

Informe segundo semestre 2024

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

Informe segundo semestre 2024
GEOB.SQMSL862.INF022. Programa de Seguimiento de Flora y vegetación de la quebrada de Camar

Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
A	Nombre	CA ML	CI	CI	Informe segundo semestre quebrada de Camar Rev. (A)
	Fecha	12.03.2025	25.03.2025	25.03.2025	
B	Nombre	CA ML	CI	IZ	Informe segundo semestre quebrada de Camar Rev. (B)
	Fecha	27.03.2025	28.03.2025	28.03.2025	
C	Nombre	CI	IZ	IZ	Informe segundo semestre quebrada de Camar Rev. (C)
	Fecha	26.05.2024	26.05.2024	26.05.2024	
O	Nombre	CI	IZ	IZ	Informe segundo semestre quebrada de Camar Rev. (O)
	Fecha	27.05.2025	27.05.2025	27.05.2025	

Contenido

Resumen	14
1.1 Monitoreo de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (Algarrobos)	14
1.2 Fisiología de Algarrobos	16
1.3 Biomasa de Algarrobos	16
1.4 Riego de Algarrobos	18
1.5 Flora y Vegetación	18
1.5.1 Vegetación	18
1.5.2 Flora	19
1.6 Parámetros del suelo	19
1.6.1 Monitoreo mensual de Contenido de Humedad de suelo (CHS)	19
1.6.2 Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE	20
2 Introducción	21
3 Objetivos	25
4 Materiales y métodos	26
4.1 Área de estudio	26
4.2 Monitoreo de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos)	26
4.2.1 Ubicación de los individuos	26
4.2.2 Parámetros evaluados	38
4.2.3 Metodología de muestreo, medición y análisis	42
4.3 Evaluación de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo) con sistema de riego	45
4.3.1 Ubicación de los individuos	45
4.3.2 Parámetros evaluados	46
4.3.3 Metodología de muestreo, medición y análisis	48
4.4 Caracterización de la flora y vegetación	48
4.4.1 Ubicación de los puntos de monitoreo	48
4.4.2 Parámetros evaluados	51
4.4.3 Metodología de muestreo, medición y análisis	52
4.5 Evaluación de parámetros del suelo	55

4.5.1	Ubicación de los puntos de monitoreo de suelo	55
4.5.2	Parámetros evaluados, metodología de muestreo, medición y análisis	60
4.6	Materiales y equipos utilizados	60
4.7	Fechas de muestreo	61
5	Resultados	64
5.1	Monitoreo de vitalidad de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo)	64
5.1.1	Vitalidad	64
5.1.2	Copa viva	67
5.1.3	Fenología	70
5.1.4	Etapa de crecimiento	73
5.1.5	Afectación antrópica y/o natural	75
5.1.6	Fisiología de algarrobos	81
5.1.7	Biomasa de algarrobos	85
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	94
5.2.3	Estado de los elementos asociados al programa de riego	96
5.3	Caracterización de la flora y vegetación	96
5.3.1	Vegetación	96
5.3.2	Flora	103
5.4	Parámetros del suelo	105
5.4.1	Monitoreo mensual de CHS	105
5.4.2	Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE	110
6	Discusiones	117
6.1	Monitoreo de ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos)	117
6.1.1	Vitalidad	117
6.1.2	Copa viva	121
6.1.3	Fenología	125
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	139
6.2.2	Porcentaje de copa viva	141
6.3	Caracterización de la flora y vegetación	144
6.3.1	Vegetación	144
6.3.2	Flora	151
6.4	Parámetros del suelo	157
6.4.1	Monitoreo mensual de CHS	157
6.4.2	Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE	167
6.5	Relación entre variables	174
6.5.1	Algarrobos	174
6.5.2	Vegetación	178
7	Conclusiones.....	181
7.1	Monitoreo de los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> (algarrobos)	181
7.1.1	Fisiología de algarrobos	183
7.1.2	Biomasa de algarrobos	183
7.2	Caracterización de la flora y vegetación	184
7.2.1	Vegetación	184
7.2.2	Flora	185
7.3	Parámetros del suelo	185
7.3.1	Monitoreo mensual de CHS	185
7.3.2	Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE	185
8	Referencias.....	187

Tablas

Tabla 2-1. Parámetros establecidos, responsables de la ejecución y medición de las variables	22
Tabla 4-1 Ubicación de los individuos de <i>N. alba</i> monitoreados en la quebrada de Camar (Datum WGS84 Huso 19S).....	27
Tabla 4-2. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 Huso 19S)	34
Tabla 4-3 Ubicación de los individuos de <i>N. alba</i> monitoreados en la quebrada de Camar	35
Tabla 4-4. Parámetros y metodologías utilizadas para la caracterización de la flora y vegetación	39
Tabla 4-5. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas	39
Tabla 4-6. Escalas utilizadas para clasificar la copa viva de las plantas	39
Tabla 4-7. Categorías utilizadas para la descripción de estado fenológico	40
Tabla 4-8. Categorías utilizadas para la descripción de la altura del ejemplar	40
Tabla 4-9. Categorías utilizadas para la etapa de crecimiento.....	41
Tabla 4-10. Ubicación georreferenciada de ejemplares de algarrobos con riego	45
Tabla 4-11. Criterios utilizados para clasificar la vitalidad de las plantas	47
Tabla 4-12. Escalas utilizadas para clasificar la copa viva de las plantas.....	47
Tabla 4-13. Ubicación de las estaciones de monitoreo de vegetación y flora en la quebrada de Camar	48
Tabla 4-14. Esfuerzo de muestreo campañas segundo semestre 2024.....	51
Tabla 4-15. Parámetros y metodologías utilizadas para la caracterización de la flora y vegetación ...	51
Tabla 4-16. Rangos y códigos de cobertura.....	52
Tabla 4-17. Rangos de altura por tipo biológico	53
Tabla 4-18. Categorías utilizadas para describir la vitalidad y estado sanitario de la vegetación	53
Tabla 4-19. Ubicación de los puntos de monitoreo mensual de contenido de humedad del suelo	55
Tabla 4-20. Ubicación de los puntos de monitoreo de suelo de la quebrada de Camar	58
Tabla 4-21. Métodos de ensayo utilizados en análisis de suelo	60
Tabla 4-22. Materiales y equipos utilizados	60
Tabla 4-23. Fechas de muestreo monitoreo de algarrobos segundo semestre 2024.....	61
Tabla 4-24. Fechas de monitoreo del estado de los componentes del riego, segundo semestre 2024	62
Tabla 4-25. Fechas de muestreo potencial hídrico y conductancia estomática segundo semestre 2024	62

Tabla 4-26. Fechas de muestreo medición de variables dendrométricas segundo semestre 2024...	62
Tabla 4-27. Fechas de muestreo monitoreo de flora y vegetación segundo semestre 2024	63
Tabla 4-28. Fechas de muestreo de monitoreo de suelo segundo semestre 2024	63
Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en julio y octubre de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar	82
Tabla 5-2. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs)	83
Tabla 5-3. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) para individuos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería de agua superficial	84
Tabla 5-4. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) promedios para individuos con y sin riego.	85
Tabla 5-5. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género <i>Neltuma</i> para ejemplares de algarrobo – julio 2024	86
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>) – julio 2024	88
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 – octubre 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>). – octubre 2024	91
Tabla 5-9. Principales desperfectos detectados en los componentes del sistema de riego	96
Tabla 5-10. Formaciones vegetales y otras superficies presentes en la quebrada de Camar	97
Tabla 5-11. Riqueza de especies presentes en el área de estudio.....	103
Tabla 5-12. Cobertura y frecuencia de las especies registradas.....	104
Tabla 5-13. CHS en individuos de <i>Neltuma alba</i> con y sin sistema de riego.....	108
Tabla 5-14. Resultados de contenido de humedad de suelos en los puntos monitoreados de la quebrada de Camar.....	111
Tabla 5-15. Resultados de pH del suelo	114
Tabla 5-16. Resultados de conductividad eléctrica del suelo	115

Tabla 6-1. Variación histórica de superficie de las formaciones vegetacionales presentes en la quebrada de Camar.....	145
Tabla 6-2. Variación histórica en la riqueza de especies presentes en los puntos de muestreo y área de estudio.....	152
Tabla 6-3. Variación histórica de la cobertura de las especies en transectos	156
Tabla 6-4. CHS en individuos de <i>Neltuma alba</i> con y sin sistema de riego, periodo febrero 2022 – diciembre 2024	159

Figuras

Figura 4-1. Ubicación del área de estudio	26
Figura 4-2. Ubicación de los ejemplares de <i>Neltuma alba</i> monitoreados	33
Figura 4-3. Distribución de los individuos de Algarrobo con mediciones de potencial hídrico y conductancia estomática	35
Figura 4-4. Distribución de los individuos de Algarrobo con mediciones de biomasa	38
Figura 4-5. Distribución espacial de algarrobos con riego dentro de la Quebrada de Camar	46
Figura 4-6. Esfuerzo de muestreo de vegetación	50
Figura 4-7. Ubicación de los puntos de medición humedad de suelo CHS mensual	57
Figura 4-8. Esfuerzo de muestreo de suelo	59
Figura 5-1. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie A	65
Figura 5-2. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie B	65
Figura 5-3. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C	66
Figura 5-4. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie D	66
Figura 5-5. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie E	67
Figura 5-6. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie A	68
Figura 5-7. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie B	68
Figura 5-8. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie C	69
Figura 5-9. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie D	69

Figura 5-10. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie E.....	70
Figura 5-11. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie A.....	70
Figura 5-12. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie B	71
Figura 5-13. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie C	71
Figura 5-14. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie D	72
Figura 5-15. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie E.....	72
Figura 5-16. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A	73
Figura 5-17. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie B	73
Figura 5-18. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie C	74
Figura 5-19. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie D.....	74
Figura 5-20. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie E	75
Figura 5-21. Variación semestral daño animal en individuos de <i>Neltuma alba</i> por serie	76
Figura 5-22. Variación semestral daño antrópico en individuos de <i>Neltuma alba</i> por serie	79
Figura 5-23. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego	93
Figura 5-24. Evolución del porcentaje de copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego	95
Figura 5-25. Variación del porcentaje de vitalidad en la vegetación de la Quebrada de Camar.....	99
Figura 5-26. Variación del porcentaje de copa viva en la vegetación de la Quebrada de Camar	100
Figura 5-27. Variación del estado fenológico en la vegetación de la Quebrada de Camar	101
Figura 5-28. Tipos de daño antrópico.....	102
Figura 5-29. Contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en la quebrada de Camar – segundo semestre 2024	106
Figura 5-30. Variación mensual del contenido de humedad del suelo en individuos de <i>Neltuma alba</i> con y sin sistema de riego	110
Figura 5-31. Variación mensual del contenido de humedad del suelo en la Quebrada de Camar ...	113
Figura 5-32. Proporción de puntos de monitoreo por categoría de pH del sustrato	114

Figura 5-33. Proporción de puntos de monitoreo por categoría de salinidad del sustrato	116
Figura 6-1. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie A	118
Figura 6-2. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie B	119
Figura 6-3. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C	119
Figura 6-4. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie D	120
Figura 6-5. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie E	121
Figura 6-6. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie A	122
Figura 6-7. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie B	123
Figura 6-8. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie C	123
Figura 6-9. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie D	124
Figura 6-10. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie E	125
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	126
Figura 6-13. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie C	127
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	128
Figura 6-16. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A	129
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	130
Figura 6-19. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie D	131
Figura 6-20. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie E	131
Figura 6-21. Variación histórica del ramoneo por serie	133
Figura 6-22. Variación histórica de la intervención antrópica por serie	134

Figura 6-23 Variación histórica del potencial hídrico en pre-alba para árboles de las series A y B*	135
Figura 6-24. Variación histórica del potencial hídrico de mediodía para árboles de las series A y B	136
Figura 6-25 Variación histórica de la conductancia estomática para árboles de las series A y B	137
Figura 6-26. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego	140
Figura 6-27. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego	141
Figura 6-28. Evolución del porcentaje de copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego	143
Figura 6-29. Evolución de la copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego	144
Figura 6-30. Evolución de la superficie de las formaciones vegetacionales presentes en la quebrada de Camar	146
Figura 6-31. Variación histórica de la vitalidad en la vegetación de la Quebrada de Camar	147
Figura 6-32. Variación histórica del porcentaje de copa viva en la vegetación de la Quebrada de Camar	148
Figura 6-33. Variación histórica del estado fenológico en la vegetación de la Quebrada de Camar	149
Figura 6-34. Afectación animal y antrópica	150
Figura 6-35. Comparación mensual del contenido de humedad del suelo en individuos de <i>Neltuma alba</i> , periodo febrero 2022 – diciembre 2024.....	158
Figura 6-36. Variación mensual del contenido de humedad de suelo en individuos de <i>Neltuma alba</i> con y sin sistema de riego, febrero 2022 – diciembre 2024	162
Figura 6-37. Variación mensual del contenido de humedad de suelo por serie en individuos de <i>Neltuma alba</i> , febrero 2022 – diciembre 2024	163
Figura 6-38. Contenido de humedad del suelo mensual versus proporción de individuos de <i>Neltuma alba</i> con vitalidad normal, periodo diciembre 2022 – diciembre 2024	165
Figura 6-39. Relación entre el CHS y el número de individuos con y sin riego en estado vital normal	166
Figura 6-40. Variación histórica en el contenido de humedad del suelo (%) en los tipos vegetacionales de la quebrada Camar	169
Figura 6-41. Variación en el pH de los puntos de monitoreo de suelo en la quebrada de Camar....	171
Figura 6-42. Variación en la salinidad de los puntos de monitoreo de suelo en la quebrada de Camar	173
Figura 6-43. Conductancia estomática y Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024.....	175

Figura 6-44. Potencial hídrico promedio en pre-alba (Ψ_{pa}) y medio día (Ψ_{md}), y su relación con el Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 – 2024	175
Figura 6-45. Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre y precipitaciones acumuladas, en el periodo 2022 - 2024	176
Figura 6-46. Potencial hídrico promedio en pre-alba (Ψ_{pa}) y medio día (Ψ_{md}), y su relación con el vigor de los algarrobos por trimestre, en el periodo 2022 - 2024	177
Figura 6-47. Conductancia estomática (gs) y su relación con el vigor de los algarrobos por trimestre, en el periodo 2022 - 2024	177
Figura 6-48. Vitalidad de los Algarrobos y su relación con el Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024	178
Figura 6-49. Biomasa de la población de algarrobos y vigor de los individuos en el periodo 2022 - 2024	178
Figura 6-50. Evolución del vigor y las variables ambientales en el periodo 2022 – 2024	179
Figura 6-51. 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	180

Fotografías

Fotografía 5-1. Registros fotográficos de presencia de huellas informales de camioneta y basura en el área de estudio	102
Fotografía 6-1. Afectación animal – Segundo semestre 2024	133
Fotografía 6-2. Afectación antrópica – Segundo semestre 2024	134

Anexos

Anexo 1. Base de datos monitoreo de algarrobos segundo semestre
Anexo 2. Base de datos vegetación (COT) segundo semestre
Anexo 3. Base de datos flora (transectos)
Anexo 4. Mapa de vegetación quebrada de Camar – julio y octubre 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 de Estado hídrico en Algarrobos de la Quebrada de Camar

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 Programa de Seguimiento asociado al monitoreo de Flora y Vegetación de la quebrada de Camar en el segundo semestre de 2024 (julio a diciembre), cuyo fin es aportar información sobre los individuos de algarrobos y otras formaciones vegetacionales que no forman parte del Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) comprometido en el marco del Proyecto “Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama” aprobado ambientalmente mediante Resolución Exenta N° 226, de 19 de octubre de 2006, (RCA N° 226/2006) y analizar la evolución semestral de los componentes que son objeto de estudio. Este seguimiento se enmarca en la Acción N° 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 segundo semestre de 2024 indican 463 ejemplares que son objeto de este estudio, hasta diciembre de 2024. De estos 463 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, 10 individuos corresponden a ejemplares de las series B, 25 individuos de la serie C, 10 individuos de la serie D y 36 individuos de la serie E.

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 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 y 2024 se han producido eventos de estas características, en particular los años 2012, 2017 y 2019, y 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 de la RCA N° 226/2006).

Por otra parte, dado que los monitoreos de las series B, C, D y E, se realizan de forma mensual a partir del mes de enero de 2022, y que desde esa fecha 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). En septiembre y octubre del mismo año, cuatro (4) de estos individuos han vuelto a ser ubicados en el sector (E-049, E-054, E-056 y E-057), quedando a la fecha un total de tres (3) individuos trasladados (E-53-B, E-161, E-173).

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, etapa de crecimiento 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 en el segundo semestre, en las series A, B y E, el promedio semestral muestra que la categoría con mayor porcentaje de individuos corresponde a Crecimiento normal. En cambio, en las series C y D, predominan mayoritariamente individuos en categoría Muy débil. En general, durante el semestre la categoría Crecimiento normal presenta una tendencia a aumentar. Esto se propició gracias a una disminución progresiva de las categorías Débil y Muy débil, el cual es un comportamiento esperable al comenzar los meses favorables (primavera- verano) para la 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 y las vuelve a generar en primavera. (MMA, 2012a; MMA, 2012b).

En cuanto a la copa viva, en las series A, C y D si bien predominan los individuos sin copa, estos han presentado una mejoría con el paso de los meses, tendiendo a disminuir su cantidad de ejemplares. Mientras que en las series B y E, la mayoría de los individuos presentan un porcentaje de copa viva que varía entre 75% y 100%. Por otro lado, los individuos con algún grado de follaje en las demás series se ubican en categorías medias de copa viva, las que tienden a aumentar conforme avanza semestre. Este incremento se debe a la llegada de estaciones más favorables para el crecimiento vegetativo de la especie, que, siendo caducifolia, pierde sus hojas durante el invierno.

Desde el punto de vista fenológico, la categoría con mayor porcentaje en las series B, D y E corresponde a Crecimiento vegetativo, mientras que en las series A y C predomina la categoría Senescente. En general, en todas las series durante la primera parte del semestre se observa un leve aumento en la cantidad de individuos senescentes, lo que conlleva a una disminución de los individuos con crecimiento vegetativo. No obstante, en la segunda mitad del semestre la senescencia disminuye. Desde octubre de 2024, en las series A, B y E comienzan a aparecer los primeros individuos con flores de la temporada, los cuales hacia el final del semestre en su mayoría se encuentran en estado de Fructificación.

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 monitoreo anterior (primer semestre de 2024) 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, en las series A, B, D y E se presentó una disminución del promedio semestral de individuos afectados, respecto del segundo semestre del 2023. En contraste, la serie C experimentó un leve aumento respecto al mismo periodo.

En cuanto a la afectación antrópica, se registra una disminución en el promedio semestral de ejemplares afectados en las series A y C, respecto al segundo semestre de 2023. En el caso de las series D y E se observan aumentos. Por último, la serie B no presenta variaciones en relación con ambos periodos. Se destaca que 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 julio y octubre 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) (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 no¹.

Los resultados de julio de 2024 no encontraron diferencias significativas en el potencial hídrico ni en la conductancia estomática al comparar los algarrobos de la serie A con los algarrobos de las series B y C. En octubre, los algarrobos de la serie A sí presentan diferencias significativas respecto a la serie B y C, con un potencial hídrico pre-alba y mediodía menos negativo. Por su parte, la conductancia estomática es mayor en la serie A, respecto que las series B y C, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas.

En relación con su ubicación respecto de la tubería, en julio se identificaron diferencias significativas en la conductancia estomática, alcanzando los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba. Mientras que, en octubre, no se encontraron diferencias significativas en ninguna variable.

1.3 Biomasa de Algarrobos

La última estimación de biomasa estimada para la población de algarrobos (octubre 2024), da cuenta que, a nivel de población, un 43,1% de los árboles medidos, presentan algún nivel de vitalidad en sus vástagos, estando el 56,9% restante "Seco". La mayor parte de los individuos son pequeños (80,5%), concentrándose en las clases diamétricas de menor tamaño (<5 cm de Dbh), con alturas medias que no superan los 70 cm. Los individuos de mayor diámetro (>20, cm de Dbh), representan un 9,2% del total y pueden alcanzar hasta los 6,05 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.

¹ 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 N° 28.

Si bien las variables medidas presentan una tendencia a disminuir, la variabilidad obtenida hasta la medición de octubre de 2024 se encuentra dentro de lo reportado en mediciones anteriores.

1.4 Riego de Algarrobos

Las mediciones de los individuos que cuentan con sistema de riego muestran que, en términos de vitalidad, durante el segundo semestre de 2024 se presenta un aumento en la cantidad de individuos clasificados como secos, pasando de 2 a 13 individuos. Cabe destacar que, 2 individuos se encontraban secos desde enero de 2022, estado que no cambió cuando se comenzaron a regar (noviembre de 2022). En cambio, los otros 11 individuos nuevos corresponden a ejemplares que durante el mes de octubre de 2024 cumplieron con los criterios para ser clasificados como secos (ver sección 4.3.). Por otra parte, se presentó un incremento en la categoría Crecimiento normal hacia la segunda mitad del semestre. En contraste, se presentó una marcada disminución en la categoría Muy débil, que se redujo y presentó solo 1 individuo en la segunda mitad del semestre.

En cuanto al porcentaje de copa viva, se evidenció un cambio notable debido a la transición entre invierno y primavera, aumentando hacia el final del semestre las categorías de mayor follaje (50-75% y 75-100%), y disminuyendo en gran medida las categorías intermedias y bajas (<5%, 5-25% y 25-50%).

