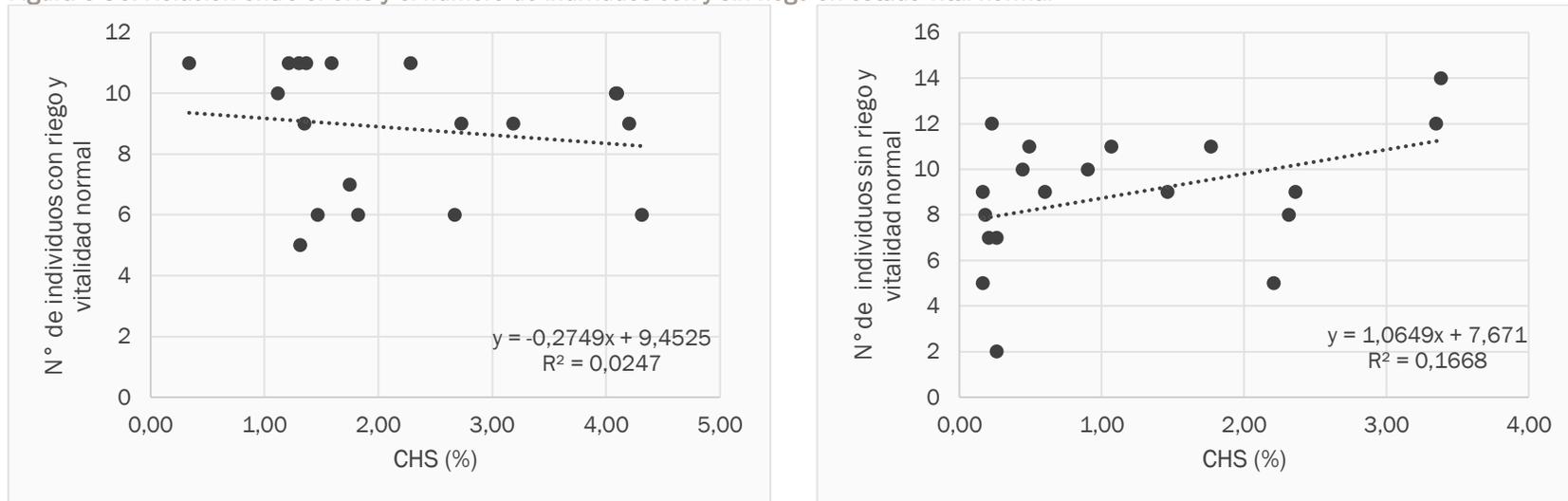
Figura 6-35. Contenido de humedad del suelo mensual versus proporción de individuos de *Nettuma alba* con vitalidad normal, periodo diciembre 2022 – junio 2024



\*En diciembre de 2022 comienza la ejecución del sistema de riego en los puntos de medición de los individuos A-12, A-17, A-31, A-33, A-36, A-38, A-46, A-47, AX-01, C-15 y C-19.

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-36. Relación entre el CHS y el número de individuos con y sin riego en estado vital normal



Fuente: Elaboración propia

### 6.4.2 Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE

Los resultados dan cuenta que los atributos del suelo (pH, Conductividad eléctrica y contenido de humedad del suelo), presentan variaciones de acuerdo con la distribución espacial del monitoreo dentro de la quebrada de Camar. De esta manera, en los puntos ubicados en el borde este 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 se han detectado valores elevados de pH, los que han variado entre 8,5 a 8,9 unidades de pH, aumentando con la profundidad del suelo 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.

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.

En la Figura 6-37 se muestra la variación trimestral en el contenido de humedad del suelo desde julio 2022 hasta la fecha (abril 2024). Se observa que, al comparar el contenido de humedad del suelo, el promedio más bajo de CHS registrado en el borde este fue durante en enero 2023 (1,52%) mientras que el promedio más alto se registró en abril 2023 (6,57%). Respecto a los puntos ubicados en el cono aluvial, donde se esperan valores más bajos que en el borde este, el promedio más alto también se registró en abril 2023 con un 2,53%, mientras que el promedio más bajo se registró en enero 2023 con un 0,18%.

Al comparar los resultados de abril de 2024 con el reporte de enero 2024, se observa una disminución en el CHS en el 52,38% de los puntos (22 estaciones de muestreo). Esto podría estar relacionado con la baja disponibilidad hídrica debido a la estacionalidad. El promedio de contenido de humedad de suelo en los puntos del borde este del salar pasó de 2,73% (enero de 2024) a 1,87 (abril de 2024), es decir, hubo una disminución de 0,32%. Por otra parte, el promedio de contenido de humedad de suelo en los puntos del cono aluvial pasó de 0,25% (enero de 2024) a 0,32% (abril de 2024), es decir, aumentó en un 0,07%. La disminución en el promedio para el trimestre actual puede estar relacionada con la escasez de precipitaciones desde abril 2023 (donde se registró un promedio de 53,30 mm). A pesar de que en el trimestre de abril 2024 se

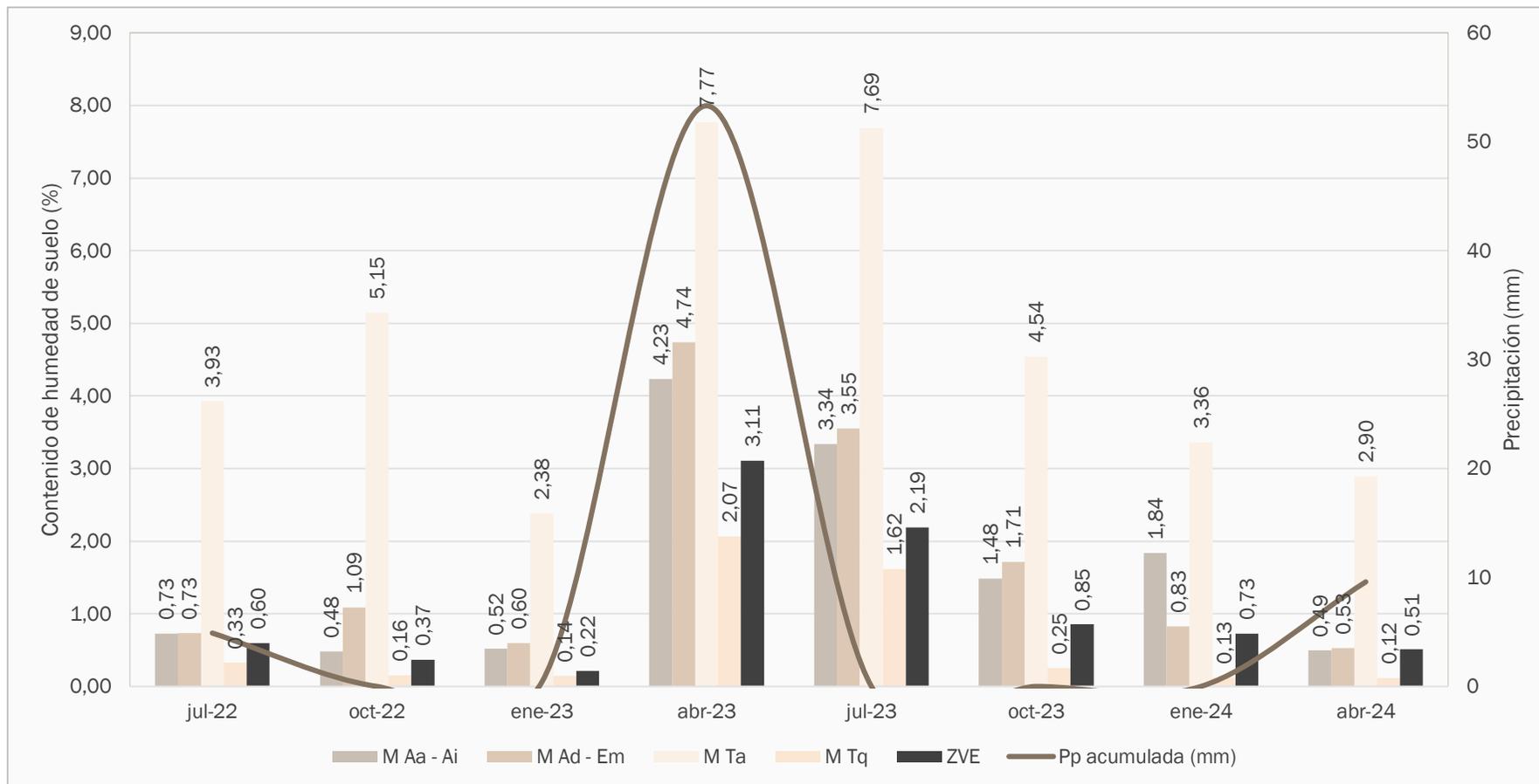
registraron precipitaciones, éstas fueron leves (9,6 mm) y no se reflejaron en un aumento del CHS con respecto al monitoreo anterior<sup>35</sup>.