Respecto a las revisiones semanales del estado de los elementos asociados al sistema de riego, se constata que el principal desperfecto en su mecanismo corresponde a filtraciones en las cañerías y líneas de riego. 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. Los resultados de julio 2024 y octubre 2024 indican que la mayoría de las formaciones vegetales mantienen sus superficies, con excepción del Matorral de *Tessaria absinthoides* (Brea) que disminuyó en 3,07 ha y la Pradera de *Distichlis spicata* (Gramina salada), que aumentó en la misma proporción, esto se puede explicar debido a cambios estacionales entre la temporada de invierno-primavera.

Respecto al estado de vitalidad de las 75 unidades visitadas en el segundo semestre de 2024, al comparar los resultados de julio y octubre se observa un aumento en el número de polígonos en categoría Normal, pasando de un 3,95% a un 48,68% del total, junto con una leve disminución en el número de polígonos en estado Débil, pasando de un 34,21% a un 32,89%. Estos cambios, indicaría una mejora en la vitalidad y estado sanitario de la vegetación durante el segundo semestre del 2024.

En cuanto al porcentaje de copa viva, en el segundo semestre de 2024, se observa un aumento de las unidades con follaje sobre el 5% (categorías 5-25%, 25-50%, 50-75%), y una disminución de las unidades con follaje <5% y 0%, la categoría de porcentaje de copa viva 75-100% se mantuvo. Estos resultados indican que la vegetación de la quebrada está aumentando su follaje conforme avanza la temporada de primavera.

En relación con el estado fenológico de la vegetación en el segundo semestre del 2024, al comparar los monitoreos de julio y octubre se observa un aumento de 7,89% y del 3,95% en la categoría de Floración y Senescente, mientras que las categorías de Crecimiento vegetativo y Fructificación se redujeron en un 10,53% y 1,32% respectivamente. Este comportamiento es esperable a medida que avanza la temporada estival, ya que es normal que la floración aumente a medida que termina el invierno y comienza la primavera.

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 (julio y octubre). En julio, se registró intervención antrópica principalmente por presencia de basura y huellas vehiculares, mientras que en octubre este porcentaje aumentó también con huellas vehiculares y basura como principales factores de perturbación. Respecto a la afectación natural, se constató la presencia de burros silvestres, mediante la presencia de heces dentro de los polígonos. Observándose una disminución en el período estudiado.

1.5.2 Flora

De acuerdo con los monitoreos trimestrales desde enero de 2022 hasta octubre de 2024, en la quebrada de Camar se registra una riqueza acumulada de 26 taxas, agrupados en 13 familias. En los monitoreos específicos del segundo semestre del 2024 (julio y octubre), correspondientes a las temporadas de invierno y primavera se registraron 11 taxa respectivamente. Las coberturas de las especies más abundantes en el área son *Tessaria absinthioides*, registrando un 10,16% en julio y un 9,25% en octubre, similar a lo registrado en datos de períodos anteriores. En menor medida, se encuentran las especies: *Atriplex atacamensis* con un 1,86% en julio y un 1,85% en octubre; *Aloysia deserticola*, con coberturas de 0,68% en julio y 1,13% en octubre, y *Tiquilia atacamensis*, con un 0,58% en julio y un 0,70% en octubre. 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 Camar², los árboles aprovecharían el agua subsuperficial almacenada en el horizonte arcilloso del suelo, la cual proviene principalmente de escorrentías de zonas altas (3500 msnm), así como también de eventos de precipitaciones ocasionales que contribuyen a aumentar las reservas de agua disponible para las plantas, y en consecuencia la vitalidad de la población de algarrobos. De esta manera, logran no depender de los aportes que eventualmente podría ofrecer la napa freática, ya que en el sector esta se encuentra a más de 50 m y es inaccesible para las plantas.

² 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.

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 de cada año. En el período analizado (segundo semestre de 2024), se registró el mayor valor promedio de CHS en el mes de diciembre de 2024 (0,88%). Mientras que, por el contrario, en julio de 2024 se registró el menor promedio del semestre (0,39%).

1.6.2 Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE

Los resultados del segundo semestre de 2024 indican que, tanto en julio como en octubre, 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 (julio – octubre 2024) se registró una disminución en las mediciones de CHS en un 27,91% de los puntos muestreados.

En cuanto al pH del sustrato, los suelos en la quebrada de Camar son en su mayoría alcalinos, con un 53,49% y 48,84% de puntos clasificados como fuertemente alcalinos en julio y octubre respectivamente. En julio los valores de pH más altos se ubican en el matorral de *Tiquilia atacamensis*, y los más bajos en zonas de vegetación escasa. Por su parte, en octubre, los valores de pH más altos se encuentran en el matorral de *Tessaria absinthioides*, y los más bajos en matorral de *Tiquilia atacamensis* y zonas de vegetación escasa. 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 2023, posiblemente debido a la dilución de sales por eventos de precipitación.

Respecto a la salinidad del suelo, los datos correspondientes al segundo semestre de 2024 indican que la mayoría de los puntos son no salinos (55,81% en julio y octubre), seguido en segundo lugar por los puntos clasificados como fuertemente salinos (37,21% en julio y 34,88% en octubre). En menores proporciones se presentan categorías de mayor salinidad. El matorral de *Tessaria absinthioides* presenta los valores más altos de conductividad eléctrica (17,84 dS/m en julio y 13,46 dS/m en octubre), mientras que el matorral de *Tiquilia atacamensis* muestra los valores más bajos (0,11 dS/M en julio y 0,09 dS/m en octubre). 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 segundo 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 N° 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 Sur³, Catálogo de Plantas nativas del Herbario de la Universidad de Concepción⁴, IPNI⁵) 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*.

³ Recientemente actualizado en la página web del Instituto de Botánica Darwinion <http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/DetalleEspecie.asp?forma=&variedad=&subespecie=&especie=alba&genero=Neltuma&espcod=200674>

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

⁵ <https://www.ipni.org/n/77303585-1>

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

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

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

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 75⁶ ejemplares adultos ubicados en las proximidades del ex pozo de extracción Camar-2⁷, de los cuales 15 se encuentran desprendidos o desaparecidos hasta diciembre 2024.

Por otra parte, las series B, C y D han sido monitoreadas mensualmente desde abril de 2021 como parte de la Acción N° 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)⁸. 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 463 ejemplares hasta diciembre 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 al igual que los tres (3) individuos trasladados, 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 Programa de Cumplimiento (PdC). El individuo "AX-01"⁹ 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

⁶ 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).

⁷ 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.

⁸ La serie E fue incorporada en enero 2022 y no está identificada dentro del Programa 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.

⁹ 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.

trimestrales del contenido de humedad, pH y salinidad del suelo, asociados a las formaciones vegetacionales presentes en la quebrada.

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

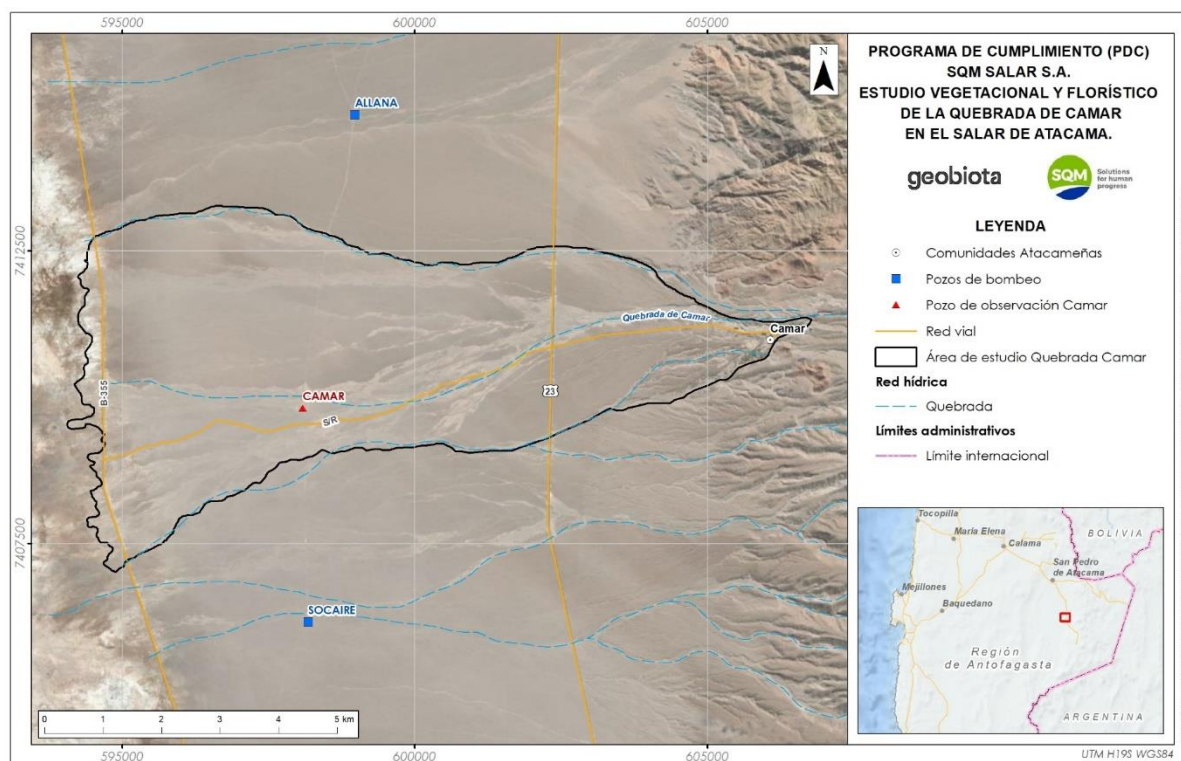
- Censar los individuos de la población de *Neltuma alba* (algarrobo) que se desarrolla en la quebrada de Camar, determinando su estado vital y sanitario a través de la evaluación de los parámetros vitalidad, porcentaje de copa viva, fenología, etapa de crecimiento y tipo de daño (animal o antrópico), 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 factores¹⁰, 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-58	598.113	7.409.506	E-046	605.974	7.411.097
A-02	598.065	7.409.914	C-59	598.111	7.409.505	E-047	606.040	7.410.946
A-03	598.032	7.409.929	C-60	598.095	7.409.489	E-048	606.041	7.410.951
A-04	598.066	7.409.720	C-61	598.143	7.409.493	E-049	606.040	7.410.949
A-05	598.004	7.409.777	C-62	598.141	7.409.504	E-050	606.036	7.410.954
A-06	597.867	7.409.701	C-63	598.178	7.409.518	E-051	606.034	7.410.959
A-07	597.031	7.409.692	C-64	598.142	7.409.509	E-052	606.033	7.410.957
A-08	597.052	7.409.693	C-65	598.545	7.409.716	E-053-A	606.047	7.410.951
A-09	597.055	7.409.705	C-66	598.557	7.409.715	E-053-B	606.047	7.410.951
A-10	597.087	7.409.700	C-67	598.563	7.409.723	E-054	606.046	7.410.951
A-11	597.201	7.409.691	C-68	598.588	7.409.731	E-055	606.039	7.410.946
A-12	597.223	7.409.975	C-69	598.602	7.409.736	E-056	606.043	7.410.944
A-13	597.288	7.409.962	C-70	598.609	7.409.691	E-057	606.051	7.410.951

¹⁰ La serie E se compone de 197 individuos hasta diciembre 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-14	597.286	7.409.993	C-71	598.602	7.409.695	E-058	606.055	7.410.950
A-15	597.260	7.409.999	C-72	598.575	7.409.725	E-059	606.046	7.410.956
A-16	597.582	7.409.925	C-74	598.105	7.409.481	E-060	606.051	7.410.960
A-17	597.603	7.409.916	C-75	598.098	7.409.481	E-061	606.044	7.410.960
A-18	597.621	7.409.920	C-76	598.109	7.409.492	E-062	606.050	7.410.966
A-19	597.621	7.409.913	C-77	598.102	7.409.488	E-063	606.054	7.410.970
A-20	597.627	7.409.921	C-78	598.469	7.409.679	E-064	606.042	7.410.968
A-21	597.632	7.409.915	C-79	598.469	7.409.679	E-065	606.029	7.410.940
A-22	597.634	7.409.921	D-01	599.662	7.409.953	E-066	606.021	7.410.910
A-23	597.645	7.409.915	D-02	599.297	7.409.919	E-067	606.023	7.410.909
A-24	597.649	7.409.924	D-03	599.294	7.409.926	E-068	606.024	7.410.911
A-25	597.655	7.409.919	D-04	599.278	7.409.953	E-069	606.021	7.410.912
A-26	597.665	7.409.923	D-05	599.277	7.409.966	E-070	606.018	7.410.915
A-27	597.679	7.409.918	D-06	599.282	7.410.001	E-071	606.019	7.410.917
A-28	597.683	7.409.912	D-07	599.227	7.410.004	E-072	606.014	7.410.895
A-29	597.747	7.409.936	D-08	599.204	7.409.970	E-073	606.008	7.410.893
A-30	597.788	7.409.952	D-09	599.070	7.409.990	E-074	606.005	7.410.891
A-31	597.792	7.409.953	D-10	598.731	7.409.609	E-075	605.998	7.410.898
A-32	598.738	7.409.919	D-11	598.693	7.409.626	E-076	605.952	7.410.788
A-33	598.759	7.409.902	D-12	598.710	7.409.682	E-077	605.959	7.410.780
A-34	598.819	7.409.920	D-13	598.570	7.409.716	E-078	605.845	7.410.745
A-35	598.848	7.409.926	D-14	598.603	7.409.715	E-079	605.833	7.410.743
A-36	598.732	7.409.766	D-15	598.610	7.409.710	E-080	605.807	7.410.778
A-37	598.698	7.409.766	D-16	598.562	7.409.705	E-081	605.814	7.410.786
A-38	598.677	7.409.695	D-17	598.540	7.409.679	E-082	605.772	7.410.776
A-39	598.670	7.409.699	D-18	598.578	7.409.639	E-083	605.766	7.410.789
A-40	598.574	7.409.693	D-19	598.564	7.409.621	E-085	606.038	7.410.912
A-41	598.469	7.409.677	D-20	598.550	7.409.624	E-086	606.040	7.410.915
A-42	598.403	7.409.674	D-21	598.537	7.409.626	E-087	605.556	7.410.590

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-43	598.432	7.409.734	D-22	598.529	7.409.626	E-088	605.563	7.410.582
A-44	598.449	7.409.740	D-23	598.523	7.409.610	E-089	605.561	7.410.584
A-45	598.488	7.409.746	D-24	598.098	7.409.448	E-090	605.498	7.410.577
A-46	598.492	7.409.741	D-25	598.160	7.409.501	E-091	605.497	7.410.576
A-47	598.581	7.409.758	D-26	598.113	7.409.457	E-092	605.495	7.410.569
A-48	598.314	7.409.784	D-27	598.112	7.409.453	E-093	605.495	7.410.563
A-49	598.579	7.409.683	D-28	598.055	7.409.879	E-094	605.509	7.410.561
A-50	598.543	7.409.660	D-29	598.107	7.409.900	E-095	605.494	7.410.559
A-51	598.491	7.409.653	D-30	598.086	7.409.861	E-096	605.493	7.410.561
A-52	598.483	7.409.654	D-31	598.078	7.409.798	E-097	605.489	7.410.563
A-53	598.414	7.409.660	D-32	598.111	7.409.491	E-098	605.484	7.410.567
A-54	598.419	7.409.645	D-33	598.103	7.409.488	E-099	605.485	7.410.558
A-55	598.388	7.409.586	D-34	598.695	7.409.708	E-100	605.484	7.410.549
A-56	598.359	7.409.612	D-35	598.660	7.409.717	E-101	605.486	7.410.550
A-57	598.341	7.409.607	D-36	599.272	7.409.965	E-102	605.482	7.410.548
A-58	598.407	7.409.807	D-37	599.230	7.409.982	E-103	605.439	7.410.545
A-59	597.880	7.409.705	D-38	598.117	7.410.175	E-104	605.436	7.410.548
A-60	597.318	7.409.687	D-39	598.116	7.410.182	E-108	605.297	7.410.425
A-61	597.595	7.409.927	D-40	598.119	7.410.189	E-109	605.295	7.410.415
A-62	597.697	7.409.914	D-41	598.118	7.410.190	E-110	605.305	7.410.418
A-63	597.715	7.409.919	D-42	598.118	7.410.207	E-111	605.303	7.410.418
A-64	597.703	7.409.910	D-43	598.117	7.410.214	E-112	605.308	7.410.411
A-65	597.718	7.409.904	D-45	598.189	7.409.866	E-113	605.305	7.410.406
A-66	597.731	7.409.907	D-46	598.516	7.409.637	E-114	605.307	7.410.403
A-67	597.746	7.409.922	D-47	598.509	7.409.661	E-115	605.304	7.410.393
A-68	597.767	7.409.938	D-48	598.679	7.409.705	E-116	605.322	7.410.402
A-69	598.076	7.409.878	D-49	598.728	7.409.637	E-117	605.324	7.410.401
A-70	598.028	7.409.873	D-50	598.745	7.409.632	E-118	605.326	7.410.400
A-71	597.817	7.409.786	D-51	598.760	7.409.662	E-119	605.330	7.410.403

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

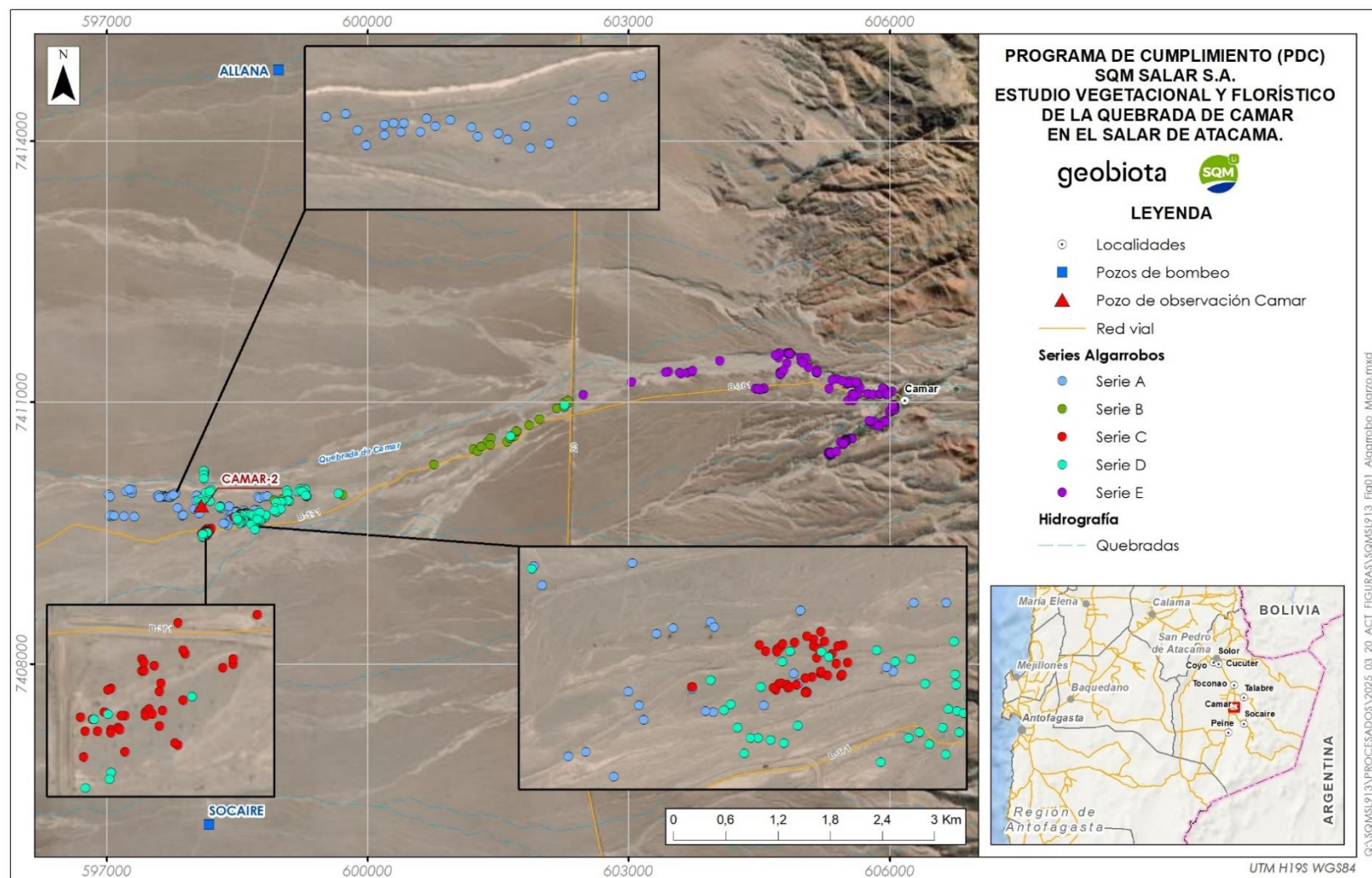
Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
AX-01	598.305	7.409.804	D-52	598.755	7.409.668	E-120	605.313	7.410.411
AX-02	597.020	7.409.942	D-53	598.795	7.409.663	E-121	605.311	7.410.414
AX-03	597.037	7.409.920	D-54	598.822	7.409.679	E-122	605.310	7.410.416
AX-76	597.609	7.409.906	D-55	598.810	7.409.698	E-123	605.307	7.410.422
B-01	598.922	7.409.874	D-56	598.829	7.409.702	E-124	605.305	7.410.426
B-02	599.016	7.409.889	D-57	598.741	7.409.692	E-125	605.313	7.410.423
B-03	599.710	7.409.937	D-58	599.249	7.409.977	E-126	605.316	7.410.418
B-04	600.761	7.410.288	D-59	601.641	7.410.610	E-127	605.319	7.410.425
B-05	601.215	7.410.461	D-60	599.289	7.409.931	E-128	605.318	7.410.425
B-06	601.266	7.410.440	D-61	598.987	7.409.858	E-129	605.324	7.410.414
B-07	601.306	7.410.495	D-62	598.743	7.409.654	E-130	605.390	7.410.434
B-08	601.379	7.410.552	D-63	598.714	7.409.620	E-132	605.468	7.410.532
B-09	601.420	7.410.585	D-64	599.100	7.409.867	E-133	605.476	7.410.527
B-10	601.403	7.410.509	D-65	599.076	7.409.951	E-134	605.472	7.410.529
B-11	601.603	7.410.548	D-66	599.083	7.409.874	E-135	604.455	7.411.156
B-12	601.635	7.410.587	D-67	598.742	7.409.681	E-137	603.033	7.411.234
B-13	601.683	7.410.612	D-68	598.114	7.410.168	E-138	603.606	7.411.329
B-14	601.711	7.410.666	D-69	598.138	7.409.964	E-139	603.585	7.411.343
B-15	601.710	7.410.672	D-70	598.180	7.409.952	E-140	604.510	7.411.144
B-16	601.856	7.410.736	D-71	599.083	7.409.873	E-141	603.675	7.411.341
B-17	601.972	7.410.806	D-72	599.015	7.409.861	E-142	603.724	7.411.353
B-18	602.174	7.410.934	D-73	598.997	7.409.858	E-143	603.733	7.411.365
B-19	602.256	7.410.943	D-74	598.944	7.409.853	E-144	606.042	7.410.953
B-20	602.261	7.410.998	D-75	598.488	7.409.686	E-145	606.048	7.410.944
B-21	602.313	7.410.998	D-76	598.502	7.409.655	E-146	606.051	7.410.921
BX-01	602.298	7.411.023	D-77	598.704	7.409.632	E-147	606.018	7.410.911
C-01	598.556	7.409.676	D-78	598.766	7.409.642	E-148	605.873	7.410.732
C-02	598.553	7.409.678	D-79	598.750	7.409.652	E-149	605.975	7.411.097
C-03	598.559	7.409.682	D-80	598.664	7.409.601	E-150	605.971	7.411.097