En cuanto a la distribución espacial del CHS, podemos ver que los mayores valores se encuentran siempre en el matorral de *Tessaria absinthioides*, seguido en la mayor parte de los monitoreos, por el matorral de matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora*. Esto puede deberse a que estas formaciones se encuentran en el sector del borde este, aguas abajo en la quebrada. Es de esperar también, que la vegetación tenga un efecto positivo en el CHS, generando sombra y disminuyendo así, la transpiración del suelo (Junjun Ni *et al.*, 2019). En esta misma línea, en la mayoría de los monitoreos (todos salvo abril 2024), las zonas de vegetación escasa y el matorral de *Tiquilia atacamensis* presentan los menores valores de CHS, lo cual tiene concordancia con el análisis anterior, ya que, las zonas de vegetación escasa poseen una cobertura vegetal inferior al 5% y el matorral de *Tiquilia atacamensis* tiene en su mayoría una cobertura rala (ver Tabla 5-11), y se trata de una planta pequeña que no genera mucha sombra.

---

<sup>35</sup> SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. <https://www.agrometereologia.cl>

Figura 6-37. Variación histórica en el contenido de humedad del suelo (%) en los tipos vegetacionales de la quebrada Camar



M Ad - Em =Matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora*; M Aa - Ai = Matorral de *Atriplex atacamensis*; - *Atriplex imbricata*; M Tq = Matorral de *Tiquilia atacamensis*; M Ta = Matorral de *Tessaria absinthioides*; ZVE = Zona de vegetación escasa

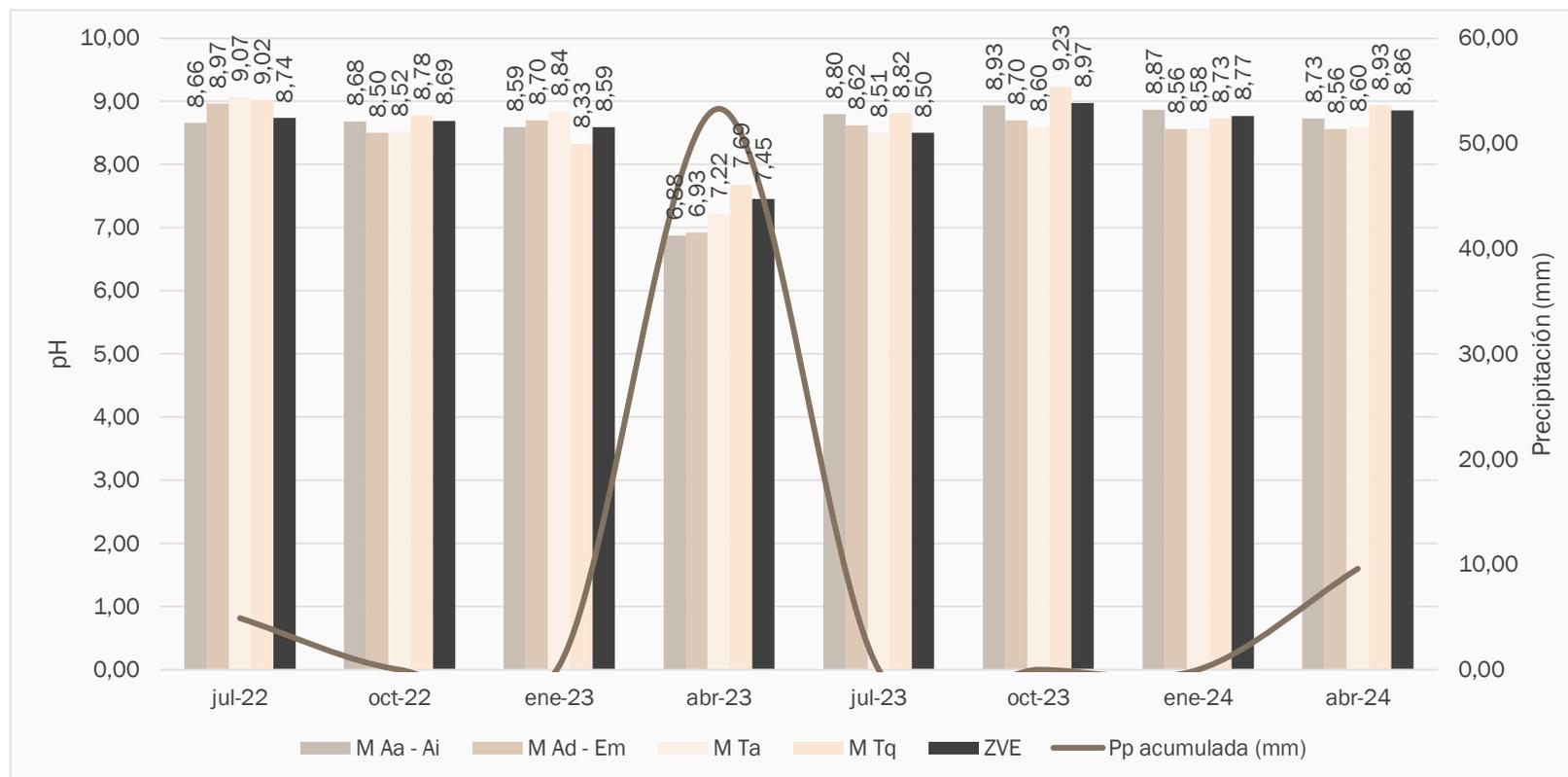
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-38 se presentan los resultados históricos de las mediciones de pH en la quebrada Camar. Al respecto, se puede ver que los valores promedio de pH en los distintos tipos vegetacionales son relativamente homogéneos y no presentan mayores variaciones, encontrándose la mayoría entre 8,4 y 9, lo que corresponde a la categoría Fuertemente alcalino, y en algunos casos, superior 9 (Muy fuertemente alcalino). Llama la atención el caso de abril 2023, en donde el pH fue considerablemente menor, presentando la mayoría de sus registros en las categorías neutro y ligeramente alcalino. Este abrupto cambio puede tener relación con los eventos de precipitación ocurridos en febrero y marzo de 2023, los cuales generaron un aumento en el contenido de humedad de suelo. Este aumento pudo diluir las sales y reducir la concentración de iones  $H^+$  y  $OH^-$ , conduciendo a que el pH del suelo salino tienda hacia la neutralidad a medida que aumenta la humedad (Robinson *et al.*, 2008).

Respecto del monitoreo anterior (enero 2024), el pH promedio aumentó en un 0,04. Este aumento se debe a que en todos los tipos a excepción del matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata* aumentaron su pH promedio.

En cuanto a la variación por tipo vegetacional del pH en la quebrada Camar, se observa que 3 de los 8 monitoreos registrados a la fecha, el matorral de *Aloysia deserticola* – *Ephedra multiflora* presentó los menores valores promedio de pH. Por otro lado, el matorral de *Tiquilia atacamensis* presentó los mayores valores promedio de pH en 5 de los 8 monitoreos. La mayor diferencia en los promedios por tipo fue de 0,60 en el monitoreo de abril 2023, entre el matorral de *Tiquilia atacamensis* y el matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata*. A partir de esta baja variación histórica, tanto temporal como espacial, se podría inferir una alta homogeneidad de la variable pH en los suelos de la quebrada Camar.

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



M Ad - Em = Matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora*; M Aa - Ai = Matorral de *Atriplex atacamensis*; - *Atriplex imbricata*; M Tq = Matorral de *Tiquilia atacamensis*; M Ta = Matorral de *Tessaria absinthioides*; ZVE = Zona de vegetación escasa