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-04	598.559	7.409.682	D-81	598.703	7.409.537	E-151	605.993	7.411.112
C-05	598.561	7.409.683	D-82	598.942	7.409.788	E-152	605.937	7.411.151
C-06	598.567	7.409.681	D-83	598.950	7.409.740	E-153	605.932	7.411.156
C-07	598.568	7.409.678	D-83B	598.949	7.409.738	E-154	605.925	7.411.155
C-08	598.570	7.409.679	D-84	598.740	7.409.726	E-155	605.923	7.411.161
C-09	598.577	7.409.681	D-85	598.116	7.410.127	E-156	605.522	7.411.221
C-10	598.588	7.409.673	D-86	598.760	7.409.733	E-157	605.522	7.411.220
C-11	598.587	7.409.674	D-87	598.303	7.409.801	E-158	605.306	7.411.156
C-12	598.586	7.409.673	D-88	598.998	7.409.774	E-159	604.850	7.411.570
C-13A	598.593	7.409.689	D-89	598.931	7.409.759	E-160	604.743	7.411.332
C-13B	598.586	7.409.688	D-90	602.267	7.410.969	E-161	606.043	7.410.945
C-14	598.602	7.409.693	E-001	606.029	7.411.124	E-162	605.165	7.411.340
C-15	598.603	7.409.693	E-002	605.751	7.411.098	E-163	604.990	7.411.468
C-16	598.618	7.409.703	E-003	605.752	7.411.099	E-164	604.745	7.411.334
C-17	598.623	7.409.690	E-004	605.648	7.411.143	E-165	604.489	7.411.159
C-18	598.624	7.409.692	E-005	605.574	7.411.225	E-166	605.975	7.411.096
C-19	598.630	7.409.704	E-006	605.555	7.411.222	E-167	606.058	7.410.915
C-20	598.539	7.409.722	E-007	605.534	7.411.243	E-168	606.057	7.410.912
C-21	598.557	7.409.718	E-008	605.513	7.411.217	E-169	605.977	7.411.091
C-22	598.560	7.409.720	E-009	605.392	7.411.271	E-170	605.040	7.411.515
C-23	598.595	7.409.728	E-010	605.342	7.411.255	E-171	603.458	7.411.354
C-24	598.595	7.409.721	E-011	605.157	7.411.342	E-172	606.047	7.410.952
C-25	598.599	7.409.719	E-013	605.163	7.411.368	E-173	606.044	7.410.954
C-26	598.606	7.409.726	E-014	604.976	7.411.510	E-174	605.069	7.411.397
C-27	598.598	7.409.709	E-015	604.863	7.411.556	E-175	604.831	7.411.559
C-28	598.614	7.409.713	E-016	604.835	7.411.561	E-176	604.731	7.411.567
C-29	598.625	7.409.722	E-017	604.820	7.411.568	E-177	604.691	7.411.544
C-30	598.620	7.409.721	E-018	604.725	7.411.511	E-178	604.840	7.411.567
C-31	598.097	7.409.466	E-019	604.818	7.411.448	E-179	605.161	7.411.344

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-32	598.113	7.409.482	E-020	604.744	7.411.349	E-180	604.744	7.411.325
C-33	598.113	7.409.480	E-021	604.553	7.411.155	E-181	605.626	7.411.209
C-34	598.117	7.409.483	E-022	604.553	7.411.155	E-182	605.624	7.411.221
C-35	598.118	7.409.482	E-023	604.555	7.411.161	E-183	605.626	7.411.215
C-36	598.121	7.409.469	E-024	605.524	7.411.020	E-184	605.662	7.411.161
C-37	598.121	7.409.490	E-025	605.577	7.411.022	E-185	605.976	7.411.097
C-38	598.119	7.409.490	E-026	605.577	7.411.040	E-186	605.974	7.411.099
C-39	598.133	7.409.492	E-027	605.574	7.411.097	E-187	605.629	7.411.089
C-40	598.135	7.409.494	E-028	605.608	7.411.093	E-188	605.629	7.411.090
C-41	598.133	7.409.490	E-029	605.811	7.411.093	E-190	606.053	7.410.957
C-42	598.137	7.409.491	E-030	605.885	7.411.098	E-191	605.965	7.411.108
C-43	598.141	7.409.484	E-031	605.891	7.411.099	E-192	606.046	7.410.966
C-44	598.152	7.409.473	E-032	605.894	7.411.099	E-193	604.047	7.411.474
C-45	598.150	7.409.474	E-033	605.970	7.411.100	E-194	605.459	7.411.243
C-46	598.155	7.409.499	E-034	605.972	7.411.097	E-195	604.747	7.411.329
C-47	598.184	7.409.520	E-035	605.975	7.411.099	E-196	606.043	7.410.945
C-48	598.184	7.409.523	E-036	605.977	7.411.101	E-197	606.047	7.410.968
C-49	598.198	7.409.549	E-037	605.971	7.411.096	E-198	606.044	7.410.967
C-50	598.152	7.409.544	E-038	605.968	7.411.096	E-199	605.973	7.411.092
C-51	598.156	7.409.526	E-039	605.975	7.411.097	E-200	603.426	7.411.349
C-52	598.155	7.409.528	E-040	605.971	7.411.092	E-201	602.479	7.411.086
C-53	598.138	7.409.519	E-041	605.973	7.411.098	E-202	604.983	7.411.471
C-54	598.131	7.409.523	E-042	605.975	7.411.098	E-203	604.849	7.411.562
C-55	598.132	7.409.521	E-043	605.977	7.411.099	E-204	604.782	7.411.368
C-56	598.131	7.409.516	E-044	605.975	7.411.099	--	--	--
C-57	598.132	7.409.516	E-045	605.972	7.411.100	--	--	--

Figura 4-2. Ubicación de los ejemplares de *Neltuma 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 N° 28¹¹ 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.

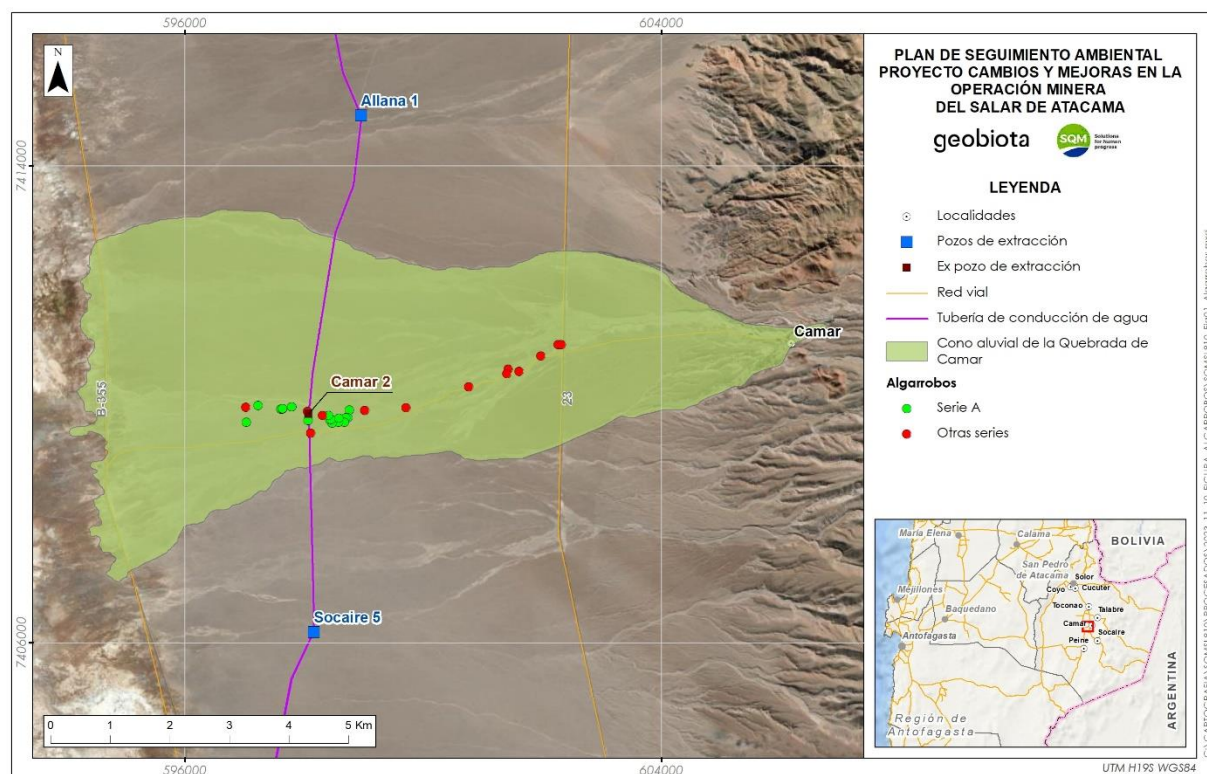
Tabla 4-2. Ubicación de los individuos de Algarrobos monitoreados (Datum WGS84 Huso 19S)

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

¹¹ 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 Tabla 4-3 se identifican los individuos y sus coordenadas de ubicación (coordenadas UTM, WGS84 Huso 19S), además su distribución espacial se presenta en la Figura 4-4.

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-01	598.100	7.409.909	B-14	601.711	7.410.666	D-01	599.662	7.409.953
A-02	598.065	7.409.914	B-15	601.710	7.410.672	D-02	599.297	7.409.919
A-03	598.032	7.409.929	B-16	601.856	7.410.736	D-03	599.294	7.409.926
A-04	598.066	7.409.720	B-17	601.972	7.410.806	D-04	599.278	7.409.953
A-05	598.004	7.409.777	B-18	602.174	7.410.934	D-05	599.277	7.409.966

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-06	597.867	7.409.701	B-19	602.256	7.410.943	D-06	599.282	7.410.001
A-07	597.031	7.409.692	B-20	602.261	7.410.998	D-07	599.227	7.410.004
A-08	597.052	7.409.693	B-21	602.313	7.410.998	D-08	599.204	7.409.970
A-09	597.055	7.409.705	BX-01	602.298	7.411.023	D-09	599.070	7.409.990
A-10	597.087	7.409.700	C-01	598.556	7.409.676	D-10	598.731	7.409.609
A-11	597.201	7.409.691	C-02	598.553	7.409.678	D-11	598.693	7.409.626
A-12	597.223	7.409.975	C-03	598.559	7.409.682	D-12	598.710	7.409.682
A-13	597.288	7.409.962	C-04	598.559	7.409.682	D-13	598.570	7.409.716
A-14	597.286	7.409.993	C-05	598.561	7.409.683	D-14	598.603	7.409.715
A-15	597.260	7.409.999	C-06	598.567	7.409.681	D-15	598.610	7.409.710
A-16	597.582	7.409.925	C-07	598.568	7.409.678	D-16	598.562	7.409.705
A-17	597.603	7.409.916	C-08	598.570	7.409.679	D-17	598.540	7.409.679
A-18	597.621	7.409.920	C-09	598.577	7.409.681	D-18	598.578	7.409.639
A-19	597.621	7.409.913	C-10	598.588	7.409.673	D-19	598.564	7.409.621
A-20	597.627	7.409.921	C-11	598.587	7.409.674	D-20	598.550	7.409.624
A-21	597.632	7.409.915	C-12	598.586	7.409.673	D-21	598.537	7.409.626
A-22	597.634	7.409.921	C-13A	598.593	7.409.689	D-22	598.529	7.409.626
A-23	597.645	7.409.915	C-13B	598.586	7.409.688	D-23	598.523	7.409.610
A-24	597.649	7.409.924	C-14	598.602	7.409.693	D-24	598.098	7.409.448
A-25	597.655	7.409.919	C-15	598.603	7.409.693	D-25	598.160	7.409.501
A-26	597.665	7.409.923	C-16	598.618	7.409.703	D-26	598.113	7.409.457
A-27	597.679	7.409.918	C-17	598.623	7.409.690	D-27	598.112	7.409.453
A-28	597.683	7.409.912	C-18	598.624	7.409.692	D-28	598.055	7.409.879
A-29	597.747	7.409.936	C-19	598.630	7.409.704	D-29	598.107	7.409.900
A-30	597.788	7.409.952	C-20	598.539	7.409.722	D-30	598.086	7.409.861
A-31	597.792	7.409.953	C-21	598.557	7.409.718	D-31	598.078	7.409.798
A-32	598.738	7.409.919	C-22	598.560	7.409.720	D-32	598.111	7.409.491
A-33	598.759	7.409.902	C-23	598.595	7.409.728	D-33	598.103	7.409.488
A-34	598.819	7.409.920	C-24	598.595	7.409.721	D-34	598.695	7.409.708
A-35	598.848	7.409.926	C-25	598.599	7.409.719	D-35	598.660	7.409.717

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

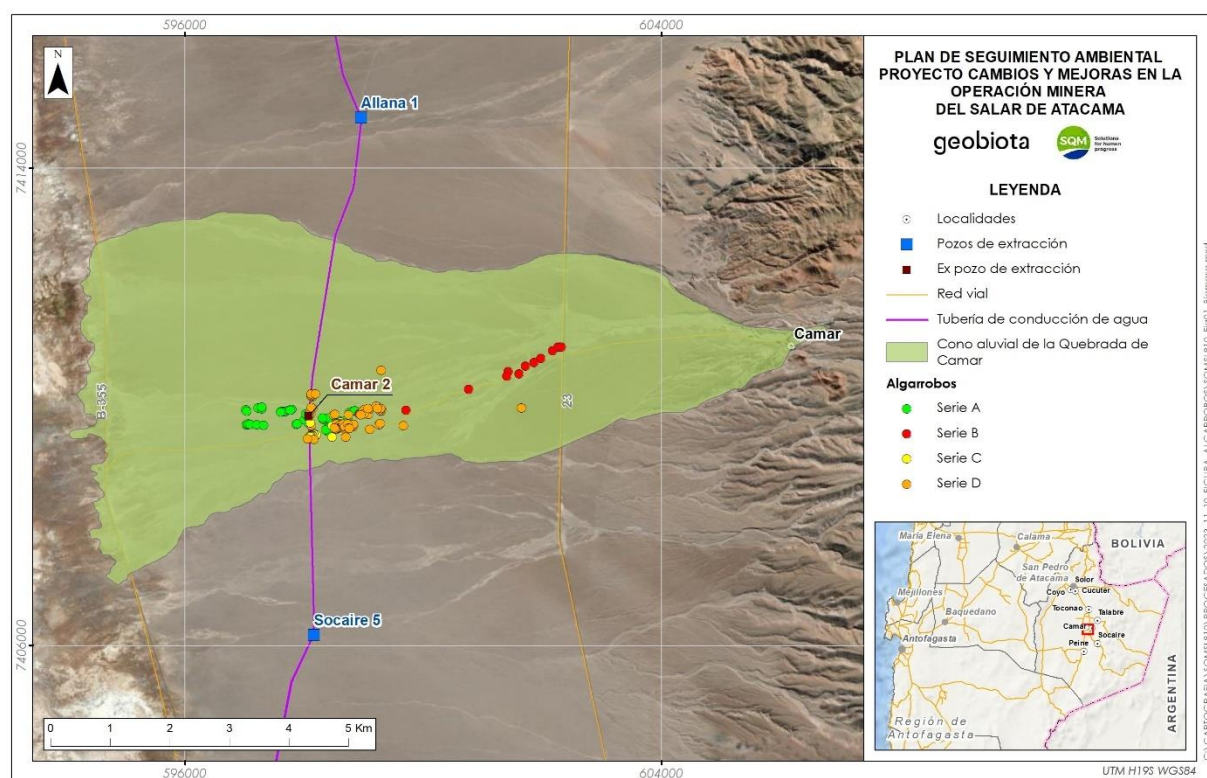
Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM		Punto	Coordenadas UTM	
	Este	Norte		Este	Norte		Este	Norte
A-36	598.732	7.409.766	C-26	598.606	7.409.726	D-36	599.272	7.409.965
A-37	598.698	7.409.766	C-27	598.598	7.409.709	D-37	599.230	7.409.982
A-38	598.677	7.409.695	C-28	598.614	7.409.713	D-38	598.117	7.410.175
A-39	598.670	7.409.699	C-29	598.625	7.409.722	D-39	598.116	7.410.182
A-40	598.574	7.409.693	C-30	598.620	7.409.721	D-40	598.119	7.410.189
A-41	598.469	7.409.677	C-31	598.097	7.409.466	D-41	598.118	7.410.190
A-42	598.403	7.409.674	C-32	598.113	7.409.482	D-42	598.118	7.410.207
A-43	598.432	7.409.734	C-33	598.113	7.409.480	D-43	598.117	7.410.214
A-44	598.449	7.409.740	C-34	598.117	7.409.483	D-45	598.189	7.409.866
A-45	598.488	7.409.746	C-35	598.118	7.409.482	D-46	598.516	7.409.637
A-46	598.492	7.409.741	C-36	598.121	7.409.469	D-47	598.509	7.409.661
A-47	598.581	7.409.758	C-37	598.121	7.409.490	D-48	598.679	7.409.705
A-48	598.314	7.409.784	C-38	598.119	7.409.490	D-49	598.728	7.409.637
A-49	598.579	7.409.683	C-39	598.133	7.409.492	D-50	598.745	7.409.632
A-50	598.543	7.409.660	C-40	598.135	7.409.494	D-51	598.760	7.409.662
A-51	598.491	7.409.653	C-41	598.133	7.409.490	D-52	598.755	7.409.668
A-52	598.483	7.409.654	C-42	598.137	7.409.491	D-53	598.795	7.409.663
A-53	598.414	7.409.660	C-43	598.141	7.409.484	D-54	598.822	7.409.679
A-54	598.419	7.409.645	C-44	598.152	7.409.473	D-55	598.810	7.409.698
A-55	598.388	7.409.586	C-45	598.150	7.409.474	D-56	598.829	7.409.702
A-56	598.359	7.409.612	C-46	598.155	7.409.499	D-57	598.741	7.409.692
A-57	598.341	7.409.607	C-47	598.184	7.409.520	D-58	599.249	7.409.977
A-58	598.407	7.409.807	C-48	598.184	7.409.523	D-59	601.641	7.410.610
A-59	597.880	7.409.705	C-49	598.198	7.409.549	D-60	599.289	7.409.931
A-60	597.318	7.409.687	C-50	598.152	7.409.544	D-61	598.987	7.409.858
A-61	597.595	7.409.927	C-51	598.156	7.409.526	D-62	598.743	7.409.654
A-62	597.697	7.409.914	C-52	598.155	7.409.528	D-63	598.714	7.409.620
A-63	597.715	7.409.919	C-53	598.138	7.409.519	D-64	599.100	7.409.867
A-64	597.703	7.409.910	C-54	598.131	7.409.523	D-65	599.076	7.409.951
A-65	597.718	7.409.904	C-55	598.132	7.409.521	D-66	599.083	7.409.874

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-66	597.731	7.409.907	C-56	598.131	7.409.516	D-67	598.742	7.409.681
A-67	597.746	7.409.922	C-57	598.132	7.409.516	D-68	598.114	7.410.168
A-68	597.767	7.409.938	C-58	598.113	7.409.506	D-69	598.138	7.409.964
A-69	598.076	7.409.878	C-59	598.111	7.409.505	D-70	598.180	7.409.952
A-70	598.028	7.409.873	C-60	598.095	7.409.489	D-71	599.083	7.409.873

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	Descripción visual
	Porcentaje de copa viva	Mediciones de potencial hídrico y conductancia estomática
	Fenología	Medición en terreno de variables dendrométricas
	Etapas de crecimiento	
	Daño (afectación antrópica y animal)	
	Potencial hídrico y conductancia estomática	
	Variables dendrométricas	

Fuente: Elaboración propia, 2024

Los parámetros evaluados y la metodología utilizada para estimar el estado vital de los individuos son 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, etapas 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 4-7, Tabla 4-8 y Tabla 4-9, 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%

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

Código	Follaje verde (%)
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 Programa de cumplimiento¹², 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,

¹² "Estudio Vegetacional y florístico de la Quebrada de Camar en el Salar de Atacama". Anexo 2.1.1 del Programa de cumplimiento.