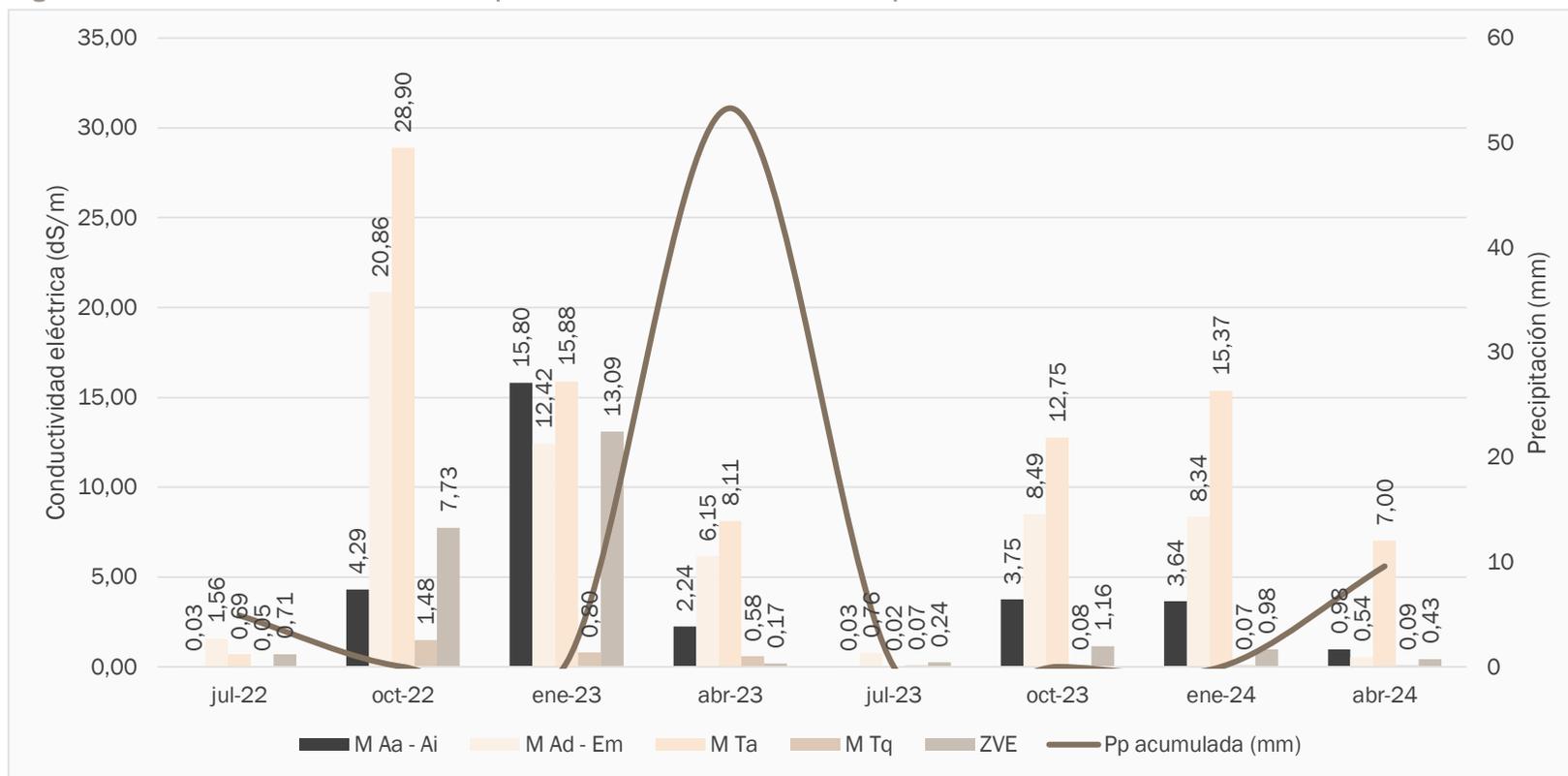
Fuente: elaboración propia

En la Figura 6-39 se observa una variación en la proporción de puntos de monitoreo de conductividad eléctrica y grado de salinidad promedio por tipo vegetacional para todos los monitoreos realizados desde julio de 2022. Con respecto al monitoreo pasado (enero 2024), se observa una disminución en la totalidad de los tipos vegetacionales evaluados, ubicándose todos entre las categorías No salino y Fuertemente salino. Los valores más bajos se presentaron históricamente en los trimestres de abril y julio, siendo el más bajo en julio de 2023, donde los registros de todos los tipos vegetacionales, excepto el matorral de *Tessaria absinthioides* y el matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata*, se encontraron dentro de la categoría No salino. Esta condición puede estar relacionada con las precipitaciones ocurridas durante el trimestre anterior (abril 2023), que pueden haber tenido un efecto negativo en la conductividad eléctrica, ya que la precipitación puede disolver y movilizar las sales presentes en el suelo, llevándolas más profundo, fuera del alcance de medición de las muestras de suelo (45 cm) (Robinson *et al.*, 2008).

En cuanto a la distribución espacial de la salinidad, los mayores valores se concentran en los matorrales de *Tessaria absinthioides*, que, principalmente se ubican en el sector del Borde este. Lo anterior es esperable respecto al gradiente de salinidad, el cual disminuye a medida que la distancia hacia el núcleo del salar aumenta. 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.

Los resultados de salinidad guardan estrecha relación con los de CHS, y demuestran el mismo comportamiento temporal, con valores máximos en los meses de otoño e invierno, y valores mínimos en primavera verano. Esto se debe a que cuando el suelo está húmedo, hay más agua y, por lo tanto, más sales disueltas, lo que aumenta la conductividad eléctrica, lo que indica mayor salinidad. Por el contrario, cuando el suelo está seco, hay menos agua y menos sales disueltas, lo que resulta en una menor conductividad eléctrica (Malicki *et al.*, 1999).

Figura 6-39. Variación en la salinidad de los puntos de monitoreo de suelo en la quebrada de Camar



M Ad - Em =Matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora*; M Aa - Ai = Matorral de *Atriplex atacamensis*; - *Atriplex imbricata*; M Tq = Matorral de *Tiquilia atacamensis*; M Ta = Matorral de *Tessaria absinthioides*; ZVE = Zona de vegetación escasa

Fuente: elaboración propia

## 6.5 Relación entre variables

### 6.5.1 Algarrobos

En esta sección se analizarán de forma conjunta las variables más relevantes medidas sobre la población de Algarrobos presente en la quebrada de Camar. Los parámetros vitalidad, fisiología de algarrobos, biomasa y parámetros del suelo, se consideran variables clave de la dinámica de la población de algarrobos que se desarrolla en el sector.

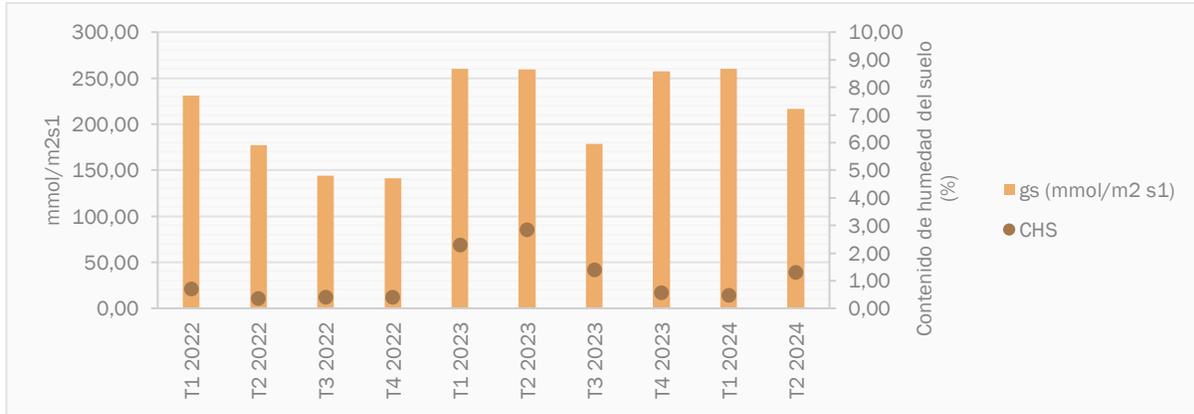
La vitalidad o vigor se refiere a la capacidad de crecimiento, desarrollo y resistencia a factores ambientales adversos que posee un individuo vegetal (Castañeda, *et al.*, 2004), y se evalúa a través de una inspección visual. Por su parte, los parámetros fisiológicos, aportan información cuantitativa sobre los procesos vitales que ocurren en las plantas, para evaluarlos se mide conductancia estomática, potencial hídrico en pre-alba y medio día. Respecto a la biomasa, corresponde a la cantidad total de materia orgánica producida por un organismo en un tiempo determinado, en el caso de las plantas, puede referirse a la masa seca de raíces, tallos, hojas y frutos, y se utiliza para evaluar el crecimiento y productividad vegetal (Garzuglia y Saket, 2003). Por su parte, el contenido de humedad del suelo (CHS): es la cantidad de agua presente en el suelo en un momento dado. Influye en la disponibilidad de agua para las plantas y en procesos como la germinación y la absorción de nutrientes (Shaxson y Barber, 2005). Se mide en porcentaje, comparando la masa de agua con la masa total del suelo seco.

Los datos históricos comparables comienzan a partir del primer trimestre del 2022, que es el momento donde los monitores se estandarizan.

Para el periodo 2022 - 2024 (primer y segundo trimestre), los datos de fotosíntesis (conductancia estomática -  $\text{mmol/m}^2 \text{s}^{-1}$ ), muestran fluctuaciones estacionales claras (Figura 6-40). Donde los valores más altos se observan en los primeros trimestres de cada año, con un máximo en el primer trimestre de 2024 ( $260,15 \text{ mmol/m}^2 \text{s}^{-1}$ ), mientras que los valores más bajos ocurren en los terceros trimestres. Por su parte, el potencial hídrico pre-alba y medio día, siguen una tendencia similar (Figura 6-41), indicando estrés hídrico más pronunciado en los segundos y terceros trimestres del año. Estos comportamientos, parecen estar relacionados con el CHS, dado que tienden a mejorar cuando este es mayor (Figura 6-40 y Figura 6-41),

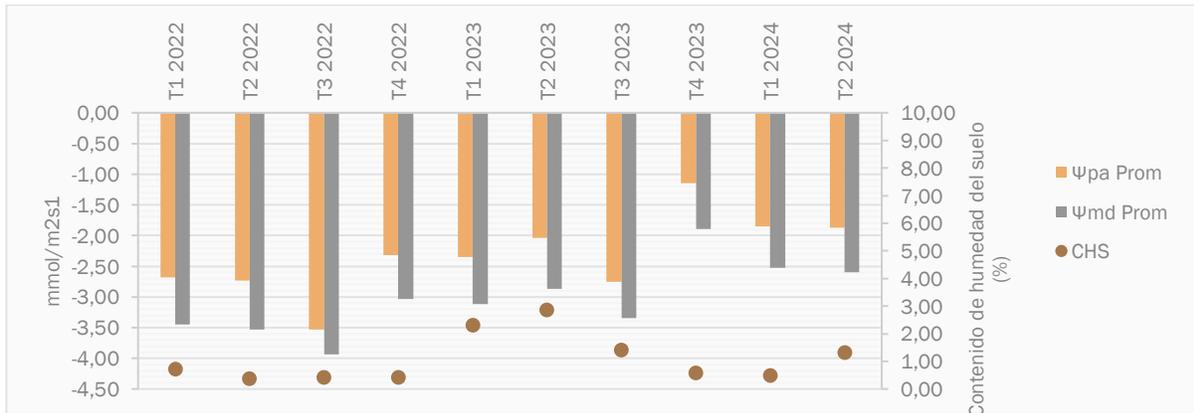
A su vez, el contenido de humedad del suelo (CHS), se muestra variable en el tiempo, pero con un valor significativo en el segundo trimestre de 2023 (2,86%), valor que coincide con un previo periodo de altas precipitaciones en el salar de Atacama (Figura 6-42), indicando que los eventos de precipitaciones estivales tienen influencia directa en los suelos y por ende en las plantas que aprovechan esta agua superficial, como es el caso de la población de algarrobos (CRYCYT, 2018).

Figura 6-40. Conductancia estomática y Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024



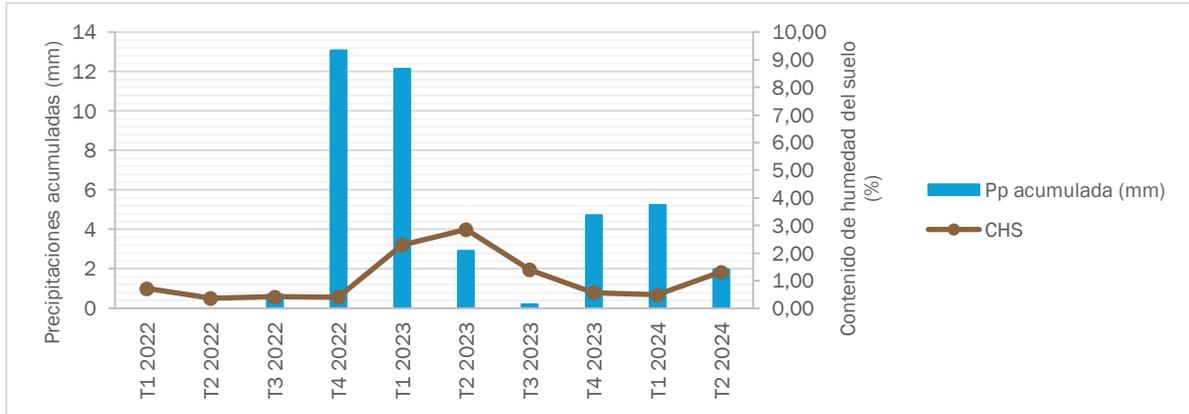
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-41. Potencial hídrico promedio en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) y medio día ( $\Psi_{md}$ ), y su relación con el Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024



Fuente: Elaboración propia

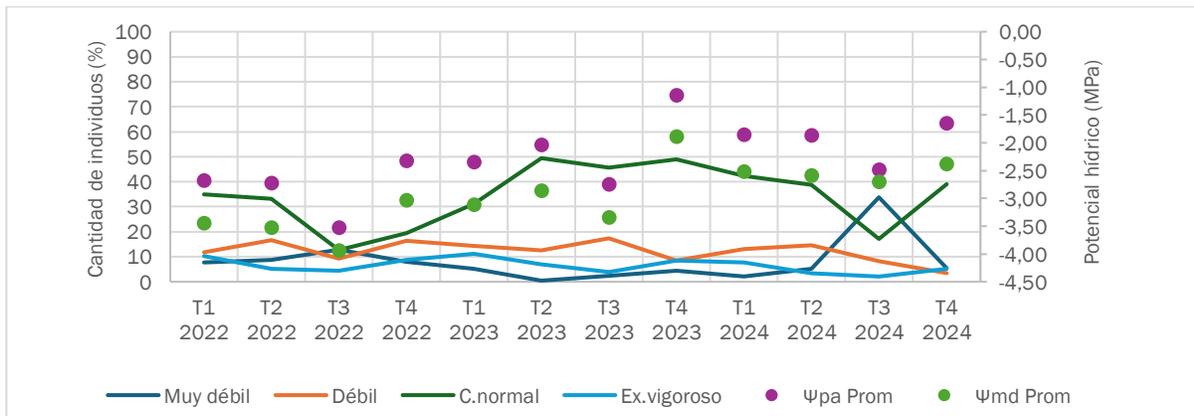
Figura 6-42. Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre y precipitaciones acumuladas, en el periodo 2022 - 2024



Fuente: Elaboración propia

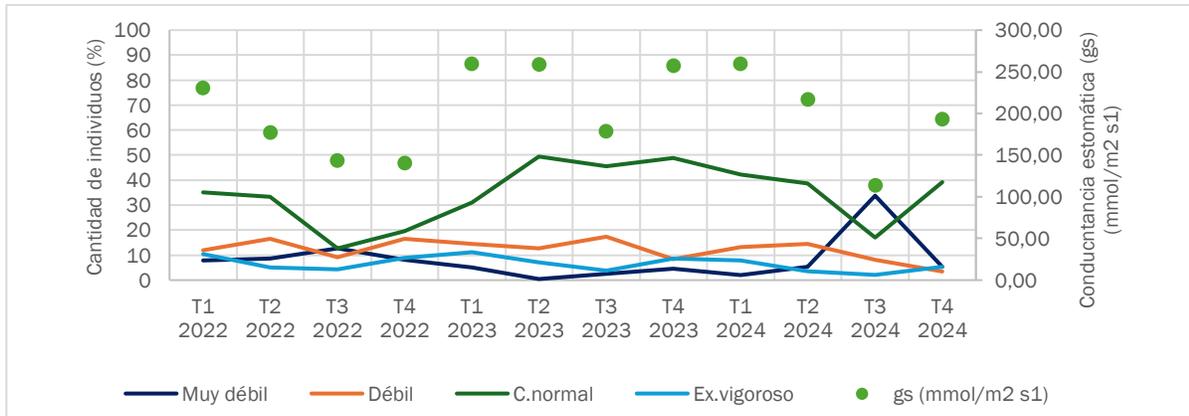
Respecto a la clasificación del vigor de los individuos (Figura 6-43 y Figura 6-45), se aprecia que a través de los monitoreos la categoría de Crecimiento normal aumenta considerablemente, alcanzando un máximo de 49,42% promedio en el segundo trimestre de 2023. Mientras que los individuos Muy débiles muestran cierta variabilidad, pero sin un incremento drástico. Los ejemplares Débiles, presenta una tendencia a la baja, lo que podría indicar una transición hacia estados de mayor vigor, mientras que la categoría excepcionalmente vigoroso se mantiene relativamente bajo pero estable. Estos resultados podrían indicar una mejora en el vigor general de los individuos, a pesar de las condiciones climáticas extremas que se dan en el desierto de Atacama. Al relacionar estos resultados con otras variables, se aprecia que en los períodos donde el potencial hídrico en pre-alba y medio día son menos negativos, el potencial hídrico es mayor y el CHS aumenta, existe una disminución en las categorías de vigor más bajas y un aumento en los individuos clasificados con Crecimiento normal y Excepcionalmente vigorosos (Figura 6-43, Figura 6-45 y Figura 6-45).