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	Etapas 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 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 0,1 m de altura, en cm.

Dentro del Anexo 10 se exponen, para cada serie de árboles, las variables dendrométricas comprometidas en el marco de la acción N°24 del Programa 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 CO₂ y humedad. La conductancia estomática es la velocidad de paso de CO₂ o vapor de agua a través de los estomas y es una función de la densidad, tamaño y grado de apertura de los estomas. Las mediciones se realizan entre las horas de máxima apertura estomática, entre 8:30 y 10:00 horas, en hojas adultas y sanas de exposición Este.

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

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

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

4.2.3.3 Estimación de la biomasa

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

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

- Diámetro del fuste más largo (dls). Corresponde al diámetro del fuste más largo medido a los 0,1 m de altura en cm.

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

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

Donde:

Dbe = Diámetro basal equivalente (cm)

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

A partir de esta información se determinaron los siguientes parámetros:

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

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

de tamaños y las funciones aplicadas provienen de poblaciones de diversas especies del género y, a su vez, con diversos tamaños y hábitos de crecimiento.

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

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

4.3.1 Ubicación de los individuos

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

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

N°	ID	Coordenadas UTM Datum WGS84 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

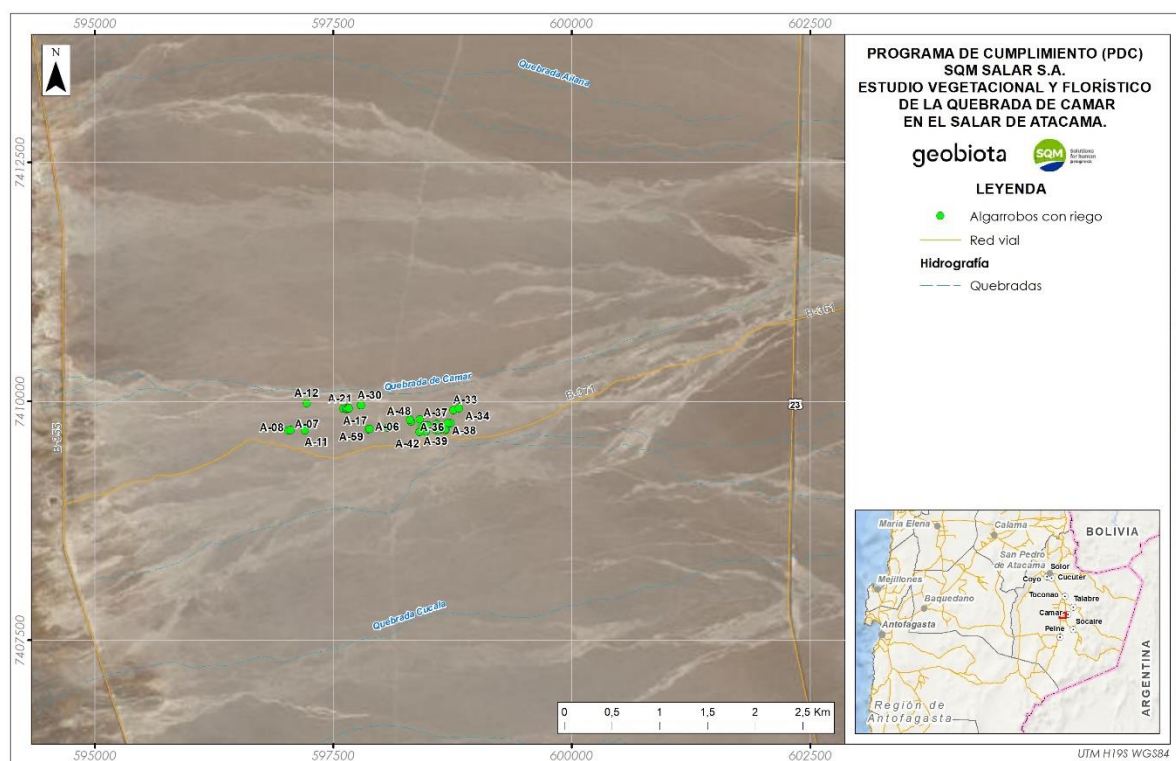
Tabla 4-10. Ubicación georreferenciada de ejemplares de algarrobos con riego

N°	ID	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S		N°	ID	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso19S	
		Este	Norte			Este	Norte
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 4-11 y Tabla 4-12:

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.
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 N° 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, 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 flora¹³), 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

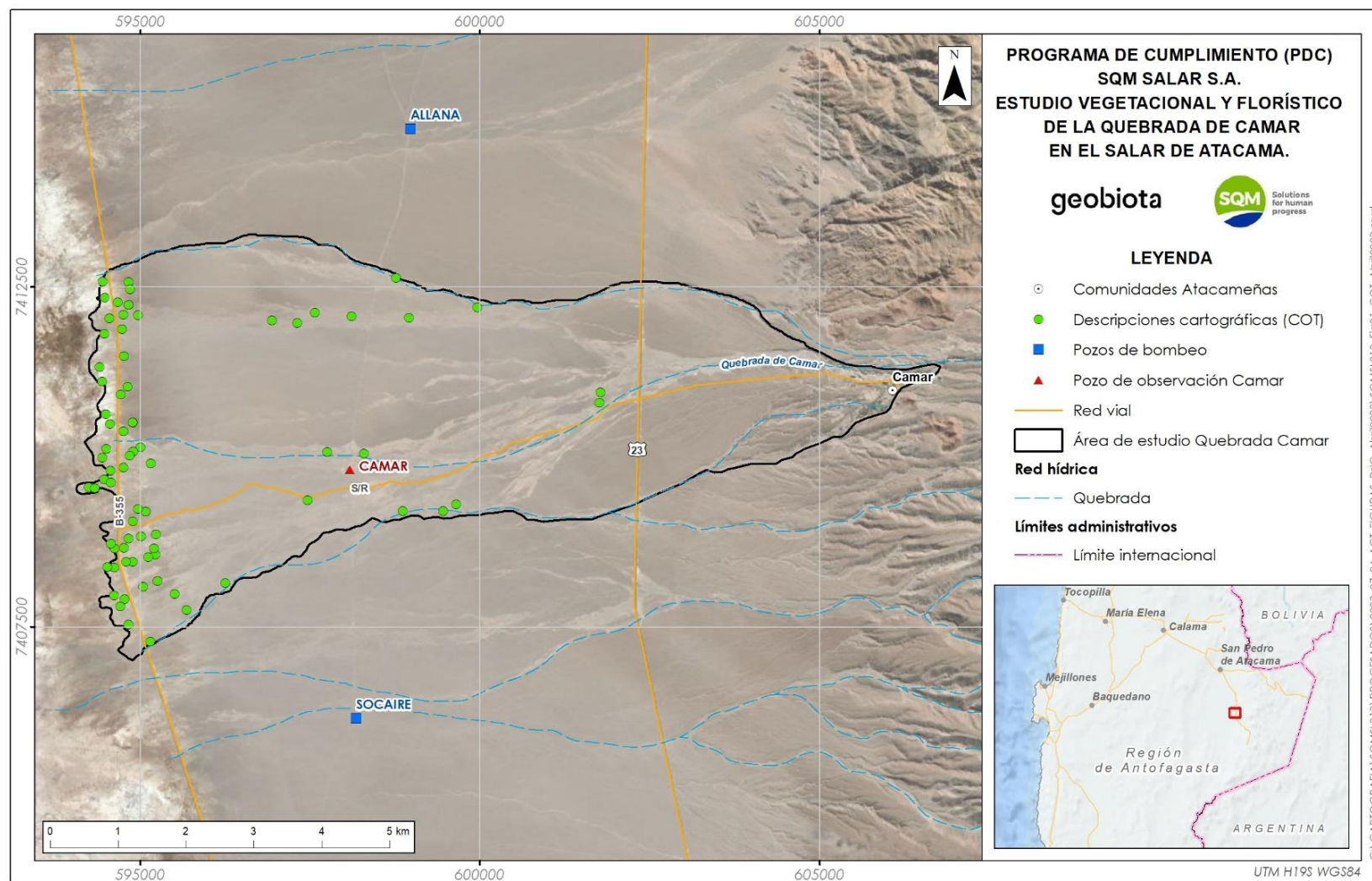
¹³ Para el presente monitoreo sólo se consideraron los datos de 75 puntos, equivalentes a 225 transectos, a diferencia de las COT (76), que consideran el P-01 realizado a distancia, ya que este se encuentra dentro de un recinto privado.

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-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
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 segundo semestre 2024

Formación vegetacional	Julio 2024			Octubre 2024		
	Superficie (ha)	Vegetación (N° observaciones)	Flora (N° transectos)	Superficie (ha)	Vegetación (N° observaciones)	Flora (N° transectos)
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i>	242,31	43	130	239,24	42	126
Matorral de <i>Tiquilia atacamensis</i>	98,74	5	15	98,74	5	15
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i> – <i>Atriplex imbricata</i>	23,07	8	23	23,07	8	24
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> – <i>Ephedra multiflora</i>	35,07	7	21	35,07	7	21
Pradera de <i>Distichlis spicata</i>	0,48	0	0	3,55	1	3
Bosque de <i>Neltuma alba</i>	9,34	0	0	9,34	0	0
Total	409,01	63	189	409,01	63	189
Zona de vegetación escasa	3.582,49	12	36	3.582,49	12	36
Total	3.991,50¹⁴	75	225	3.991,50¹⁵	75	225

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

¹⁴ No se incluyen las zonas identificadas como otras superficies intervenidas (52,54 ha).

¹⁵ No es posible realizar muestreos en el bosque de *Neltuma alba*, ya que éste se encuentra dentro del pueblo de Camar, para el cual no se tuvo acceso durante el monitoreo.

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; Etienne y Prado, 1982). 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:

Etapas 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 Atacama¹⁶.

Etapas 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 fusinado (pansharpening) una resolución de 0,5 m.

Etapas 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

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

Tabla 4-17. Rangos de altura por tipo biológico

Arbóreo	Arbustivo	Herbáceo	Suculento
>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 encuentren.

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

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

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

Etapas 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.

Etapas 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.

Etapas 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 (julio y octubre de 2023).

4.4.3.2 Caracterización de la flora vascular

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

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

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

- a. Riqueza florística

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

- Registro a nivel específico,
- Infraespecies (subespecies, variedad, forma),

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

b. Cobertura relativa por especie

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

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

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

Donde;

CT_t = cobertura absoluta del transecto t (%),

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

n = número de especies en el transecto t.

4.5 Evaluación de parámetros del suelo

4.5.1 Ubicación de los puntos de monitoreo de suelo

4.5.1.1 Monitoreo mensual de CHS

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

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

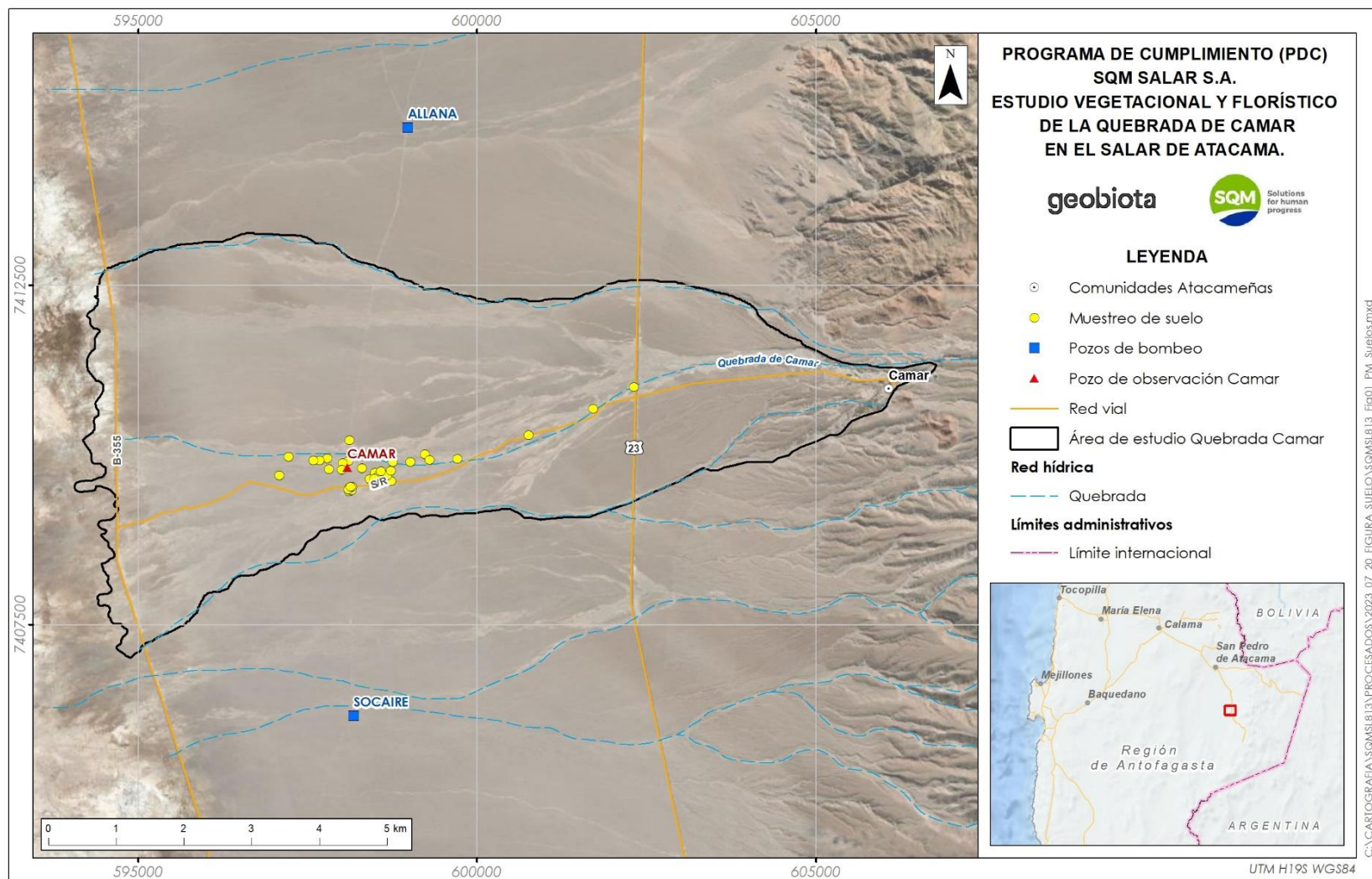
N	N° árbol	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S		N	N° árbol	Coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S	
		Este	Norte			Este	Norte
01	A05	598.000	7.409.770	21	B21	602.313	7.411.000
02	A10	597.084	7.409.690	22	C15	598.603	7.409.690
03	A12	597.220	7.409.970	23	C19	598.630	7.409.700
04	A17	597.603	7.409.916	24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

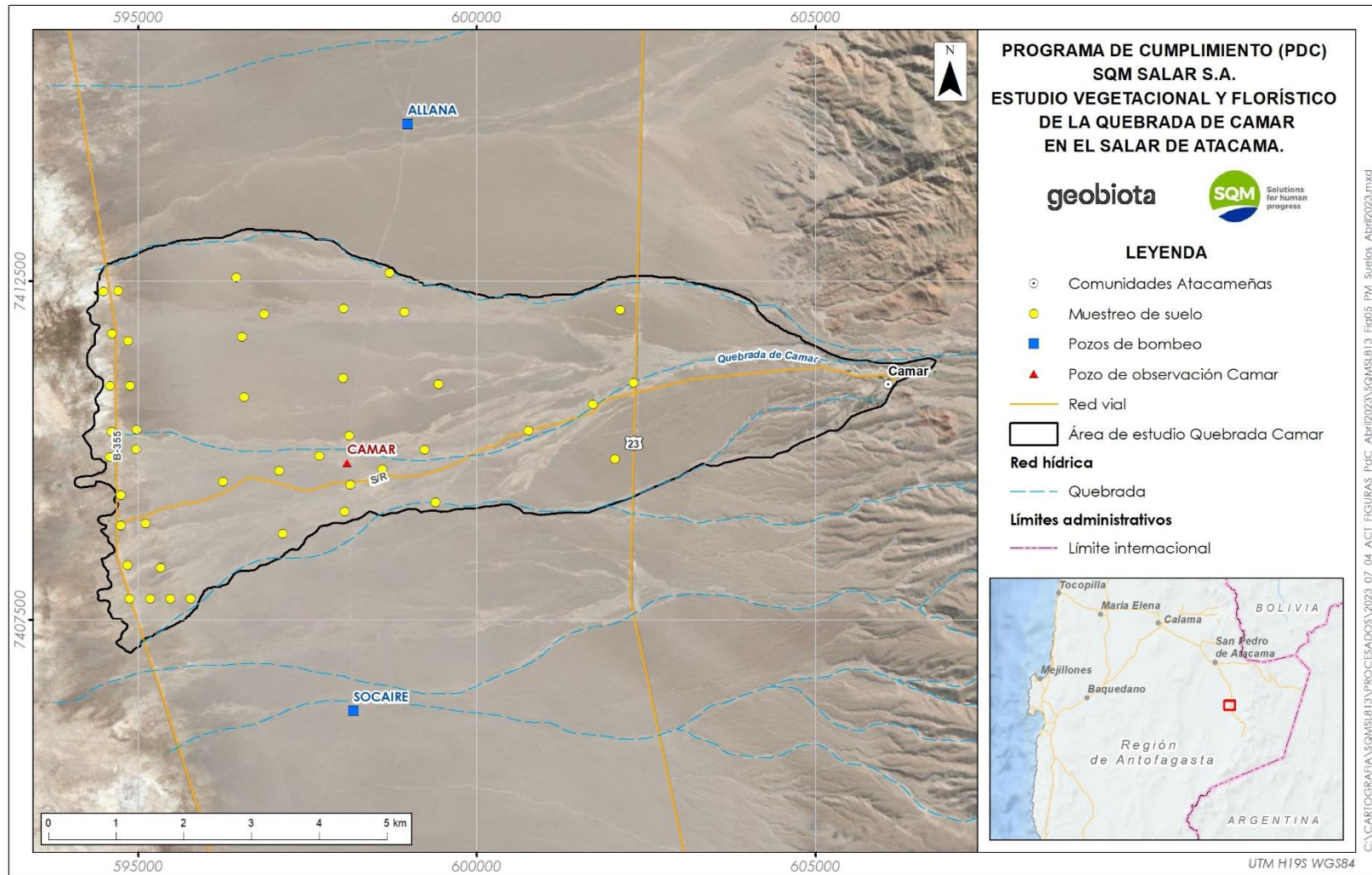
En el caso del monitoreo trimestral, el muestreo se realiza en los alrededores de algunos individuos de algarrobos y, además, se incorporan puntos de muestreo en la zona donde hay mayor desarrollo de vegetación, en el sector más bajo de la quebrada, totalizando en 43 muestras, tal como se establece en 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 ALS Life Sciences Chile¹⁷, autorizada como Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) para la toma de muestras de suelo¹⁸. 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 el Sistema de Información Geográfico (SIG) ArcGIS 10.8.2. 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 Cámara de presión Scholander

¹⁷ Código ETFA 029-03.

¹⁸ 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
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 TimeStamp Camera 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 TimeStamp Camera

Fuente: Elaboración propia, 2024

4.7 Fechas de muestreo

Las fechas de cada campaña de monitoreo realizada en el marco del Programa de Cumplimiento se detallan en Tabla 4-23, Tabla 4-24, Tabla 4-25, Tabla 4-26, Tabla 4-27 y Tabla 4-28.

Tabla 4-23. Fechas de muestreo monitoreo de algarrobos segundo semestre 2024

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo algarrobos – julio 2024	22/07/2024 – 26/07/2024
Monitoreo algarrobos – agosto 2024	26/08/2024 – 30/08/2024
Monitoreo algarrobos – septiembre 2024	23/09/2024 – 27/09/2024
Monitoreo algarrobos – octubre 2024	21/10/2024 – 25/10/2024
Monitoreo algarrobos – noviembre 2024	18/11/2024 – 22/11/2024
Monitoreo algarrobos – diciembre 2024	16/12/2024 – 20/12/2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 4-24. Fechas de monitoreo del estado de los componentes del riego, segundo semestre 2024

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo algarrobos – julio 2024	06/07/2024
	20/07/2024
Monitoreo algarrobos – agosto 2024	09/08/2024
	23/08/2024
	30/08/2024
Monitoreo algarrobos – septiembre 2024	06/09/2024
	23/09/2024
Monitoreo algarrobos – octubre 2024	05/10/2024
	11/10/2024
	18/10/2024
	26/10/2024
	30/10/2024
Monitoreo algarrobos – noviembre 2024	09/11/2024
	15/11/2024
	22/11/2024
	30/11/2024
Monitoreo algarrobos – diciembre 2024	06/12/2024
	13/12/2024
	20/12/2024
	27/12/2024

Fuente: GMA SQM Salar, 2024

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

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo fisiología – julio 2024	25/07/2024 – 26/07/2024
Monitoreo fisiología – octubre 2024	02/10/2024 – 04/10/2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

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

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo variables dendrométricas – julio 2024	01/07/2024 – 05/07/2024
Monitoreo variables dendrométricas – octubre 2024	13/10/2024 – 17/10/2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

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

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo flora y vegetación – julio 2024	22/07/2024 al 26/07/2024
Monitoreo flora y vegetación – octubre 2024	21/10/2024 al 25/10/2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

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

Campaña	Fecha de monitoreo
Monitoreo mensual CHS – julio 2024	22/07/2024 – 23/07/2024
Monitoreo mensual CHS – agosto 2024	27/08/2024 – 28/08/2024
Monitoreo mensual CHS – septiembre 2024	24/09/2024 - 25/09/2024
Monitoreo mensual CHS – octubre 2024	21/10/2024 - 23/10/2024
Monitoreo mensual CHS – noviembre 2024	26/11/2024 - 27/11/2024
Monitoreo mensual CHS – diciembre 2024	19/12/2024 - 20/12/2024
Monitoreo trimestral CHS, pH y CE – julio 2024	22/07/2024 - 24/07/2024
Monitoreo trimestral CHS, pH y CE – octubre 2024	21/10/2024 - 23/10/2024

Fuente: Elaboración propia, 2024

5 Resultados

A continuación, se presentan los resultados asociados al monitoreo del segundo semestre de 2024 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 julio y diciembre de 2024, se han incorporado 6 individuos nuevos al monitoreo, aumentando el universo de 457 individuos monitoreados en julio 2024 a 463 individuos de algarrobos hasta la fecha (diciembre de 2024). Este número total de individuos se desglosa en: individuos en pie (348), 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, 54 individuos de la serie C, 69 individuos de la serie D y 153 individuos de la serie E. Cabe destacar que los individuos desaparecidos, trasladados, o individuos de *Strombocarpa tamarugo*, no se consideran para el análisis de resultados del monitoreo.

De los 6 individuos que se han incorporado durante este período, cinco (5) fueron incorporados a la serie D al ubicarse al oeste de la ruta internacional y uno (1) se incorporó a la serie E al ubicarse al este de esta ruta, en las cercanías del pueblo de Camar.

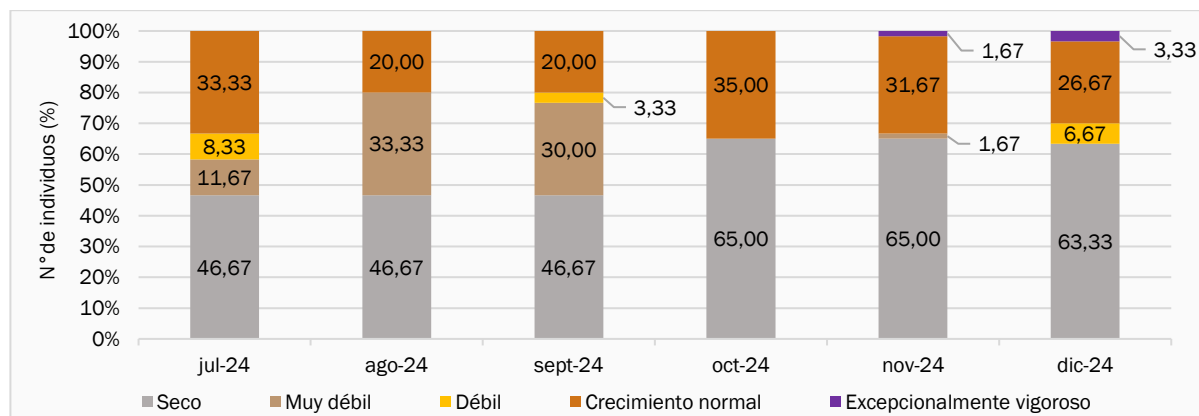
A continuación, se presentan los resultados asociados a la variación mensual que han tenido las variables de vitalidad, porcentaje de copa viva, fenología, etapa de crecimiento y daño, de la población de algarrobos en la quebrada de Camar. La base datos obtenida en las campañas de monitoreo del segundo 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 categorizados como secos en el segundo semestre de 2024 presentó un aumento, pasando de un 46,67% registrado en los meses de julio, agosto y septiembre, a 65% en octubre y noviembre. Culminando con un leve descenso en diciembre, donde se registró un 63,33%. Cabe destacar que, se consideran individuos secos aquellos que no presentan follaje verde ni estructuras reproductivas de ningún tipo.

En cuanto a los individuos en estado Muy débil, en los meses de agosto y septiembre representan cerca de un tercio del total de ejemplares de la serie. No obstante, en los últimos tres monitoreos (octubre, noviembre y diciembre), no se observan individuos en esta categoría, excepto por un solo registro en noviembre. La categoría Débil, se presenta de manera intermitente en los diferentes meses, con valores que oscilan entre 3,33% y 8,33%. En cuanto a la categoría Crecimiento normal, esta se encuentra presente en todos los monitoreos del semestre, y a nivel general, corresponde a la categoría viva con mayor proporción de individuos, oscilando entre 20% y 35% del total. Finalmente, la categoría Ex. vigoroso se presenta en los dos últimos monitoreos, registrando un 1,67% y 3,33% de participación para los meses de noviembre y diciembre respectivamente.

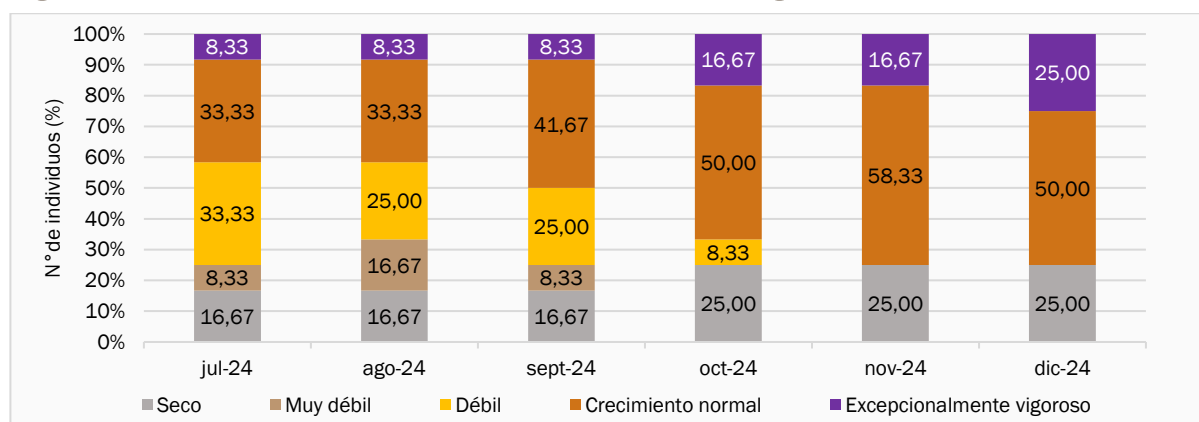
Figura 5-1. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la serie B (Figura 5-2), el porcentaje de individuos secos en el segundo semestre de 2024 presenta un aumento al pasar de 16,67%, registrado entre julio y septiembre, a un 25% entre octubre y diciembre. Los individuos en las categorías Débil y Muy débil presentan una disminución progresiva a lo largo de los meses, de modo que en noviembre y diciembre no se registra ningún individuo en estas categorías. Por el contrario, la categoría de Crecimiento normal presenta un aumento progresivo a lo largo de los meses, alcanzando su punto máximo en noviembre con un 58,33%. La categoría Ex. vigoroso presenta el mismo comportamiento, y alcanza su punto máximo en diciembre de 2024 con un 25%. Cabe destacar que dentro de los ejemplares en categoría Ex. vigoroso, se encuentran los individuos B21, B17, B11 y B09 que 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

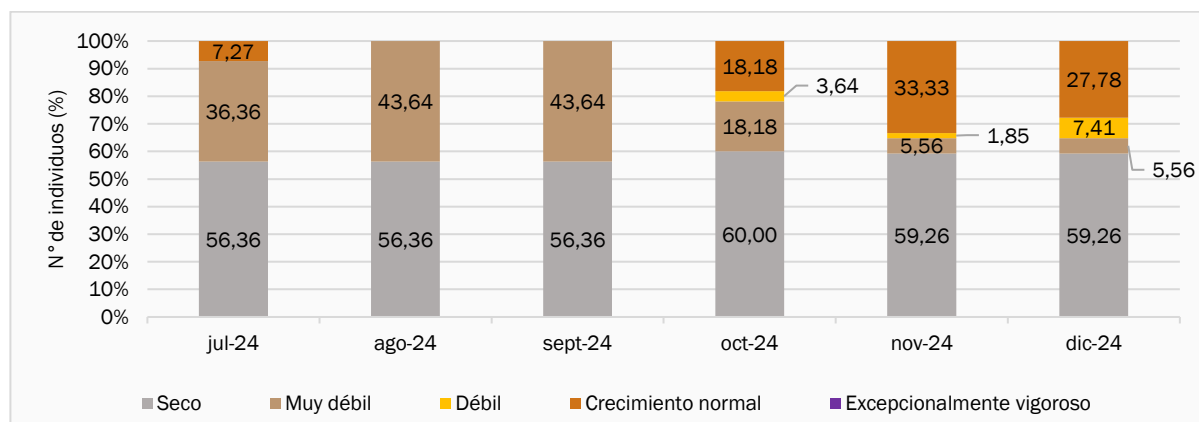


Fuente: Elaboración propia

Respecto a la serie C (Figura 5-3), a lo largo del segundo semestre los ejemplares secos presentaron un leve aumento, desde un 56,36% registrado en julio del 2024, hasta un 59,26% que presenta en diciembre de 2024. En cuanto a la categoría Muy débil, durante agosto y septiembre representó la totalidad de los individuos con algún grado de vitalidad, alcanzando un 43,64% en ambos periodos. Sin embargo, durante octubre,

noviembre y diciembre se ha visto reducida hasta llegar al 5,56%, debido principalmente al aumento que ha experimentado en estos últimos tres meses la categoría Crecimiento normal, que alcanzó un máximo de 33,33% en noviembre de 2024. Por su parte la categoría Débil también presentó aumentos hacia el final del semestre, con un máximo de 7,41% en diciembre. Finalmente, durante todo el segundo semestre del 2024, la categoría Ex. vigoroso no ha registrado ningún individuo.

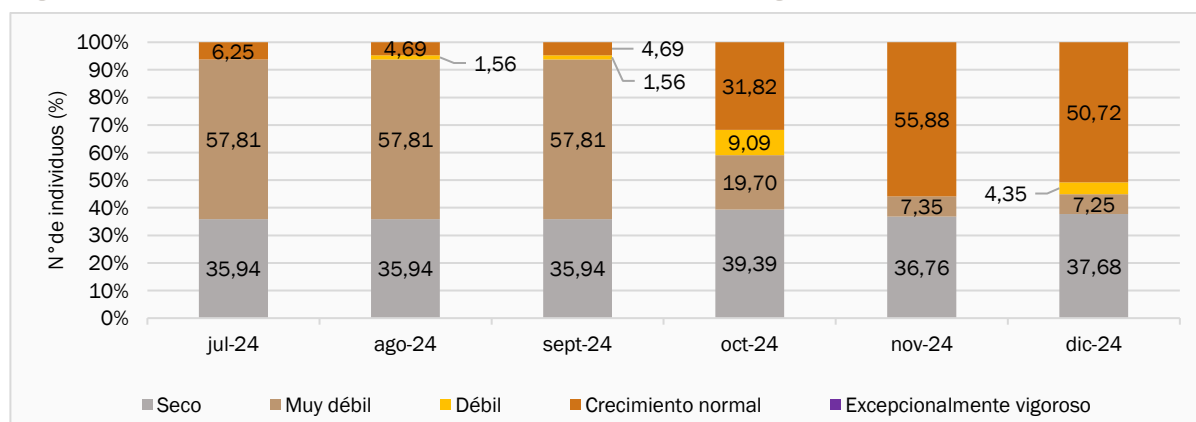
Figura 5-3. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la serie D (Figura 5-4), se observa que la proporción de ejemplares secos no presenta grandes variaciones, oscilando entre 35,94% y 39,39% de individuos. Mientras que, los ejemplares en categoría Muy débil se mantienen constantes en julio, agosto y septiembre con un 57,81%, tras lo cual disminuyen hasta un 7,25% de individuos en diciembre del 2024. La categoría Débil se presenta de manera intermitente en los meses, oscilando entre 1,56% y 9,09%. Los individuos registrados con Crecimiento normal tienden a aumentar en el último trimestre, alcanzando un máximo de 55,88% en noviembre, y corresponden principalmente a ejemplares que en los meses anteriores se encontraban en la categoría Muy débil. Finalmente, durante el segundo semestre del 2024 la categoría Ex. vigoroso no ha registrado ningún individuo.

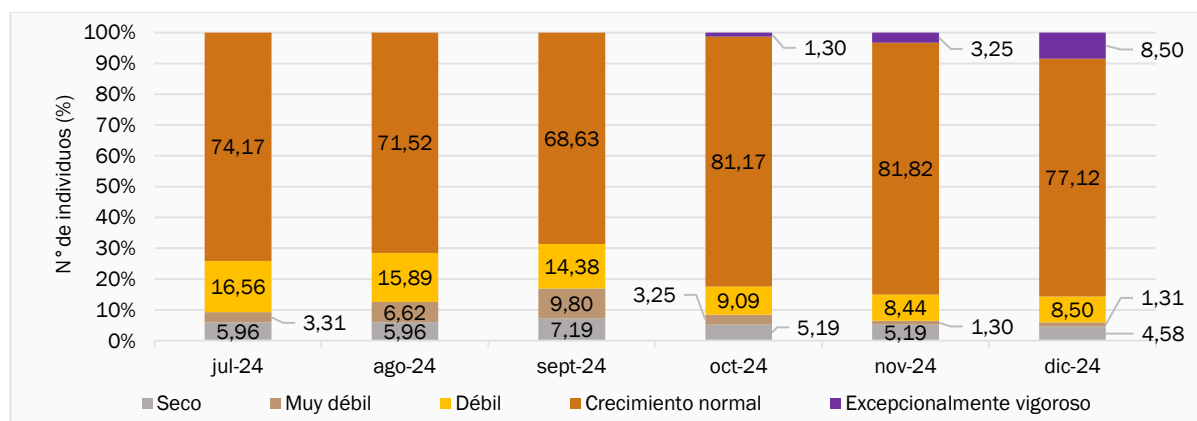
Figura 5-4. Variación mensual de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la serie E (Figura 5-5), los ejemplares secos se presentan en una baja proporción, oscilando entre 4,58% y 7,19% durante el semestre. Por otra parte, aunque los individuos en estado Muy débil están presentes en todos los monitoreos, su proporción es generalmente baja, a excepción de agosto y septiembre cuando alcanzan un 6,62% y un 9,80% respectivamente. Respecto a los individuos en estado Débil, durante los meses de julio, agosto y septiembre su valor rondaba el 15% de individuos totales, tras lo cual han disminuido en los meses de octubre, noviembre y diciembre, hasta un 8,50% en este último mes. La categoría con mayor proporción de individuos corresponde a Crecimiento normal con un promedio de 75,74% en el segundo semestre de 2024. Esta categoría experimentó un leve descenso en agosto y septiembre de 2024 debido al aumento de individuos en estado Débil y Muy débil, misma situación ocurrió en diciembre de 2024, donde esta reducción se debió al aumento de individuos en categoría Ex. vigoroso. Respecto a esta última categoría mencionada, en octubre de 2024 se comenzó a registrar individuos en este estado, evidenciando una tendencia al alza y alcanzando su punto máximo en diciembre del 2024 con un 8,50%.

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

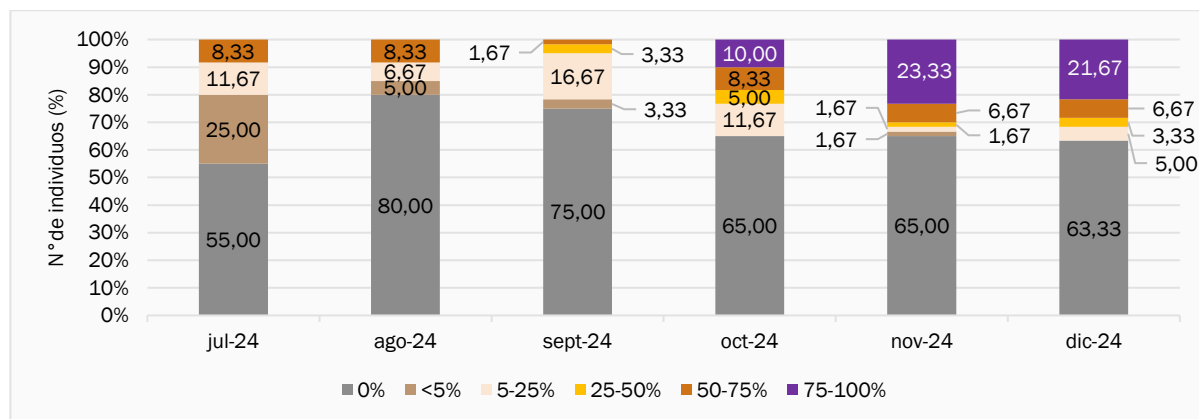


Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Copa viva

En la Figura 5-6, se presenta la proporción de individuos de la serie A por categoría de porcentaje de copa viva (%CV) para el segundo semestre del 2024. A nivel general, se aprecia que los individuos sin copa viva han presentado las mayores oscilaciones durante el semestre, con un promedio de 67,22%, y máximas en agosto donde representa el 80% del total de ejemplares de la serie. Sin embargo, según avanza el semestre, se aprecia una tendencia decreciente, culminando con un 63,33% en diciembre. Por el contrario, la categoría más vigorosa (75-100%) ha ido aumentando su cantidad de individuos en los últimos meses, siendo en noviembre de 2024 el mes en que se encuentra en su punto máximo con 23,33% de los individuos.

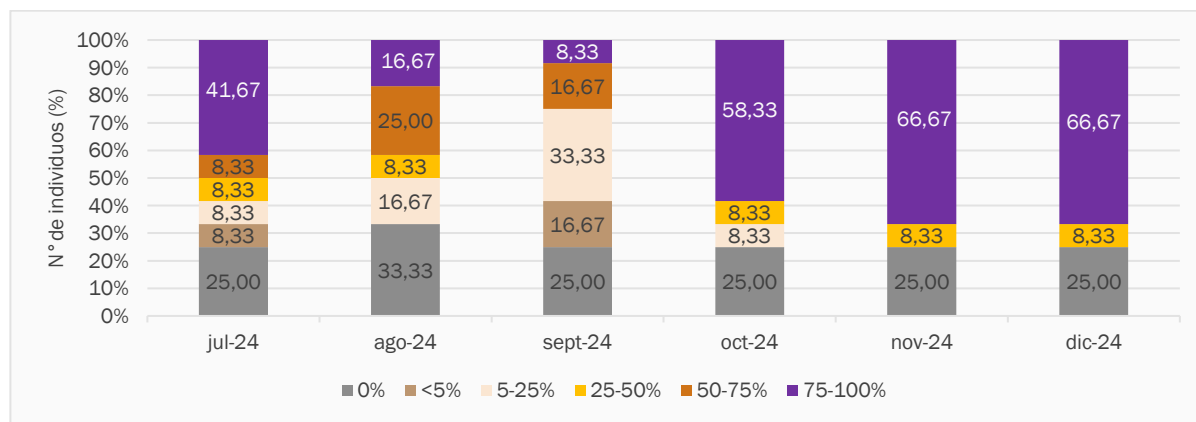
Figura 5-6. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la serie B, en la Figura 5-7 se observa que durante el semestre los ejemplares sin follaje presentan pocas variaciones, mostrando un 25% de participación cada mes, a excepción de agosto donde aumentó a 33,33%. En cuanto a las demás categorías, se aprecia que la dinámica de la copa viva en los ejemplares responde a los patrones esperados para el periodo de transición entre una época invernal que es desfavorable, hacia una época más favorable como lo es primavera y verano. Esto dado que, en la primera mitad del semestre aumentan las categorías <5% y 5-25%, mientras que disminuye la categoría 75-100%. Por el contrario, en la segunda mitad del semestre se aprecia un notable aumento en la categoría 75-100%, alcanzando un 66,67% en los últimos dos meses monitoreados. 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

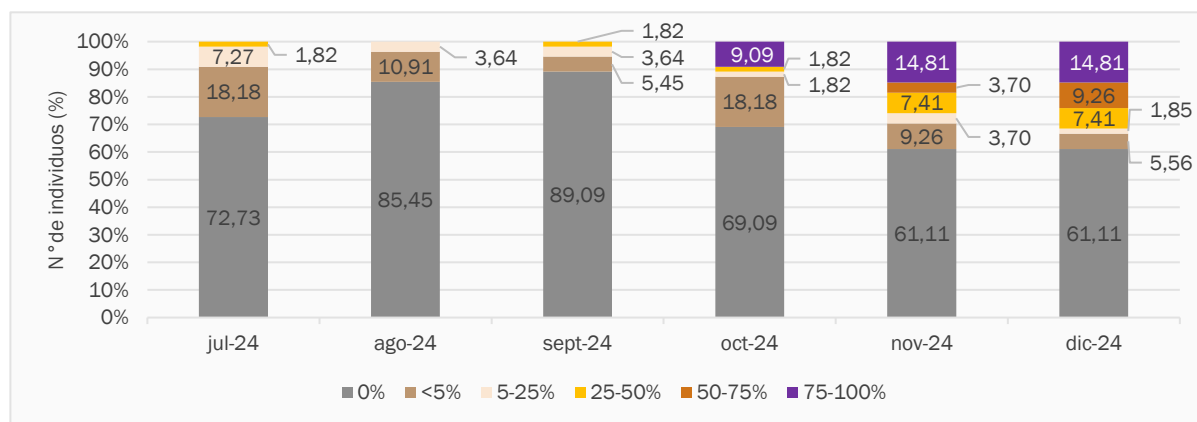


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-8 se presentan los resultados para la serie C del segundo semestre de 2024. Al igual que en la serie B, aunque con mayor proporción de ejemplares sin copa viva, esta serie presenta los patrones esperables de transición entre un periodo desfavorable (invierno) a otro favorable (primavera). De los resultados se puede mencionar que, durante la primera mitad del semestre se presenta una disminución de las categorías con menos copa viva (menor al 50%). Mientras que, en la segunda mitad, tienden a predominar

categorías con mayor copa viva (mayor al 50%), destacando el aumento de la categoría 75-100% que alcanza un 14,81% en noviembre y diciembre de 2024. Además, se destaca que se presentan relativamente pocas variaciones respecto a los promedios en las categorías 5-25%, 25-50% y 50-75%, presentando una desviación estándar de 1,99%, 3,20% y 3,78% respectivamente.