Figura 6-43. Potencial hídrico promedio en pre-alba ( $\Psi_{pa}$ ) y medio día ( $\Psi_{md}$ ), y su relación con el vigor de los algarrobos por trimestre, en el periodo 2022 - 2024



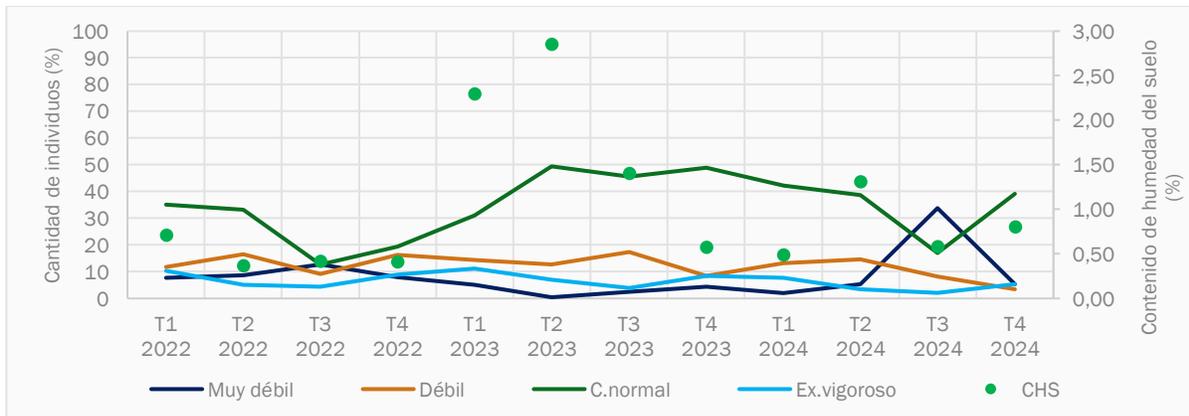
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-44. Conductancia estomática (gs) y su relación con el vigor de los algarrobos por trimestre, en el periodo 2022 - 2024



Fuente: Elaboración propia

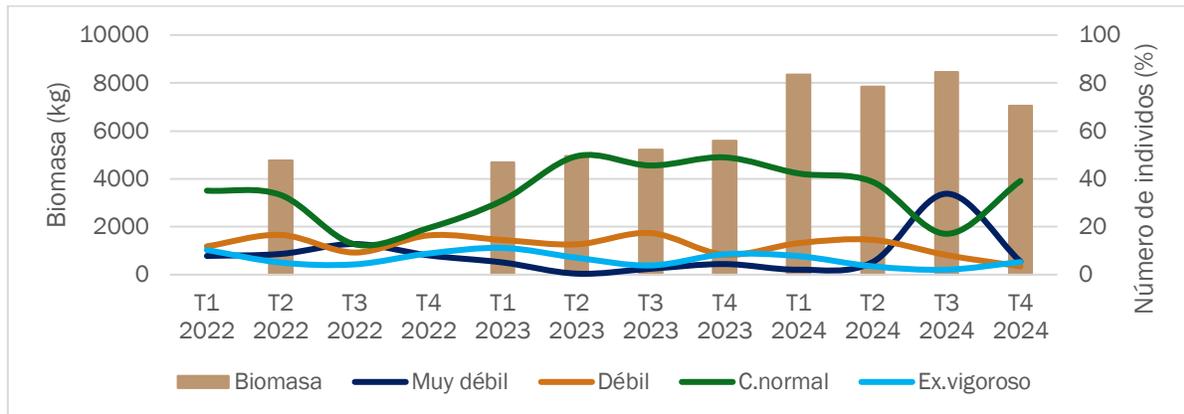
Figura 6-45. Vitalidad de los Algarrobos y su relación con el Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en el periodo 2022 - 2024 se aprecia un crecimiento constante de la biomasa de la población, a la vez que los individuos con crecimiento normal aumentan. La biomasa no parece haberse visto afectada con la baja en vitalidad en el tercer trimestre del 2024, indicando que para este periodo, aunque los individuos bajaran a la categoría Muy débil, mantuvieron su biomasa relativamente constante. Lo que puede relacionarse con la distribución de la biomasa de estos árboles, que a nivel de proporciones es mayor en el fuste y ramas y, en menor medida en hojas. Durante el periodo estudiado, la biomasa paso de 4.756,79 kg en el segundo trimestre de 2022 a un máximo de 8.357,96 kg en primer trimestre de 2024.

Figura 6-46. Biomasa de la población de algarrobos y vigor de los individuos en el periodo 2022 - 2024



Fuente: Elaboración propia

### 6.5.2 Vegetación

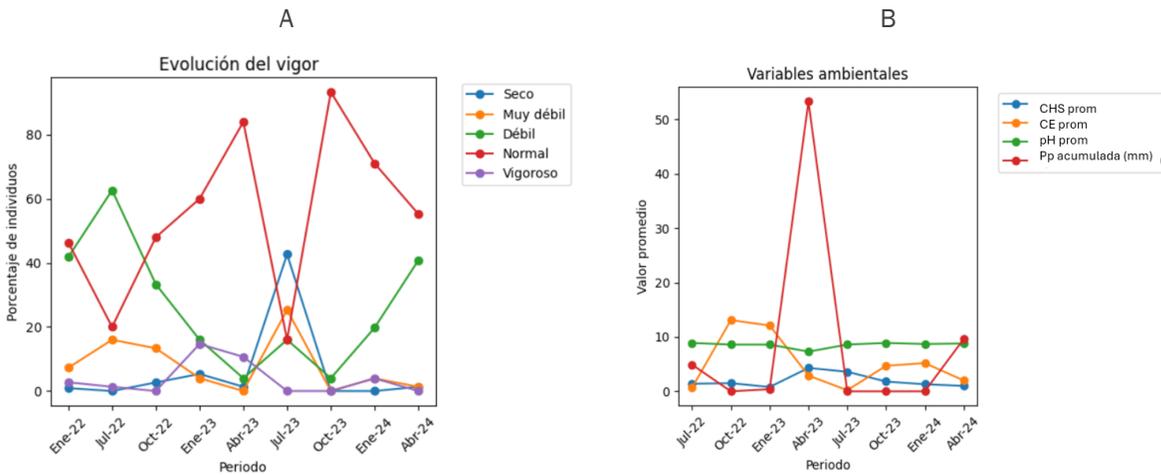
En cuanto a las interacciones de las variables medidas sobre las unidades de vegetación, en esta sección se analiza de forma separada el vigor de estas unidades y la riqueza de especies presentes en ellas, en conjunto con los resultados de las mediciones de pH, conductividad eléctrica y contenido de humedad del suelo, así como también, con datos de precipitaciones.

Varios autores, destacan que, en climas desérticos, como es el caso del Salar de Atacama, la vegetación experimenta variaciones estacionales notables, las que están estrechamente ligadas a las precipitaciones estacionales, estos eventos, pueden desencadenar respuestas significativas en las plantas, promoviendo brotes y floraciones en especies adaptadas a estas condiciones extremas (Pliscoff, *et al.* 2017). En este sentido, los resultados se ajustan a esta afirmación, dado que se observa una clara influencia de las condiciones ambientales en el vigor de las unidades de vegetación, destacando un aumento en abril de 2023 (Figura 6-47 A), el cual parece estar relacionado con un incremento en las precipitaciones acumuladas, así como un mayor contenido de humedad del suelo (Figura 6-47 B).

En contraste, se destaca la baja significativa del vigor en julio del año 2023 (Figura 6-47 A), la que coincide con un marcado aumento de individuos catalogados como Secos y Muy débiles y con la época de receso vegetativo de las plantas en invierno (Muñoz y Bonacic, 2006), por lo cual esta baja en vigor se considera esperable en esa época del año. Por otra parte, los valores elevados de conductividad eléctrica observados en los cuartos trimestres (octubre de 2022 y 2023), podrían relacionarse con la disminución del vigor, ya que altos niveles de CE suelen indicar acumulación de sales en el suelo, lo que inhibe la absorción de agua y nutrientes, aumentando el estrés hídrico en las plantas (Sambo *et al.*, 2019).

Por otro lado, el pH del suelo se mantiene relativamente estable, aunque se observa una ligera tendencia a la acidez en abril de 2023 (7,3), lo que podría haber favorecido a la recuperación del vigor en ese periodo (Carrasco, *et al.* 2007).

Figura 6-47. Evolución del vigor y las variables ambientales en el periodo 2022 – 2024