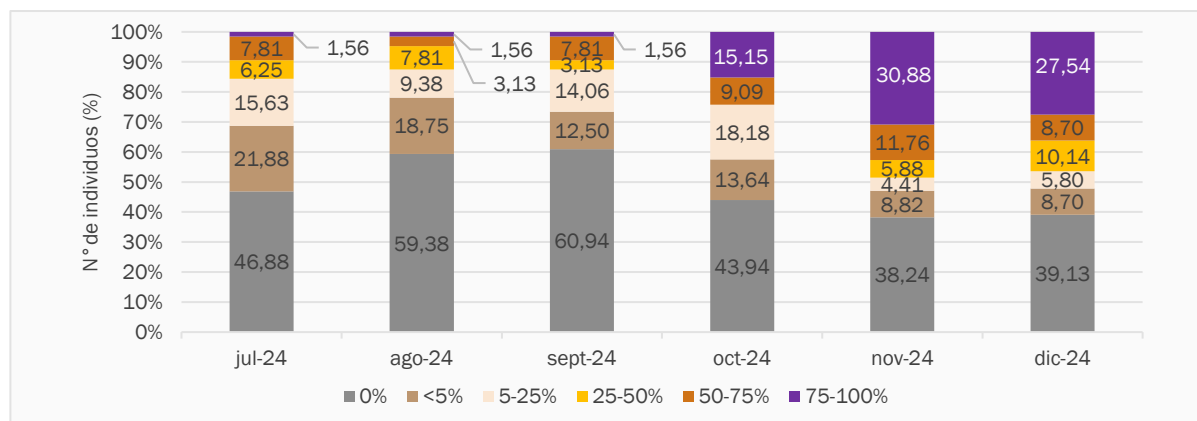
Figura 5-8. Variación mensual del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la serie D (Figura 5-9) refleja el mismo patrón identificado en las series anteriores, correspondiente al comportamiento esperado para el periodo del año en que se encuentra. Los individuos en categoría 0% y <5% presentan en el semestre un promedio de 48,08% y 14,05%, presentando en ambos casos una tendencia decreciente a medida que pasan los meses. Por el contrario, la categoría 75-100%, que representa la tercera mayor proporción de individuos en el semestre (13,04%), tiende a aumentar a medida que se avanza hacia los meses de primavera-verano, alcanzando su punto máximo en noviembre con 30,88%.

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

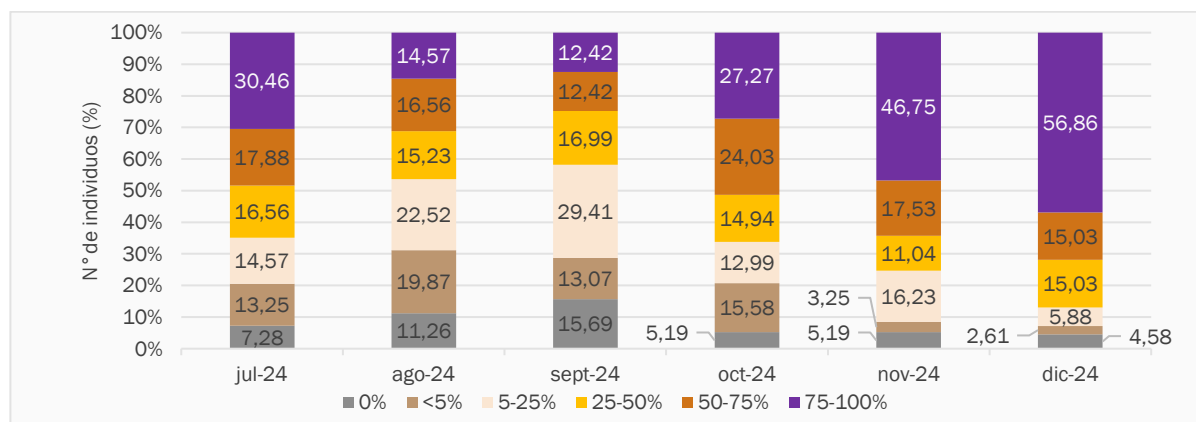


Fuente: Elaboración propia

La serie E (Figura 5-31) destaca como aquella con mayor número de individuos monitoreados, por lo cual es posible apreciar de mejor manera el comportamiento estacionario que presentan también las demás series. En este caso, durante la primera parte del semestre se genera un alza en categorías de copa viva 0% y 5-

25%, mientras que disminuyen las categorías 50-75% y 75-100%. Por el contrario, en la segunda parte del semestre se presenta el comportamiento opuesto, con una disminución en las categorías menos vigorosas (0%, <5%, 5-25%), mientras que aumentan considerablemente las categorías más vigorosas (50-75% y 75-100%). Estas variaciones ilustran de buena manera cómo los árboles se van redistribuyendo entre estas categorías en respuesta al cambio de estación.

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

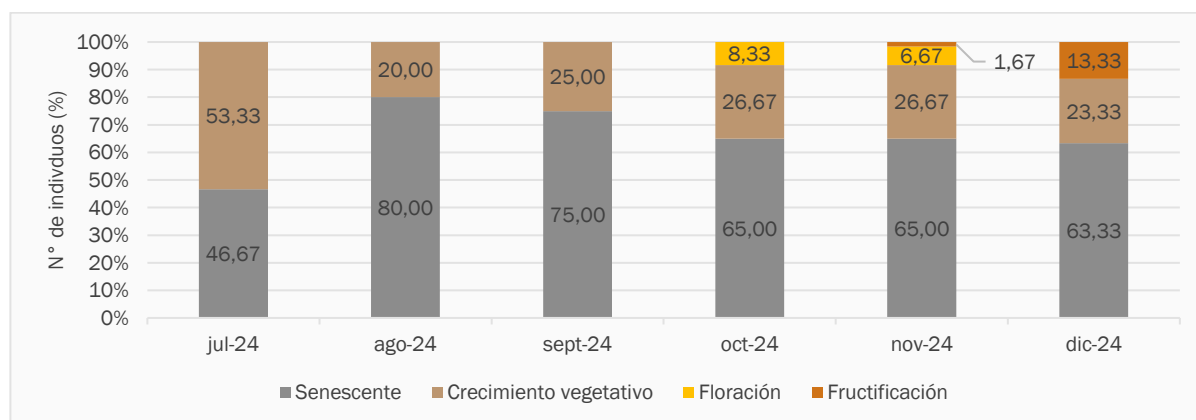


Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Fenología

En la serie A (Figura 5-11), el estado de Crecimiento vegetativo predomina durante el primer mes del semestre. Sin embargo, desde agosto de 2024 se redujo más de la mitad y ha presentado pocas variaciones desde entonces, llegando a un 23,33% en diciembre del 2024. Dicha disminución de individuos en Crecimiento vegetativo se ha debido a un aumento marcado en agosto de 2024 de individuos en estado Senescente. Hacia el final del semestre, se ha observado la aparición de individuos en floración desde octubre de 2024, lo cual propició la posterior aparición de individuos en estado de Fructificación, que alcanzaron un máximo de 13,33% en diciembre del 2024.

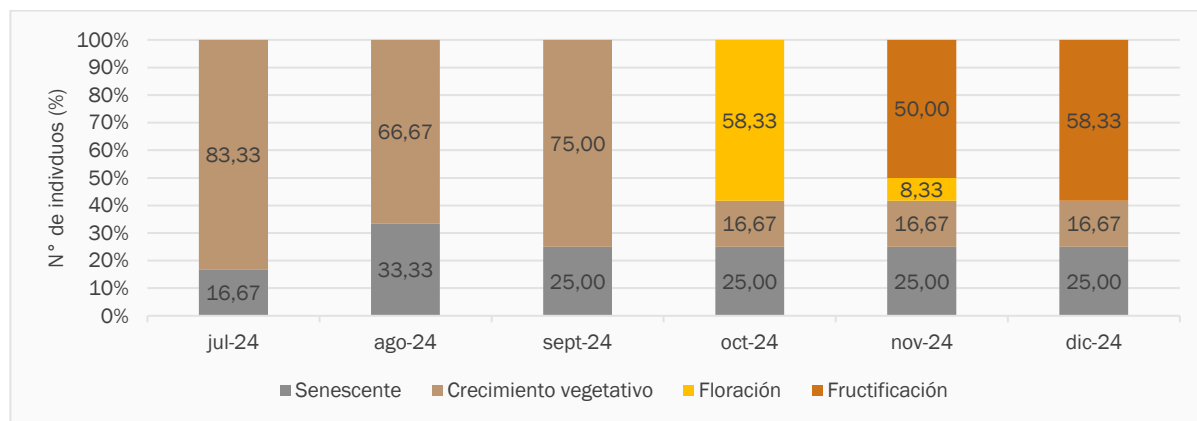
Figura 5-11. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia

Para la serie B (Figura 5-12), durante la primera mitad del semestre predominan los individuos en estado de Crecimiento vegetativo. Sin embargo, en la segunda mitad, estos disminuyen fuertemente debido a la aparición de individuos en Floración, que alcanzan un máximo de 58,33% en octubre del 2024. Durante los dos meses siguientes, se observa un aumento en los individuos con Fructificación, que alcanzan un 58,33% en diciembre del 2024. En cuando al estado Senescente, este presenta variaciones durante la primer parte del semestre, pero se mantiene constante en un 25% de individuos desde septiembre hasta diciembre de 2024.

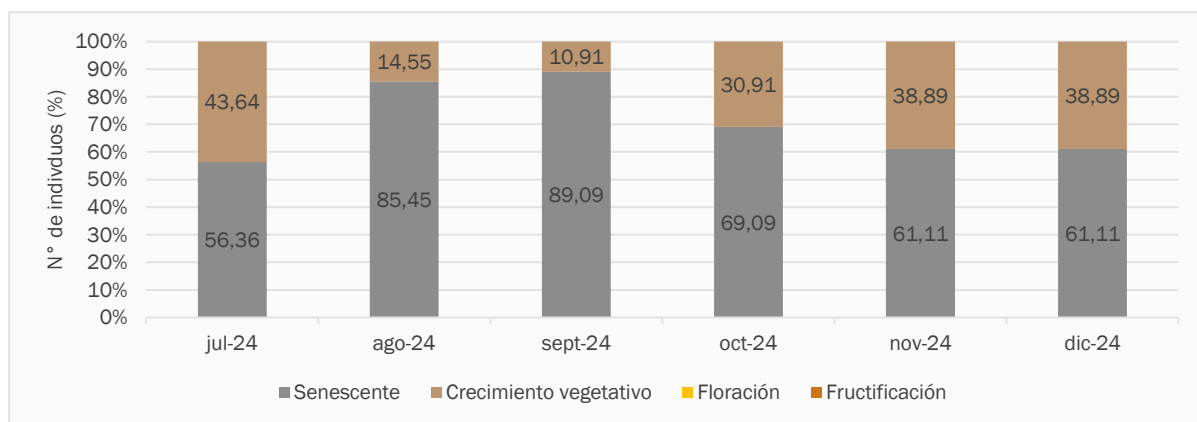
Figura 5-12. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie B



Fuente: Elaboración propia

En la serie C (Figura 5-13), los individuos se alternan únicamente entre las categorías de Crecimiento vegetativo y Senescente. Durante la primera mitad del semestre, se observa un desplazamiento gradual de los árboles desde el Crecimiento vegetativo hacia la senescencia, mientras que, por el contrario, en la segunda mitad se aprecia un desplazamiento de los individuos desde el estado Senescente hacia el estado de Crecimiento vegetativo. Terminando en diciembre del 2024 con una predominancia del estado Senescente, que presenta 61,11%. Tanto la Floración como la Fructificación están completamente ausentes en esta serie.

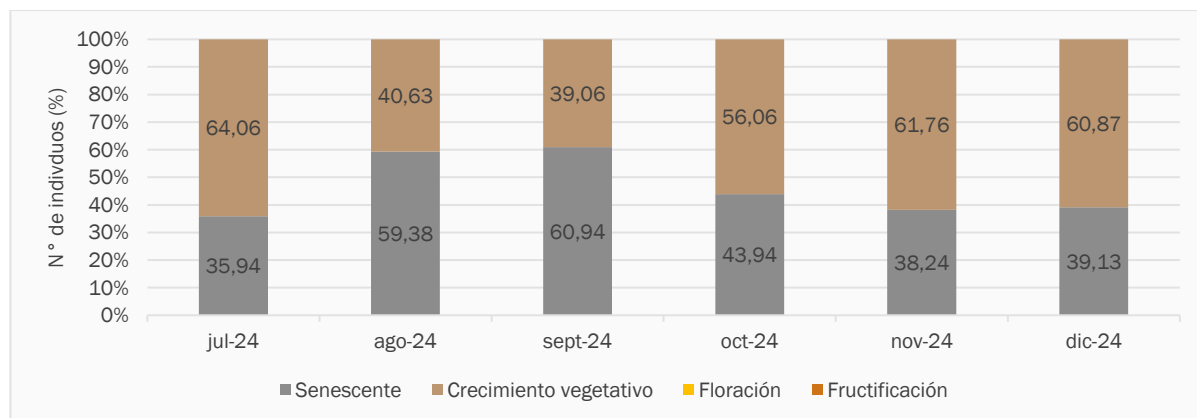
Figura 5-13. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia

En la serie D (Figura 5-14), se presenta un comportamiento similar al registrado en la serie C. Donde en la primera mitad del semestre, se observa un desplazamiento gradual de los árboles desde el Crecimiento vegetativo hacia la senescencia, Mientras que, por el contrario, en la segunda mitad se aprecia un desplazamiento de los individuos desde el estado Senescente hacia el estado de Crecimiento vegetativo. Terminando en diciembre del 2024 con una predominancia del estado de Crecimiento vegetativo, con un 60,87%. Al igual que en la serie C, no se registra actividad en Floración ni Fructificación.

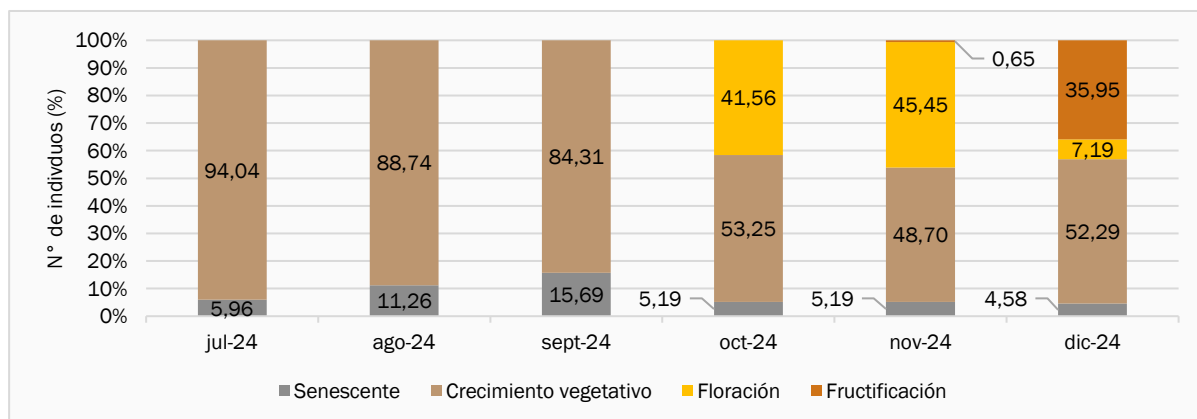
Figura 5-14. Variación mensual de la fenología en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia

En la serie E (Figura 5-15), el Crecimiento vegetativo es la categoría dominante durante todo el semestre con un promedio de 70,22%. No obstante, en la segunda mitad del semestre se ve reducida por la aparición de individuos en Floración, que en noviembre de 2024 alcanzan un 45,45%. Posteriormente, individuos en categoría de Fructificación aparecen en diciembre de 2024 con un 35,95% de participación. La categoría Senescente tiene una baja presencia, salvo en los meses de agosto y septiembre que alcanzan un 11,26% y 15,69%. Sin embargo, hacia el final del semestre los valores registrados rondan el 5% de individuos.

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

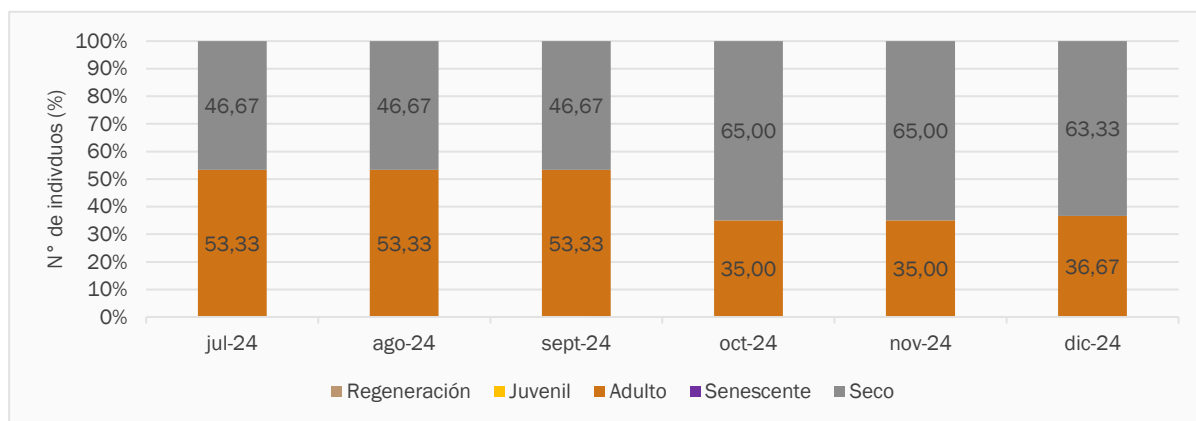


Fuente: Elaboración propia

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 julio - diciembre 2024. Se observa que esta serie se compone principalmente de individuos adultos, cuyas variaciones se dan cuando algunos ejemplares pasan a estado Seco. En julio, agosto y septiembre los árboles adultos predominan por sobre los secos, mientras que en octubre, noviembre y diciembre son los secos los que predominan por sobre los adultos.

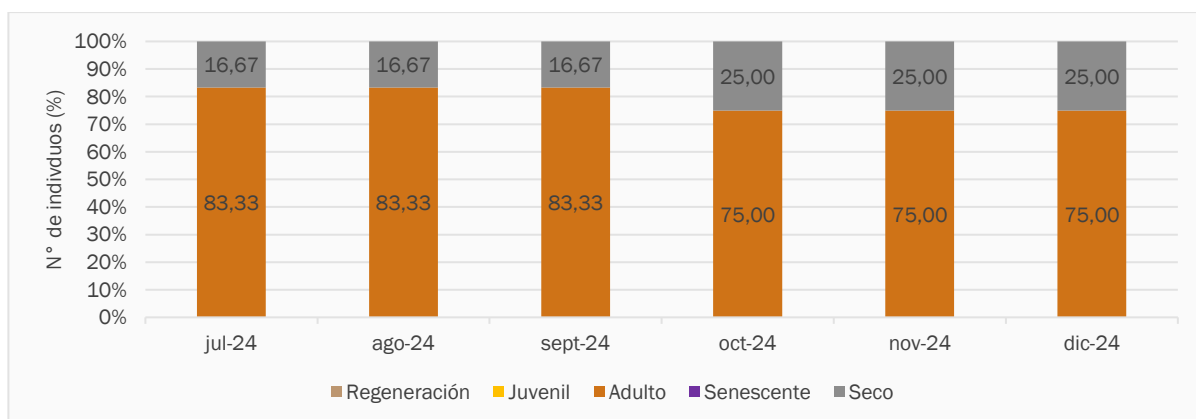
Figura 5-16. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: elaboración propia

Respecto a la serie B (Figura 5-17), al igual que la serie A los individuos son adultos o secos. La categoría Adulto obtuvo un promedio semestral de 79,17%, presentando una única variación entre septiembre y octubre de 2024, donde la categoría Adulto disminuyó desde 83,33% hasta 75%, manteniéndose estable en los meses posteriores. La categoría Seco reporta un promedio semestral de 20,83%.