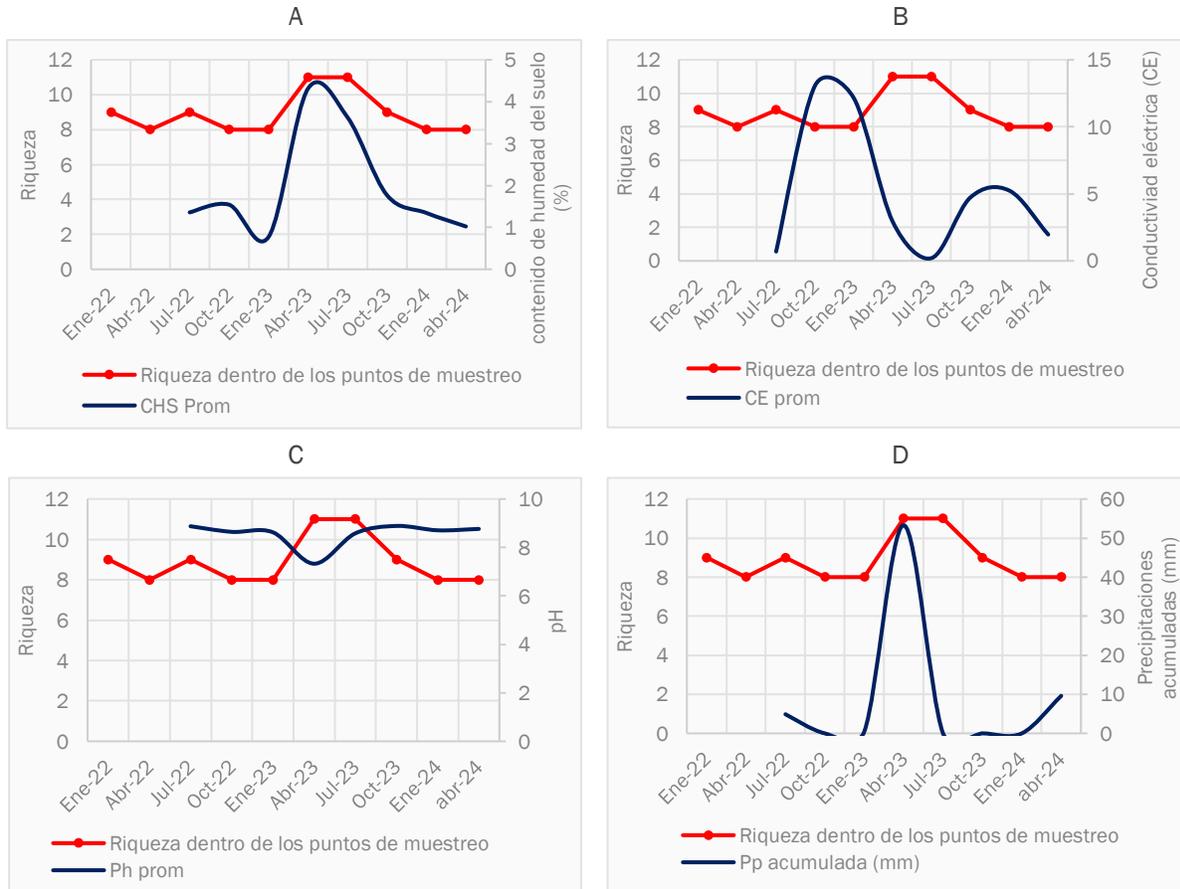
\* El CHS se expresa en porcentaje, la conductividad eléctrica en mS/cm, el pH en unidades de pH y las precipitaciones en milímetros (mm).

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la riqueza de especies en la quebrada de Camar, se observa que varía entre 8, 9 y 11 taxas (Figura 6-48). La mayor riqueza está asociada a valores más altos de CHS (Figura 6-48 A) y a valores más bajos de conductividad eléctrica ( $\leq 0,7$  CE) (Figura 6-48 B). Estos resultados son concordantes con Munns y Tester (2008), quienes indican suelos menos salinos retienen más agua, lo que favorece el crecimiento de las plantas. Por otro lado, el periodo de mayor precipitación acumulada (53,3 mm) coincide con el punto de mayor CHS (4,3) y riqueza (11 especies), lo que refuerza la relación positiva entre disponibilidad hídrica y diversidad vegetal (Figura 6-48 D).

El pH por su lado se mantiene relativamente constante entre 8,6 y 8,9, con la excepción de abril de 2023, donde se registra uno de los máximos de la riqueza y uno de los valores más bajo de pH (7,3) (Figura 6-48 C). Este valor más bajo de pH podría estar relacionado con una mayor disponibilidad de agua en el suelo, lo que podría influir en la composición de la vegetación. En general, los valores de pH en torno a 8,6 – 8,9 se consideran normales en un entorno alcalino típico de zonas áridas, lo que puede limitar la disponibilidad de algunos nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal (INTAGRI, 2018).

Figura 6-48. Riqueza de especies en los puntos de monitoreo de la quebrada de Camar y su relación con el Contenido de humedad del suelo (CHS), Conductividad eléctrica (CE), pH y precipitaciones acumuladas.



## 7 Conclusiones

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

A partir de los resultados obtenidos durante el primer semestre de 2024, se concluye lo siguiente:

Respecto a la vitalidad de los individuos censados, se observa que el Crecimiento normal destaca como el estado de vigor predominante, y se mantiene con valores altos durante casi todo el periodo estudiado, los que se acentúan durante los meses más cálidos y húmedos (primavera y verano). La serie E destaca por tener máximos importantes en marzo de 2022 (71,88%) y marzo de 2024 (81,58%).

Se observa también una baja representación de la categoría Excepcionalmente vigoroso, ya que se muestra con valores bajos en la mayoría de las series. Por su parte, las categorías Muy débil y Débil tienden a disminuir con el tiempo en la mayoría de las series, particularmente en respuesta a mejores condiciones climáticas. Sin embargo, persisten incrementos ocasionales en meses de otoño e invierno, como en la serie B (junio de 2023, 33,33%) y la serie D (noviembre de 2022, 35,09%).

A pesar de las mejoras en otras categorías, un porcentaje importante de individuos permanece en estado seco (>45% en varios meses de la serie A y >50% en la serie C).

Respecto al porcentaje de copa viva, las categorías de mayor porción de follaje (50-75% y 75-100%) muestran aumentos importantes en primavera y verano, evidenciando la influencia de condiciones climáticas favorables para el crecimiento vegetal. En las categorías intermedias (5-25% y 25-50%) se observa una redistribución del follaje en respuesta a las condiciones estacionales. Durante los periodos menos favorables, como otoño e invierno, aumentan los valores de estas categorías, especialmente en las series D y E. En cuanto a las categorías más bajas, se observa una tendencia general a la reducción de sus valores en los últimos años del periodo analizado. Los resultados sugieren que la variabilidad en la copa viva puede estar influenciada por condiciones climáticas particulares, como la intensidad de las lluvias estivales.

Desde el punto de vista fenológico, en las series A, B, D y E la categoría con mayor porcentaje de individuos corresponde a Crecimiento vegetativo, mientras que en la serie C predomina la categoría Senescente. En general, se observa poca variación durante el semestre en todas las categorías y series, con presencia de individuos en Floración y Fructificación solo en las series A, B y E, en los meses de enero y febrero, disminuyendo hacia marzo. La presencia de estructuras reproductivas se atribuye a ejemplares adultos que han podido alcanzar una altura tal que impida su extracción por parte de burros silvestres; por esto, en los ejemplares de las series C y D no se han observado presencia de flores o frutos, dado que corresponden a ejemplares bajos que son fuertemente ramoneados durante todo el periodo de estudio.

El monitoreo del primer semestre de 2024 reafirma la composición etaria de las series estudiadas, destacando la predominancia de individuos en etapa Adulto en las series A, B y E, lo que refleja una población mayoritariamente madura. Por otro lado, las series C y D se caracterizan por una mayor presencia de individuos en etapa Juvenil, situación que se debe principalmente al ramoneo de individuos. Lo anterior ha determinado que los individuos desarrollen crecimiento vegetativo, pero sin alcanzar un desarrollo reproductivo. La estabilidad observada respecto al monitoreo anterior sugiere que no se han producido cambios significativos en la estructura etaria de las series, manteniéndose las mismas tendencias de desarrollo.

Respecto a la afectación natural por daño animal, a diferencia del primer semestre de 2023, se observa un leve aumento de individuos por afectación por ramoneo en las series A, B y E. Las series C y D muestran una disminución respecto al primer semestre de 2023. Lo anterior podría estar determinado por una mayor presencia de copa viva en el semestre anterior, lo que permitió un mayor ramoneo de animales debido al mayor follaje disponible.

Respecto a afectación antrópica, se registra una disminución de registros en las series A, B, D y E respecto al primer semestre de 2023. En el caso de la serie C, no se registran individuos con daño antrópico. En el caso de la serie E – ubicada al este de la ruta CH-23 y dentro del pueblo de Camar – se registra la mayor cantidad de observaciones debido principalmente a obras de construcción, cortes de ramas, huellas vehiculares, y basura.

En términos de vitalidad y porcentaje de copa viva de los ejemplares que cuentan con sistema de riego, se observa un número de ejemplares Seco y con copa viva 0% que se mantiene sin mayores variaciones durante todo el primer semestre de 2024, al igual que el primer y segundo semestre de 2023. Por otro lado, se observan variaciones en las categorías Muy débil y Débil, aumentando hacia los meses de abril, mayo y junio, mientras que la categoría Crecimiento normal decrece. Lo anterior es concordante con la estacionalidad y se asemeja a los resultados obtenidos en el monitoreo mensual.

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 2024, se evidencia que, en enero, no se encontraron diferencias significativas en el potencial hídrico ni la conductancia estomática al comparar los algarrobos de la serie A con los algarrobos de las series B-C. mientras que, en abril, los algarrobos de la serie A muestran un mejor estado hídrico que los algarrobos de las series B y C, expresado en un mayor potencial hídrico en pre-alba.

No se observaron diferencias ni de potencial hídrico ni en conductancia estomática en los algarrobos en relación con su ubicación respecto de la tubería.

En relación con los algarrobos regados, se observan diferencias con los algarrobos no regados sólo en la variable de potencial hídrico en pre-alba. Las diferencias observadas tendrían relación a la aplicación del riego, expresándose diferencias en los meses de mayor demanda atmosférica, alcanzando siempre valores más altos en los individuos que reciben riego.