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

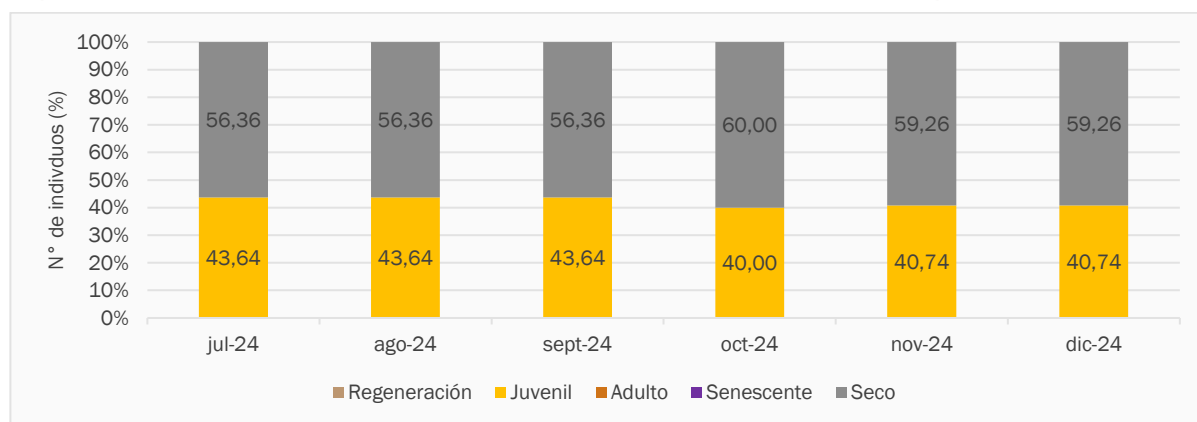


Fuente: elaboración propia

Los individuos de la serie C (Figura 5-18), varían durante el semestre entre ejemplares secos y juveniles, con un promedio semestral de 57,93% y 42,07% respectivamente. Se observa que la proporción de ejemplares

juveniles no presenta grandes variaciones oscilando entre 40% y 43,64% de individuos. 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).

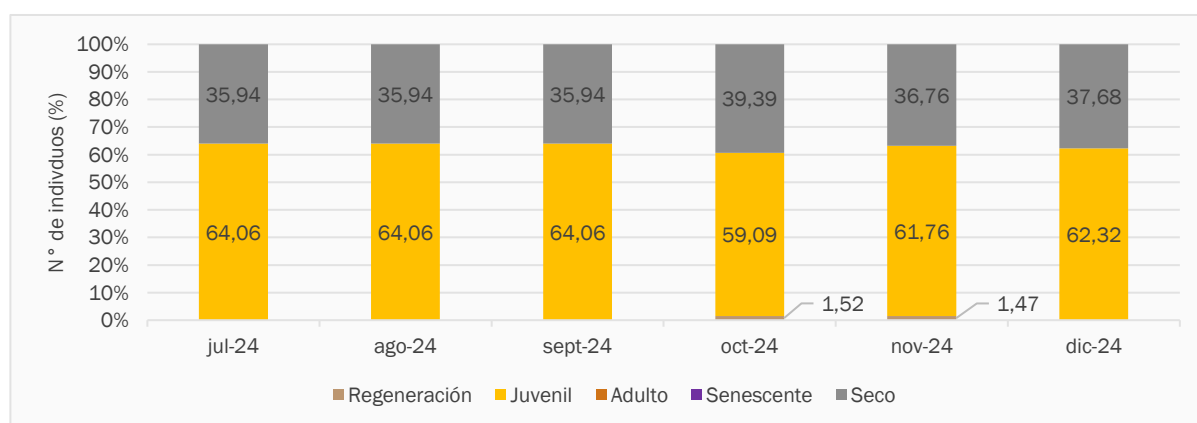
Figura 5-18. Variación mensual de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie C



Fuente: Elaboración propia

Se observa que los individuos de la serie D son principalmente juveniles (Figura 5-19), registrando un promedio semestral del 62,56% y variando entre un 59,09% y 64,06%. Actualmente (diciembre 2024), un 62,32% del total de ejemplares se encuentra en esta categoría. En octubre se incorporó al censo un nuevo individuo en estado de Regeneración, representando el 1,52% de la serie ese mes y el 1,47% en noviembre. Sin embargo, en diciembre fue registrado en estado Seco. Por otra parte, no se registraron individuos adultos o senescentes en todo el periodo.

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

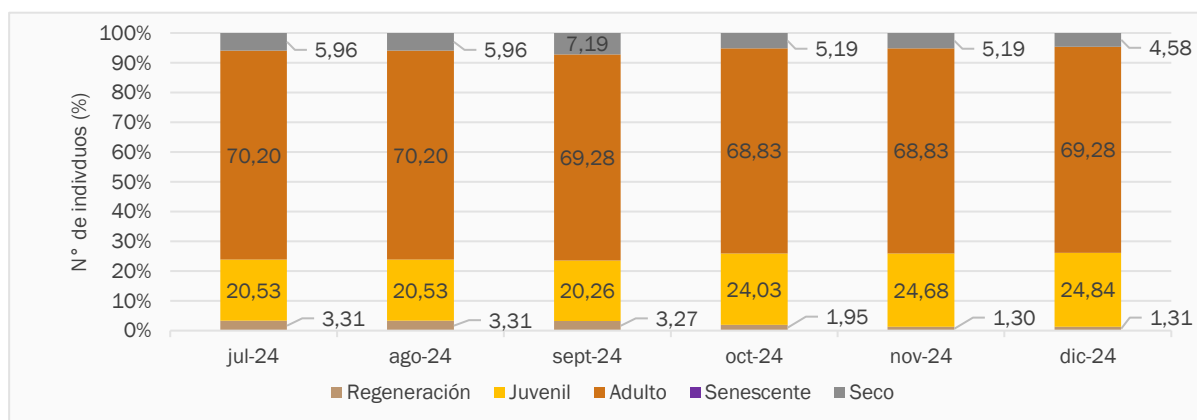


Fuente: Elaboración propia

La serie E (Figura 5-20), al incluir un mayor número de ejemplares, presenta una notable diversidad en su composición etaria, y también una menor variación de las categorías entre los meses. La mayoría de los

árboles pertenece a la categoría Adulto, situación que se mantiene estable a lo largo del semestre. En segundo lugar, están los ejemplares juveniles, seguido de los individuos secos, los que podrían ser indicativo de las dinámicas naturales de mortalidad en la serie. Finalmente se encuentra la Regeneración, la cual se concentra principalmente bajo la sombra de los árboles adultos, lo que propicia un entorno favorable para su desarrollo inicial.

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 julio a diciembre 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 29,17% + 24,08%. Para esta serie, el valor máximo de afectación fue reportado en los meses de julio y agosto con un 51,67% (31 individuos). Respecto a la serie B, el promedio de afectación fue de 40,28% + 20,01%, mientras que el valor máximo de afectación fue de 58,33% (7 individuos) en los meses de julio, agosto y septiembre de 2024. Respecto a la serie C, el promedio semestral de afectación alcanzó un 12,14% + 9,45%, mientras que el valor máximo de afectación fue reportado en el mes de agosto con un 23,64% (13 individuos). Respecto a la serie D, el promedio reportado es de 11,12% + 9,27%, y el valor máximo reportado fue en el mes de julio con un valor de 23,44% (15 individuos). Finalmente, la serie E registra un promedio semestral de 26,26% + 10,04%, y el valor máximo de afectación se registró en agosto de 2024 con un 35,76% (54 individuos).

A nivel general, entre los diferentes meses se presentan pocas variaciones en la cantidad de individuos afectados. Sin embargo, la desviación estándar es alta en todas las series, lo que puede ser explicado debido a un momento particular entre septiembre y octubre, donde en todas las series se produjo una fuerte disminución de los individuos identificados con ramoneo.

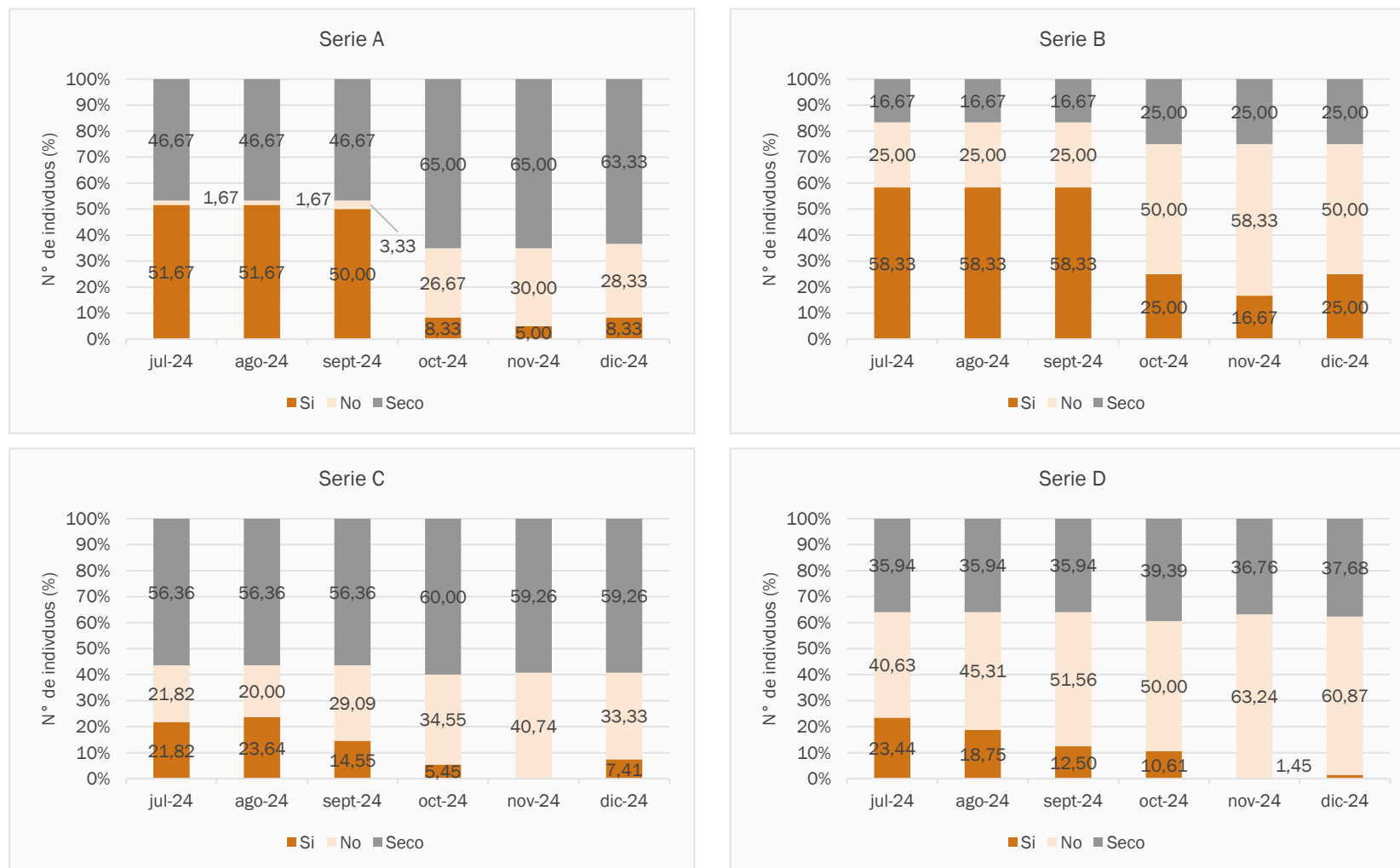
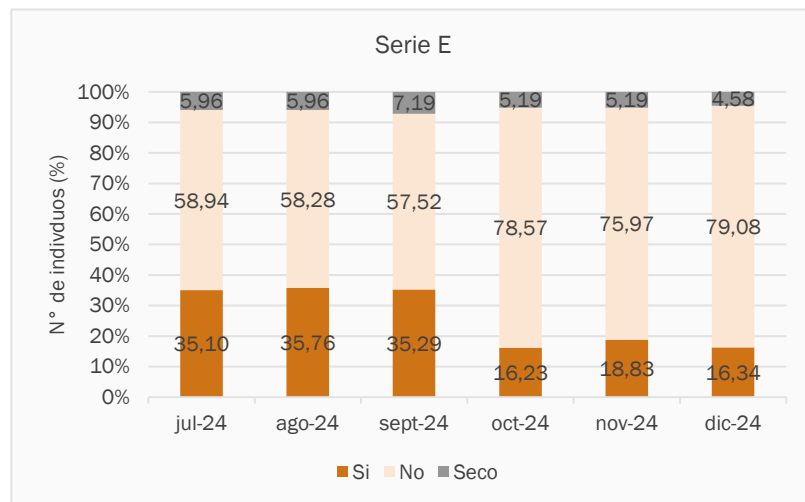
Figura 5-21. Variación semestral daño animal en individuos de *Neltuma alba* por serie

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

Fuente: Elaboración propia, Geobiota 2024.

Respecto a la afectación antrópica, esta considera principalmente signos y presencia de basura, huellas vehiculares, cercanía a caminos, obras, entre otros. En general, se observan pocos signos de esta intervención en las series monitoreadas, a excepción de la serie E que recurrentemente presenta un mayor grado de afectación. En la serie A, no se identificaron individuos afectados en todo el semestre. En el caso de la serie B y C, se identificó un único individuo afectado en cada una, en el mes de agosto y diciembre respectivamente. Mientras que en la serie D, se presenta un individuo en el mes de julio y otro en el mes de agosto. Finalmente, en la serie E, el promedio de afectación fue de $19,33\% \pm 1,82\%$, y se registra el valor máximo en julio de 2024 con un 21,85% (33 individuos).

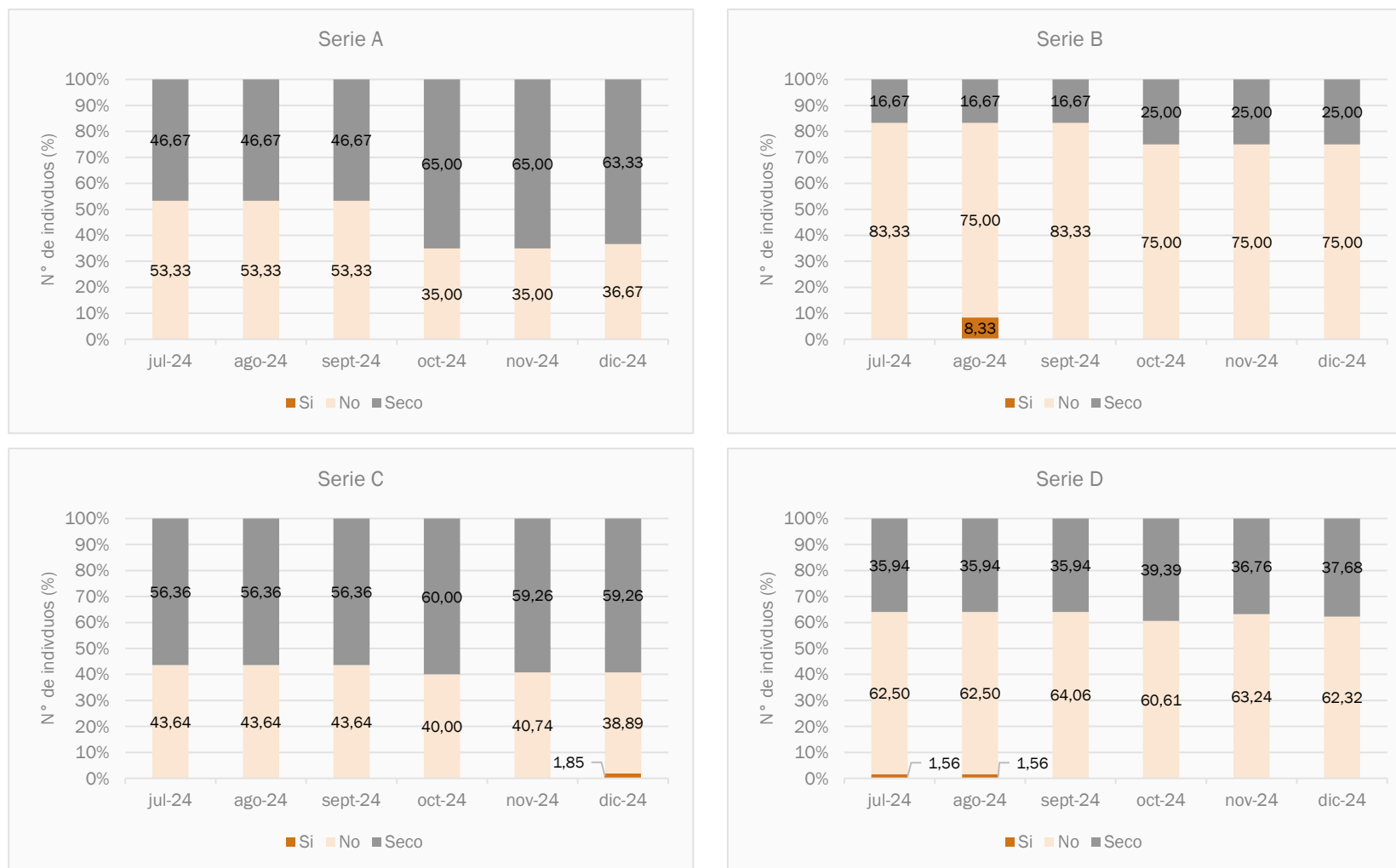
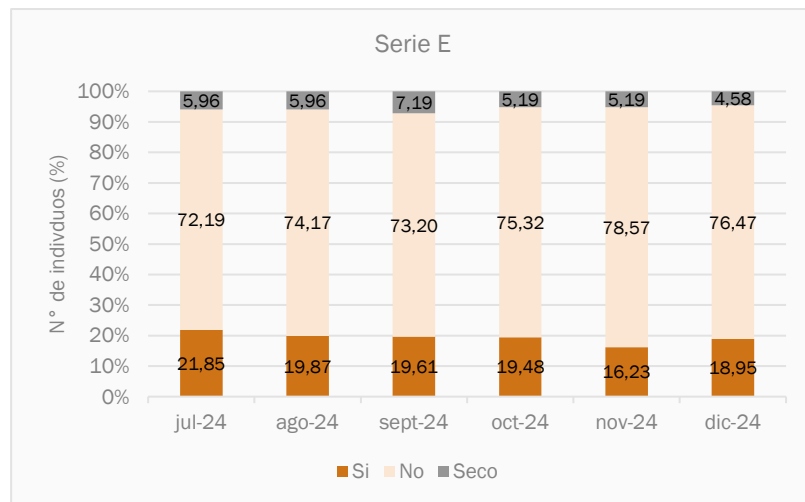
Figura 5-22. Variación semestral daño antrópico en individuos de *Neltuma alba* por serie

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 muestra variaciones en los parámetros fisiológicos de los árboles entre julio y octubre de 2024, a través de los valores de potencial hídrico de ramilla medidos en pre-alba (Ψ_{pa}) y mediodía (Ψ_{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 octubre en comparación con julio, lo que podría indicar una mejora en la disponibilidad de agua hacia octubre. Sin embargo, dada la ausencia de eventos de precipitaciones desde abril de 2024, es más probable que esta mejoría se deba a una menor demanda hídrica por parte de los ejemplares. Por otra parte, se observan excepciones como el árbol B11, donde el potencial hídrico en pre-alba y a mediodía es más negativo en octubre, 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 un aumento de julio hacia octubre, lo cual es una transición esperable debido a una disminución del estrés hídrico, probablemente como resultado de adaptaciones locales o un ambiente más favorable en octubre. Sin embargo, algunos árboles (A36, A37, A44 y B09) muestran una disminución hacia octubre, lo que podría estar relacionado con condiciones particulares del sitio donde se ubican los ejemplares, más que con factores climáticos.

Cabe destacar que, dentro de la población estudiada se observan casos específicos interesantes, entre ellos el árbol B11, que muestra valores de potencial hídrico de ramilla en pre-alba y al medio día más negativos en octubre que en julio, lo que contrasta con la tendencia general de mejora de la población. Así mismo, los árboles A37 y A44 muestran una marcada disminución de la conductancia estomática hacia octubre, lo que indicaría una disminución de la actividad fotosintética de estos individuos, en contraste con las mejorías identificadas a nivel general para esta variable. Del mismo modo, los árboles B03 y B11 destacan por presentar valores muy negativos de potencial hídrico en pre-alba y al 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 B20 posee una conductancia estomática relativamente baja en julio ($61,85 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la cual aumentó considerablemente en el monitoreo de octubre ($260 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), posiblemente debido a cambios puntuales en su ambiente cercano.

Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en julio y octubre de 2024 en algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Julio 2024			Octubre 2024		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
A04	-	-	-	-	-	150,08
A07	-1,65	-2,40	185,75	-0,90	-1,60	187,70
A12	-	-	-	-0,80	-1,30	266,43
A17	-	-	-	-	-	383,87
A21	-	-	-	-	-	-
A22	-	-	-	-	-	-
A30	-	-	-	-	-	-
A31	-	-	-	-	-	-
A33	-2,55	-2,40	84,58	-1,60	-1,05	278,73
A36	-2,75	-2,60	115,80	-1,25	-1,55	112,60
A37	-1,20	-2,20	191,13	-1,20	-1,80	152,25
A38	-	-	-	-	-	-
A40	-	-	-	-1,20	-2,00	205,23
A41	-	-	-	-	-	-
A43	-	-	-	-	-	154,90
A44	-2,70	-2,65	122,20	-1,10	-2,40	107,00
A47	-	-	101,05	-1,15	-2,10	227,50
A58	-2,00	-2,40	120,67	-1,70	-2,90	225,28
B02	-	-	-	-	-	282,23
B03	-3,45	-3,00	95,90	-2,25	-2,60	109,10
B04	-2,90	-2,90	87,90	-2,30	-3,25	117,48
B09	-2,85	-2,65	132,25	-1,80	-2,40	130,05
B10	-3,50	-3,55	82,10	-1,50	-2,80	154,45
B11	-2,90	-3,50	76,90	-3,10	-3,90	89,45
B17	-2,65	-2,25	122,97	-2,75	-3,20	195,35
B20	-1,00	-2,00	61,85	-	-	260,00
B21	-2,75	-3,30	133,55	-2,25	-3,70	152,93
C58	-	-	-	-	-	-
D28	-	-	-	-	-	-

Tabla 5-1. Potencial hídrico de ramilla en pre-alba (Ψ_{pa}), potencial hídrico de ramilla de mediodía (Ψ_{md}) y conductancia estomática (gs) medidos en julio y octubre de 2024 en Algarrobos de la Quebrada de Camar

Árbol	Julio 2024			Octubre 2024		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
AX01	-	-	-	-1,20	-2,00	321,00
AX02	-	-	-	-	-	-

(-): medición no realizada por falta de ramillas

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2024), Anexo 09

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 a mediodía, medidos en la serie A tienen valores significativamente menos negativos en comparación con la serie B-C en el periodo de octubre, lo que indicaría que los ejemplares de la serie A manejan de mejor manera el estrés hídrico nocturno y diurno, respecto que los árboles de las series B-C. Por su parte, en la serie A en julio, los resultados de potencial hídrico en pre-alba y medio día igualmente presentan valores menos negativos en comparación a las series B y C, pero en este caso las diferencias no son significativas.