En relación con las mediciones anteriores, se evidencia que, los valores de potencial hídrico de las campañas de octubre son los más altos de cada año, observándose una disminución en las campañas posteriores. También se observa un efecto de la aplicación del riego en los árboles de la serie A, mostrando una tendencia de mayor potencial hídrico y conductancia estomática que la serie B, en la mayoría de las evaluaciones

realizadas desde enero de 2023 hasta la actualidad. Mientras que en julio los valores de todas las variables son más bajos.

### 7.1.2 Biomasa de algarrobos

La biomasa aérea total de la población alcanza 7.847,87 kg, donde los individuos vivos concentran la mayor proporción (95,7%), acumulándose, en un bajo número de individuos, (cinco árboles) de grandes dimensiones (>48 cm de Dbe), los cuales representan más de 2/3 de la biomasa aérea total de la población.

Los componentes de la biomasa aérea se acumulan en forma decreciente en las ramas (83,7%), el fuste (12,6%) y las hojas (3,7%).

Los resultados indican un incremento entre el periodo enero de 2024 y abril de 2024 en la media del diámetro basal equivalente (0,15 cm) y en el área basal acumulada (0,0608 m<sup>2</sup>) presentando diferencias estadísticamente significativas, Además de un incremento en la biomasa de Fustes (41,1 kg), y biomasa de Hojas (23,99 kg), sin presentar diferencias estadísticamente significativas.

Se registra una disminución de la biomasa de Ramas (1.251,9 kg) sin presentar diferencias estadísticamente significativas y una disminución de la biomasa aérea Total (3.518,48 kg) registrando diferencias estadísticamente significativas.

Estos cambios estarían influenciados por los cambios en la clasificación de vitalidad que registran los individuos de la población entre una medición y otra, que involucraría en promedio a un 10,2% de la población. Sin embargo, en general la información presenta una tendencia al incremento de las variables estudiadas.

## 7.2 Caracterización de la flora y vegetación

### 7.2.1 Vegetación

El análisis de la superficie vegetal en la Quebrada de Camar entre enero y abril de 2024 revela variaciones en las diferentes formaciones vegetales. Los matorrales siguen siendo la formación dominante, representando aproximadamente el 10% de la superficie total de la quebrada en ambos períodos, aunque se observó una ligera disminución en su extensión hacia el mes de abril.

Las zonas de vegetación escasa, con una cobertura vegetal menor al 5%, cubren la mayor parte de la quebrada, manteniéndose constantes con una ocupación cercana al 88%.

Destaca el aumento en la superficie de la pradera de *Distichlis spicata*, como resultado de la rectificación del tipo vegetacional en un polígono específico. Este cambio resalta la importancia de las actualizaciones y revisiones en campo para asegurar la precisión de los datos sobre la cobertura vegetal.

En cuanto a la vitalidad, la comparación entre los meses de enero y abril de 2024 revela una tendencia hacia la disminución de las categorías de mejor vigor en los polígonos monitoreados. El aumento en la categoría de vitalidad débil, junto con la disminución en las categorías de crecimiento normal y excepcionalmente vigoroso, sugiere una disminución general de las condiciones vegetativas a medida que avanza el otoño. Estos cambios pueden estar relacionados con la finalización del verano y el impacto del invierno boliviano, cuyas

precipitaciones estacionales podrían haber favorecido temporalmente la vitalidad de la vegetación en enero, pero cuyo efecto se diluyó en abril. La reducción en los registros de vitalidad muy débil y el ligero aumento en la categoría seca refuerzan la idea del comienzo del receso vegetativo propias del periodo otoñal – invernal en las unidades vegetales visitadas.

En cuanto al porcentaje de copa viva, en el primer semestre de 2024, las categorías de 25-50% y 5-25% presentaron la mayor concentración de registros en enero y abril respectivamente. Al comparar los dos períodos, se evidencia una disminución de las unidades con follaje sobre el 25%, y un aumento de las unidades con follaje menor a este valor. Este cambio sugiere que la vegetación en la quebrada está experimentando un proceso de desecación conforme avanza el otoño, lo que podría estar relacionado con factores estacionales y climáticos que afectan la vitalidad de las plantas en esta época del año.

La variación fenológica observada entre enero y abril de 2024 refleja las dinámicas estacionales típicas del avance del verano hacia el otoño. Durante este periodo, se registró una disminución en las categorías de floración y fructificación, acompañada de un aumento en el crecimiento vegetativo. Estos cambios sugieren un ajuste de las plantas a las condiciones estacionales cambiantes, con una reducción de la actividad reproductiva y un mayor énfasis en el crecimiento vegetativo, lo que es coherente con la transición hacia condiciones menos favorables.

El monitoreo realizado durante el primer semestre de 2024 en la quebrada de Camar revela una afectación relativamente baja por intervención antrópica, con un aumento leve en la presencia de huellas vehiculares y basura en los polígonos evaluados entre enero y abril, las que se concentran cerca de la intersección entre las rutas B-355 y B-371. A pesar de este incremento, la mayoría de las unidades vegetacionales (93,42% en abril) permanecen sin signos aparentes de intervención humana. La afectación natural por la presencia de burros silvestres, evidenciada principalmente a través de la presencia de heces dentro de los polígonos muestreados, aumentó en el período estudiado en un 30,26%.

## 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 abril 2024. Durante el primer semestre del 2024 se registraron 10 taxa en ambos períodos, enero y abril. En general, el 70% de las especies identificadas se encuentran en regiones con baja disponibilidad hídrica, mientras que dos especies, *Tessaria absinthioides* y *Distichlis spicata*, tienen una amplia distribución a nivel nacional. En cuanto al hábito de crecimiento, en enero, el 50% de las especies eran arbustivas, mientras que, en abril, este porcentaje aumentó al 70% por el registro de *Tarasa operculata* (arbusto) en lugar de *Cistanthe celosioides* (hierba). Las especies arbóreas corresponden a *Neltuma alba* y *Strombocarpa tamarugo*.

Con respecto a la abundancia, al igual que en el segundo semestre del 2023, las especies más abundantes registradas a través de los transectos en la quebrada Camar corresponden a *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*, mientras que, las menos representadas con respecto al período anterior son *Atriplex imbricata* y *Distichlis spicata*.

## 7.3 Parámetros del suelo

### 7.3.1 Monitoreo mensual de CHS

Con relación al contenido de humedad del suelo, los monitoreos del primer semestre de 2024 muestran una gran variación, con valores que van desde 0% a 11%. En general, se observa una tendencia a aumentar entre los meses de marzo a mayo, para luego disminuir hacia el fin del semestre, situación similar a la registrada en el primer semestre de 2023. Sin embargo, los valores promedios registrados las seis campañas del primer semestre de 2023 son superiores a todos los reportados en el primer semestre de 2024. Lo anterior guardaría relación con la magnitud de las precipitaciones que se registraron en el periodo anterior.

Desde la implementación del sistema de riego, se ha observado un aumento general en el contenido de humedad del suelo en los puntos de muestreo y con ello una tendencia a mantener constante el número de individuos en categoría Crecimiento normal, en el caso de los individuos con sistema de riego. Sin embargo, no existe relación entre el CHS y el número de individuos con crecimiento normal, por lo que esta variable respondería más bien a las condiciones ambientales.

Los resultados históricos indican que el CHS está estrechamente ligado a las precipitaciones, lo que se evidencia en el aumento de la humedad del suelo con mayores precipitaciones acumuladas. Se estima que tanto eventos de lluvias como la implementación del sistema de riego en algunas plantas, favorecerían las reservas de agua aprovechable, lo que mantiene un promedio de CHS más alto en el periodo 2023 que el reportado en el 2022.

### 7.3.2 Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE

Los resultados del contenido de humedad de suelos del primer semestre de 2024 muestran una disminución del 52,38% de los puntos de monitoreo (22 puntos) entre enero y abril, lo cual podría estar ligado con las bajas precipitaciones ocurridas durante el primer semestre.

La variación parece estar influenciada por las condiciones estacionales, en particular, con la precipitación, tal como se evidenció en los máximos históricos registrados en abril y julio de 2023, los cuales coincidieron con eventos significativos de precipitación durante ese año.

El análisis espacial del CHS muestra una relación positiva entre la presencia de vegetación y el contenido de humedad del suelo, destacando al matorral de *Tessaria absinthioides* como la formación con mayor porcentaje de cobertura y con los valores más altos de CHS. Dado que la disponibilidad de agua es vital para el desarrollo de plantas, es de esperar que los suelos con mayor contenido de humedad sean aquellos que sustenten una mayor cantidad de vegetación. La presencia de una cubierta vegetal puede contribuir con la retención de humedad al generar sombra y reducir la transpiración del suelo, lo que podría traducirse en una situación de retroalimentación positiva entre la vegetación y el CHS. Por otro lado, las áreas con menor cobertura vegetal, como el matorral de *Tiquilia atacamensis* y las zonas de vegetación escasa, presentan los valores más bajos de CHS.

Los resultados de pH del sustrato en la quebrada de Camar revelan que, tanto en enero como en abril, los suelos son predominantemente alcalinos, con la mayoría de los puntos clasificados como fuertemente

alcalinos y el resto distribuidos entre moderadamente alcalinos, muy fuertemente alcalinos y ligeramente alcalinos.

Comparando con datos históricos, el pH en la quebrada de Camar se mantiene relativamente homogéneo, con valores que mayormente se sitúan entre 8,4 y 9, correspondientes a la categoría de fuertemente alcalino.

Se observó una disminución significativa del pH en abril de 2023, atribuible a eventos de precipitación que aumentaron la humedad del suelo y diluyeron las sales, moderando temporalmente la alcalinidad. En general, el pH de los suelos de la quebrada de Camar posee ligeras fluctuaciones asociadas a eventos estacionales y características específicas de los tipos vegetacionales.

Los resultados de salinidad del suelo para el primer semestre de 2024 muestran que la mayoría de los puntos de monitoreo indican suelos no salinos, con una menor proporción de suelos clasificados como fuertemente salinos, ligeramente salinos, moderadamente salinos y muy ligeramente salinos.

La disminución en los valores de CE puede estar relacionada con la baja cantidad de precipitaciones ocurridas en el primer semestre de 2024, considerando que en los resultados históricos se puede ver una relación negativa entre las precipitaciones y los valores de salinidad (conductividad eléctrica), evidenciable particularmente durante el trimestre de abril 2023, que posee los valores máximos de precipitación registrados en los monitoreos desde julio 2022, y valores particularmente bajos en las mediciones de conductividad eléctrica.

El análisis por tipo vegetacional revela que el matorral de *Tessaria absinthioides* presenta los valores más altos de conductividad eléctrica (15,37 dS/m en enero y 7,00 dS/m en abril), mientras que el matorral de *Tiquilia atacamensis* muestra los valores más bajos (0,07 dS/M en enero y 0,09 dS/m en abril). En términos de distribución espacial, los valores más altos de salinidad se concentran en los matorrales de *Tessaria absinthioides* en el borde este del salar, lo cual es coherente con el gradiente de salinidad que disminuye a medida que se aleja del núcleo del salar.

## 7.4 Relación entre variables

Considerando las interacciones entre los factores fisiológicos, edáficos y climáticos, sobre la población de Algarrobos objeto de estudio, cabe destacar que la vitalidad de los individuos muestra una tendencia positiva en el tiempo, reflejada en el aumento de la categoría de Crecimiento normal y la disminución de los individuos clasificados como Débiles. En este sentido, el Contenido de Humedad del Suelo (CHS) resulta una de las variables determinantes, dado que sus valores más altos coinciden con un incremento en el número de individuos con Crecimiento normal y Excepcionalmente vigorosos.

Por su parte, los patrones estacionales en los parámetros fisiológicos, como la conductancia estomática y el potencial hídrico, muestran un comportamiento cíclico, con valores máximos en los primeros trimestres de cada año y mínimos durante los periodos más secos. Esta dinámica indica que los algarrobos responden a las variaciones en la disponibilidad hídrica, aprovechando los periodos de mayor humedad del suelo.

Estos resultados se traducen en un aumento de la biomasa de la población de algarrobos, ya que presenta un crecimiento constante a lo largo del periodo 2022-2024, pasando de 4.756,79 kg a 8.357,96 kg.

Por otra parte, los análisis realizados sobre las unidades de vegetación dan cuenta de una clara influencia estacional sobre ellas, principalmente respecto a las precipitaciones estivales y su relación con el vigor y variables del suelo. Reflejado en un aumento del vigor en las plantas al mismo tiempo que aumenta la humedad del suelo y desciende el pH. Así mismo, se observa un receso vegetativo invernal claro, donde el vigor de las plantas disminuye.

Respecto a la flora, la riqueza de especies en la quebrada de Camar muestra una relación positiva con los valores más altos de Contenido de Humedad del Suelo (CHS) y más bajos de conductividad eléctrica, lo que respalda la idea de que suelos menos salinos retienen más agua, favoreciendo el crecimiento vegetal. Aunque el pH del suelo se mantiene relativamente constante en un rango alcalino (8,6 - 8,9), la ligera acidificación observada en abril de 2023 (pH 7,3) coincide con uno de los máximos de riqueza de especies y un aumento del vigor, lo que sugiere una posible influencia positiva de una mayor disponibilidad hídrica y nutricional en ese periodo.

## 8 Referencias

- Allen, M. T., Prusinkiewicz, P., & DeJong, T. M. (2005). Using L-systems for modeling source-sink interactions, architecture and physiology of growing trees: The L-PEACH model. *New Phytologist*, 166, 869-880. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01348.
- Allen, D. & Ort, D. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends in Plant Science*, 6(1), 36-42.
- Arguello, J. A., Milanese, E., & Pascualidades, A. L. (1992). Dormición en yemas de *Prosopis chilensis* (Mol.) St. Morfogénesis y niveles de ácido abscísico. *AgriScientia*, 9(2).
- BIOTA. 2018. Informe técnico. Análisis taxonómico de muestras de ejemplares de *Neltuma alba*., sector quebrada de Camar, provincia de El Loa, región de Antofagasta.
- Castañeda, M., Rodríguez, R., & Lobo, D. (2004). Características físicas del suelo y su relación con el crecimiento y desarrollo de las plantas. *Revista de Agronomía Tropical*, 54(3), 215-230.
- 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
- Carrasco, G., Ramírez, P., Vogel, H., 2007. *Effect of the electrical conductivity of the nutrient solution on yield and essential oil in basil grown by NFT*. IDESIA (Chile) Vol. 25, N° 2; 59-62, 2007.
- Carevic, F. S., Delatorre-Herrera, J. and Carrasco, A. 2017. Plant water variables and reproductive traits are influenced by seasonal climatic variables in *Prosopis burkartii* (Fabaceae) at Northern Chile. *Flora* 233: 7-11.
- 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.

- Donoso, C. 2013. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Cuneo Ediciones: Valdivia, Chile. 528-533 pp.
- 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.
- Shaxson, F., y R, Barber. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. Servicio de Manejo de las Tierras y de la Nutrición de Plantas. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Roma. 2005.
- Garzuglia, M. y M. Saket. 2003. Wood volume and woody biomass. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma. 30 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.
- Hacke, U. y Sauter, J. 1996. Xylem dysfunction during winter and recovery of hydraulic conductivity in diffuse-porous and ring-porous trees. *Oecologia* 105:435-439.
- 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.
- INTAGRI, 2018. Disponibilidad de Nutrientes y el pH del Suelo. Serie Nutrición Vegetal. Núm. 113. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.
- Malicki, M. A., & Walczak, R. T. (1999). Electrical conductivity of soil as a function of water content and electrolyte concentration. *Soil Science Society of America Journal*, 63(3), 988-996.
- MARTICORENA, C. & M. QUEZADA. 1985. Catálogo de la flora vascular de Chile. *Gayana Botánica* 42: 1-157 pp.
- Muñoz E. A., Bonacic, C., 2006. Variación estacional de la flora y vegetación en la precordillera andina de la comuna de Putre (I región de Tarapaca, Chile) durante el periodo 2002-2003. *Gayana Bot.* 63(1): 75-92, 2006.
- López, F. y Nobel, P. 1990. Root hydraulic conductivity of two cactus species in relation to root age, temperature, and soil water status. *Journal of Experimental Botany* 42:143-149.
- Luzio W.; Casanova M. y Seguel O. 2010. Suelos de Chile. Luzio W. (Editor). Universidad de Chile. 346 p.
- Robinson, D. A., Binley, A., Crook, N., Day-Lewis, F. D., Ferré, T. P. A., Grauch, V. J. S., ... & Slater, L. 2008. Advancing process-based watershed hydrological research using near-surface geophysics: A vision for, and review of, electrical and magnetic geophysical methods. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(18), 3604-3635.

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.

Rodríguez, R., Matthei, O., Quezada, M. (1983). Comentarios de libros. *Revista de Geografía Norte Grande*, 10, 73-77.

Parresol, B. R. 2011. Additivity of nonlinear biomass equations. *Canadian Journal of Forest Research*. 31:865-878. NRC Research Press Ottawa, Canada.

Pliscoff, P., Zanetta, N., Hepp, J., Machuca, J. 2017. Efectos sobre la flora y vegetación del evento de precipitación extremo de agosto 2015 en Alto Patache, Desierto de Atacama, Chile. *Rev. geogr. Norte Gd.* no.68 Santiago dic. 2017.

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta (SAP). 2021. Informe Proyecto Pampa Hermosa Llamara 2021. SQM.

Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S., Terzano, R. y Cesco, S. 2019. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science*. 10: 923. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>.

Sellin, A. y Kupper, P. 2007. Temperature, light and leaf hydraulic conductance of little-leaf linden (*Tilia cordata*) in a mixed forest canopy. *Tree Physiology* 27:679-688.

SQM, 2023. Informe semestral Quebrada de Camar, primer semestre 2023

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.