Respecto a los cambios a nivel temporal, los valores promedio del potencial hídrico medido en pre-alba mejoran de julio (-2,49 MPa) a octubre (-1,68 MPa); indicando una posible menor demanda hídrica o un aumento en la disponibilidad de agua en el suelo. Por otra parte, en el potencial hídrico medido a mediodía se observa un aumento en la medición entre julio (-2,70 MPa) y octubre (-2,41 MPa); lo que podría indicar que, a medio día, en ambos periodos no se han presentado grandes variaciones ambientales.

La conductancia estomática en julio y octubre presenta valores mayores en la serie A, respecto de las series B y C, sin embargo, dichas variaciones no fueron significativas. Durante el semestre, la conductancia estomática aumenta entre julio ($114,31 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y octubre ($187,74 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), probablemente debido a la llegada de la primavera, que es la estación donde se registra un mayor Crecimiento vegetativo de los algarrobos en la quebrada de Camar.

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

Serie	Julio 2024			Octubre 2024		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
A	-2,14 $\pm$ 0,26 a	-2,44 $\pm$ 0,07 a	131,60 $\pm$ 15,49 a	-1,21 $\pm$ 0,10 a	-1,86 $\pm$ 0,19 a	204,30 $\pm$ 22,84 a
B-C	-2,75 $\pm$ 0,27 a	-2,89 $\pm$ 0,20 b	99,18 $\pm$ 9,60 b	-2,28 $\pm$ 0,20 b	-3,12 $\pm$ 0,21 b	165,67 $\pm$ 22,44 a
Promedio*	-2,49 $\pm$ 0,20	-2,70 $\pm$ 0,13	114,31 $\pm$ 9,55	-1,68 $\pm$ 0,17	-2,41 $\pm$ 0,21	187,74 $\pm$ 16,39

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

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2024), Anexo 09.

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 julio y octubre de 2024. Respecto al potencial hídrico en pre-alba y al mediodía, tanto en julio como en octubre los árboles ubicados aguas abajo de la tubería presentaron valores menos negativos, pero en ninguno de estos casos las diferencias fueron significativas. Lo que sugiere que tanto en pre-alba como al mediodía, ambos grupos enfrentan condiciones similares. Es importante señalar que los valores de potencial hídrico observados en el grupo de árboles aguas abajo se basa en solo dos datos, lo que limita la capacidad de realizar comparaciones significativas y de obtener conclusiones robustas. Respecto a la conductancia estomática, en ambos periodos se identificaron valores mayores aguas abajo en comparación con los registrados aguas arriba, sin embargo, estas diferencias solo son significativas en el mes de julio.

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

Ubicación respecto de la tubería	Julio 2024			Octubre 2024		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
Aguas arriba	-2,55 ± 0,21 a	-2,72 ± 0,14 a	109,20 ± 8,67 b	-1,76 ± 0,16 a	-2,51 ± 0,21 a	181,97 ± 16,56 a
Aguas abajo	-1,65 ± 0,00 a	-2,40 ± 0,00 a	185,75 ± 0,00 a	-0,85 ± 0,05 a	-1,45 ± 0,15 a	247,02 ± 51,66 a
Promedio*	-2,49 ± 0,20	-2,70 ± 0,13	114,31 ± 9,55	-1,65 ± 0,16	-2,39 ± 0,20	193,80 ± 16,76

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

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de Laboratorio SAP, UChile (2024), Anexo 09

5.1.6.1.3 Comparación de Algarrobos con y sin riego

En la Tabla 5-4 se muestran los resultados obtenidos comparando los individuos con y sin riego para las mediciones de julio y octubre de 2024. En el mes de julio, solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 90% en el potencial hídrico al mediodía y en la conductancia estomática. Además, en estas dos variables se alcanzan los valores más bajos en los algarrobos sin riego (-2,89 MPa y 99,18 mmol m⁻² s⁻¹). Por otra parte, en octubre se encontraron diferencias significativas en el potencial hídrico en pre-alba y al mediodía. Y en ambas variables se alcanzaron los valores más bajos en algarrobos sin riego (-2,28 y -3,12 MPa para Ψ_{pa} y Ψ_{md} respectivamente). Respecto a la conductancia estomática, en el mes de octubre no presentó variaciones significativas entre los individuos con riego y sin riego.

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

Ubicación respecto de la tubería	Julio 2024			Octubre 2024		
	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	Ψ_{pa} (MPa)	Ψ_{md} (MPa)	gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)
Con riego	-2,14±0,26 a	-2,44±0,07 a	131,60±15,49 a	-1,21±0,09 a	-1,87±0,17 a	213,27±22,85 a
Sin riego	-2,75±0,27 a	-2,89±0,20 b	99,18±9,60 b	-2,28±0,20 b	-3,12±0,21 b	165,67±22,44 a
Promedio	-2,49±0,20	-2,70±0,13	114,31±9,55	-1,65±0,16	-2,39±0,20	193,80±16,76

*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.

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 10 se exponen, para cada serie, las variables dendrométricas comprometidas en el marco de la Acción N° 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 julio de 2024 presenta 261 registros correspondientes a árboles del género *Neltuma* (ex *Prosopis*) (Series A, B, C, D) de los cuales fue posible ubicar y medir 189 árboles (72,4). Los 72 árboles (27,5%) 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 84,7% de los árboles (160 árboles) medidos se encuentran vivos, presentando algún nivel de vitalidad en sus vástagos y el 15,3% restante (29 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 (77,8%, 148 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 46 cm. Los individuos de mayor tamaño (>20 cm) sólo representan el 9,5% (18 árboles) de la población y pueden alcanzar en promedio hasta los 6,2 m de altura.

La mayoría de los individuos (89,9%, 170 árboles) presentan más de un vástago (plurifustales), cuyo número promedio fluctúa entre 2 y 77 vástagos por individuo.

El área basal es baja, alcanzando los 2,7638 m² para el total de la población, en donde el 75,1% de esta lo acumulan nueve individuos de gran tamaño (Dbe>30 cm).

El promedio de las áreas de la copa fluctúa entre 0,05 y 109,29 m², mostrando una clara tendencia en su desarrollo en los individuos de mayor tamaño que son capaces de superar los 30 m² de área de copa.

Tabla 5-5. N° de vástagos promedio, altura media, área basal acumulado y área de copa promedio, según vitalidad (vivos, secos) y rango de diámetro basal equivalente (Dbe) de la población del género *Neltuma* para ejemplares de algarrobo – julio 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	6,2	2,9	5,8	0,09	0,15	0,1	0,0203	0,0026	0,0229	0,04	0,12	0,05
2,6 - 5,0	11	5	9,4	0,43	0,54	0,46	0,0202	0,0066	0,0268	0,74	1,36	0,9
5,1 - 7,5	16,3	14,3	15,3	0,54	0,88	0,8	0,0078	0,0097	0,0175	0,52	1,66	1,29
7,6 - 10,0	20,5	8	16,3	0,7	2,04	1,15	0,0092	0,0063	0,0155	1,97	7,44	3,79
10,1 - 12,5	13	-	13	1,14	-	1,14	0,0472	-	0,0472	4,96	-	4,96
12,6 - 15,0	50,3	28	44,8	1,71	0,5	1,41	0,0388	0,013	0,0518	9,45	1,5	7,46
15,1 - 17,5	16	4	13,6	1,2	0,61	1,08	0,0834	0,0193	0,1027	5,45	0,57	4,47
20,1 - 22,5	4,5	-	4,5	2,04	-	2,04	0,0726	-	0,0726	13,78	-	13,78
22,6 - 25,0	9,3	-	9,3	2,17	-	2,17	0,1256	-	0,1256	12,02	-	12,02
25,1 - 27,5	2,5	-	2,5	2,8	-	2,8	0,2027	-	0,2027	18,6	-	18,6
27,6 - 30,0	13	-	13	2,33	-	2,33	0,1321	-	0,1321	18,5	-	18,5
30,1-32,5	1	-	1	3,5	-	3,5	0,0779	-	0,0779	24,03	-	24,03
32,6-35,0	6	-	6	2,6	-	2,6	0,0868	-	0,0868	14,17	-	14,17
47,6 - 50,0	1	-	1	3,75	-	3,75	0,1963	-	0,1963	33,98	-	33,98
60,1 - 62,5	8	-	8	4,9	-	4,9	0,296	-	0,296	47,48	-	47,48
62,6-65,0	24	-	24	5,7	-	5,7	0,3111	-	0,3111	109,29	-	109,29
65,1-67,5	1	-	1	6,2	-	6,2	0,3421	-	0,3421	81,37	-	81,37
82,6 - 85,0	1	-	1	6	-	6	0,6362	-	0,6362	84,67	-	84,67
Total/Media	8,5	5,7	8	0,6	0,41	0,57	2,7063	0,0575	2,7638	4,18	0,89	3,69

(*) 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 10 Informe "Estimación biomasa de una población del género *Prosopis* emplazada en la Quebrada de Camar" (Julio 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 8.458,82 kg para el total de la población medida (160 árboles "Vivos" y 29 árboles "Secos"), con un valor promedio por individuos de 44,75 kg. El 98,5% de la biomasa proviene de individuos vivos y sólo el 1,5% restante a individuos secos.

El 77,0% de la biomasa aérea se concentra en cinco individuos monofustales de gran tamaño, con diámetros que van entre los 47 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 11,5% corresponde al fuste, 85,6% 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.

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) – julio 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	105	16	121	24,42	3,25	27,67	25,21	3,17	28,38	3,86	0,48	4,34	-	-	-	23,59	3,11	26,7
2,6 – 5,0	20	7	27	18,47	6,16	24,63	38,37	11,98	50,35	4,62	1,45	6,07	-	-	-	33,12	10,37	43,49
5,1 - 7,5	3	3	6	5,39	5,52	10,91	4,31	0,91	5,22	1,03	1	2,03	-	-	-	14,34	21,93	36,27
7,6 – 10,0	2	1	3	4,15	3,45	7,6	0,77	0,06	0,83	0,36	1,53	1,89	-	-	-	23,98	12,37	36,35
10,1 - 12,5	5	-	5	22,64	-	22,64	4,47	-	4,47	3,69	-	3,69	-	-	-	102,87	-	102,87
12,6 – 15,0	3	1	4	18,75	3,75	22,5	3,69	2,3	5,99	5,04	0,11	5,15	-	-	-	82,29	32,39	114,68
15,1 - 17,5	4	1	5	24,33	10,93	35,26	10,53	4,54	15,07	3	-	3	-	-	-	185,41	46,95	232,36
20,1 - 22,5	2	-	2	20,75	-	20,75	3,85	-	3,85	5,1	-	5,1	-	-	-	134,46	-	134,46
22,6 – 25,0	3	-	3	37,08	-	37,08	50,64	-	50,64	8,53	-	8,53	-	-	-	281,1	-	281,1
25,1 - 27,5	4	-	4	62,22	-	62,22	82,44	-	82,44	17,78	-	17,78	-	-	-	400,54	-	400,54
27,6 – 30,0	2	-	2	32,4	-	32,4	30,96	-	30,96	7,64	-	7,64	-	-	-	225,54	-	225,54
30,1-32,5	1	-	1	23,83	-	23,83	36,53	-	36,53	6,63	-	6,63	-	-	-	159,19	-	159,19
32,6-35,0	1	-	1	20,56	-	20,56	4,72	-	4,72	3,29	-	3,29	-	-	-	148,89	-	148,89
47,6 – 50,0	1	-	1	45,29	-	45,29	417,5	-	417,5	8,83	-	8,83	-	-	-	635,7	-	635,7
60,1 - 62,5	1	-	1	77,3	-	77,3	690,34	-	690,34	16,74	-	16,74	-	-	-	931,88	-	931,88
62,6-65,0	1	-	1	96,64	-	96,64	1.804,37	-	1.804,37	39,72	-	39,72	-	-	-	1.640,96	-	1.640,96
65,2-67,5	1	-	1	115,69	-	115,69	1.435,03	-	1.435,03	31,84	-	31,84	-	-	-	1.558,00	-	1.558,00
82,6 – 85,0	1	-	1	162,99	-	162,99	1.387,89	-	1.387,89	31,26	-	31,26	-	-	-	1.749,84	-	1.749,84
Total	160	29	189	812,9	33,06	845,97	6.031,62	22,96	6.054,58	198,96	4,57	203,53	-	-	-	8.331,70	127,12	8.458,82

(-) 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 10 Informe “Estimación biomasa de una población del género Prosopis emplazada en la Quebrada de Camar” (julio 2024).

La estimación de la biomasa en octubre de 2024 presenta 262 registros correspondientes a árboles del género *Neltuma* (ex *Prosopis*) (Series A, B, C, D) de los cuales solo fue posible ubicar y medir 195 árboles (74,4%). Los 67 árboles restantes (25,6%) 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 43,1% de los árboles medidos (84 árboles) se encuentran vivos, presentando algún nivel de vitalidad en sus vástagos y el 56,9% restante (111 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 (80,5%, 157 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 70 cm. Los individuos de mayor tamaño (>20 cm) sólo representan el 6,7% (13 árboles) de la población y pueden alcanzar en promedio hasta los 6,05 m de altura.

La mayoría de los individuos (67,2%, 131 árboles) presentan más de un vástago (plurifustales), fluctuando entre los 2 y los 77 vástagos por individuo.

El área basal es baja, alcanzando los 2,5424 m² para el total de la población, en donde el 78,6% de esta lo acumulan ocho individuos de gran tamaño (Dbe>30 cm).

El promedio de las áreas de la copa fluctúa entre 0,060 y 88,704 m², mostrando una clara tendencia en su desarrollo en los individuos de mayor tamaño que son capaces de superar los 30 m² de área de copa.

Se registra la presencia de frutos en 14 individuos de la población (7,1% de los árboles medidos), distribuidos en las Series A y B, con diámetros basales entre 10,89 y 86,05 cm, y alturas entre 1,45 y 6,05 m.

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 – octubre de 2024

Rango Dbe (cm)	N° Vástagos promedio por individuo			Altura media (m)			Área basal acumulada (m ²)			Área de copa (m ²)		
	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos	Total	Vivos	Secos*	Total
0 - 2,5	2,2	1,8	2	0,17	0,09	0,12	0,005	0,0063	0,0113	0,106	0,031	0,06
2,6 - 5	5	4,5	4,5	0,59	0,71	0,7	0,0012	0,0133	0,0145	0,689	1,584	1,465
5,1 - 7,5	-	4,5	4,5	-	1,07	1,07	-	0,0193	0,0193	-	2,52	2,52
7,6 - 10	16,5	-	16,5	0,82	-	0,82	0,0213	-	0,0213	2,729	-	2,729
10,1 - 12,5	19	-	19	1,38	-	1,38	0,0361	-	0,0361	7,92	-	7,92
12,6 - 15	29	7,5	16,7	1,78	0,92	1,29	0,0392	0,0602	0,0994	6,823	2,05	4,096
15,1 - 17,5	6,5	-	6,5	2,03	-	2,03	0,0415	-	0,0415	11,103	-	11,103
17,6 - 20	4	-	4	2,55	-	2,55	0,0586	-	0,0586	11,342	-	11,342
20,1 - 22,5	9	-	9	2,09	-	2,09	0,0315	-	0,0315	19,007	-	19,007
22,6 - 25	4	-	4	3,2	-	3,2	0,0459	-	0,0459	16,152	-	16,152
25,1 - 27,5	5	-	5	2,95	-	2,95	0,1653	-	0,1653	18,589	-	18,589

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 – octubre 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
27,6 - 30	10	-	10	3,04	-	3,04	0,1268	-	0,1268	24,891	-	24,891
30,1 - 32,5	-	4	4	-	2,45	2,45	-	0,0772	0,0772	-	13,43	13,43
57,6 - 60	9	-	9	5,5	-	5,5	0,2719	-	0,2719	45,41	-	45,41
60,1 - 62,5	7	-	7	4,38	-	4,38	0,5923	-	0,5923	71,255	-	71,255
65,1 - 67,5	1	-	1	6,05	-	6,05	0,3473	-	0,3473	88,704	-	88,704
85,1 - 87,5	1	-	1	5,7	-	5,7	0,5822	-	0,5822	80,863	-	80,863
Total/Media	5,4	2,5	3,8	0,95	0,27	0,56	2,3661	0,1763	2,5424	7,302	0,541	3,453

(*) 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 10 Informe "Estimación biomasa de una población del género *Prosopis* emplazada en la Quebrada de Camar" (octubre 2024)

La Tabla 5-8 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 7.056,74 kg para el total de la población medida (84 árboles "Vivos" y 111 árboles "Secos"), con un valor promedio por individuos de 36,1 kg. El 95,4% de la biomasa proviene de individuos vivos y sólo el 4,6% restante a individuos secos.

El 78,7% de la biomasa aérea se concentra en cinco individuos monofustales de gran tamaño, con diámetros que van entre los 59 y los 87 cm y con alturas que van entre los 3,6 m hasta 6,05 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 13,4% corresponde al fuste, 83,5% a ramas, 3,1% 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. Los árboles registran una biomasa acumulada de frutos de 9,77 kg (Peso fresco), con valores entre los 0,08 kg/árbol y los 2,93 kg/árbol, alcanzando una media de 0,69 kg/árbol.

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*). –octubre 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	55	87	142	7,3	9,18	16,48	4,73	5,45	10,18	0,8	-	0,8	-	-	-	6,61	7,89	14,5
2,6 - 5	2	13	15	1,16	11,85	13,01	1,9	25,07	26,97	0,27	-	0,27	-	-	-	1,48	23,18	24,66
5,1 - 7,5	-	6	6	-	14,65	14,65	-	9,49	9,49	-	-	-	-	-	-	-	44,29	44,29
7,6 - 10	4	-	4	15,24	-	15,24	1,98	-	1,98	1,02	-	1,02	-	-	-	54,2	-	54,2
10,1 - 12,5	4	-	4	17,4	-	17,4	2,87	-	2,87	5,04	-	5,04	0,14	-	0,14	78,1	-	78,1
12,6 - 15	3	4	7	19,12	23,53	42,65	3,25	9,23	12,48	3,93	-	3,93	-	0,27	0,27	82,46	134,66	217,12
15,1 - 17,5	2	-	2	14,6	-	14,6	3,16	-	3,16	4,14	-	4,14	0,16	-	0,16	77,85	-	77,85
17,6 - 20	2	-	2	20,44	-	20,44	3,1	-	3,1	5,32	-	5,32	0,99	-	0,99	108,38	-	108,38
20,1 - 22,5	1	-	1	9,6	-	9,6	8,09	-	8,09	3,55	-	3,55	-	-	-	61,6	-	61,6
22,6 - 25	1	-	1	15,52	-	15,52	35,54	-	35,54	4,38	-	4,38	1,78	-	1,78	117,41	-	117,41
25,1 - 27,5	3	-	3	49,7	-	49,7	39,98	-	39,98	13,75	-	13,75	2,15	-	2,15	314,63	-	314,63
27,6 - 30	2	-	2	36,81	-	36,81	57,69	-	57,69	11,34	-	11,34	0,86	-	0,86	274,3	-	274,3
30,1 - 32,5	-	1	1	-	18,41	18,41	-	11,23	11,23	-	-	-	-	-	-	-	113,4	113,4
57,6 - 60	1	-	1	83,81	-	83,81	532,42	-	532,42	17,7	-	17,7	2,05	-	2,05	809,14	-	809,14
60,1 - 62,5	2	-	2	139,15	-	139,15	1.580,04	-	1.580,04	41,36	-	41,36	24,18	-	24,18	2.080,37	-	2.080,37
65,1 - 67,5	1	-	1	112,67	-	112,67	859,59	-	859,59	26,57	-	26,57	0,73	-	0,73	1.142,08	-	1.142,08
85,1 - 87,5	1	-	1	141,72	-	141,72	1.141,15	-	1.141,15	20,23	-	20,23	8,63	-	8,63	1.524,71	-	1.524,71
Total	84	111	195	684,24	77,62	761,86	4.275,49	60,47	4.335,96	159,41	-	159,41	41,67	0,27	41,94	6.733,32	323,42	7.056,74

(-) 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 10 Informe "Estimación biomasa de una población del género *Prosopis* emplazada en la Quebrada de Camar" (octubre 2024)

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

Durante el segundo semestre de 2024, el equipo de Gerencia de Medio Ambiente (GMA) de SQM Salar Spa realizó 20 prospecciones en la quebrada de Camar, con la finalidad de realizar el riego de los ejemplares junto con registrar su vitalidad y porcentaje de copa viva. Los resultados de dichos monitoreos se presentan en el Anexo 8. Sin embargo, a partir de octubre de 2024, los parámetros de vitalidad y copa viva dejaron de ser considerados en los reportes de SQM, por tanto, para efectos de los resultados y análisis del presente informe semestral y posteriores, dichos datos serán provenientes de los monitoreos mensuales de algarrobos a cargo de Geobiota, los que se presentan en el Anexo 1.

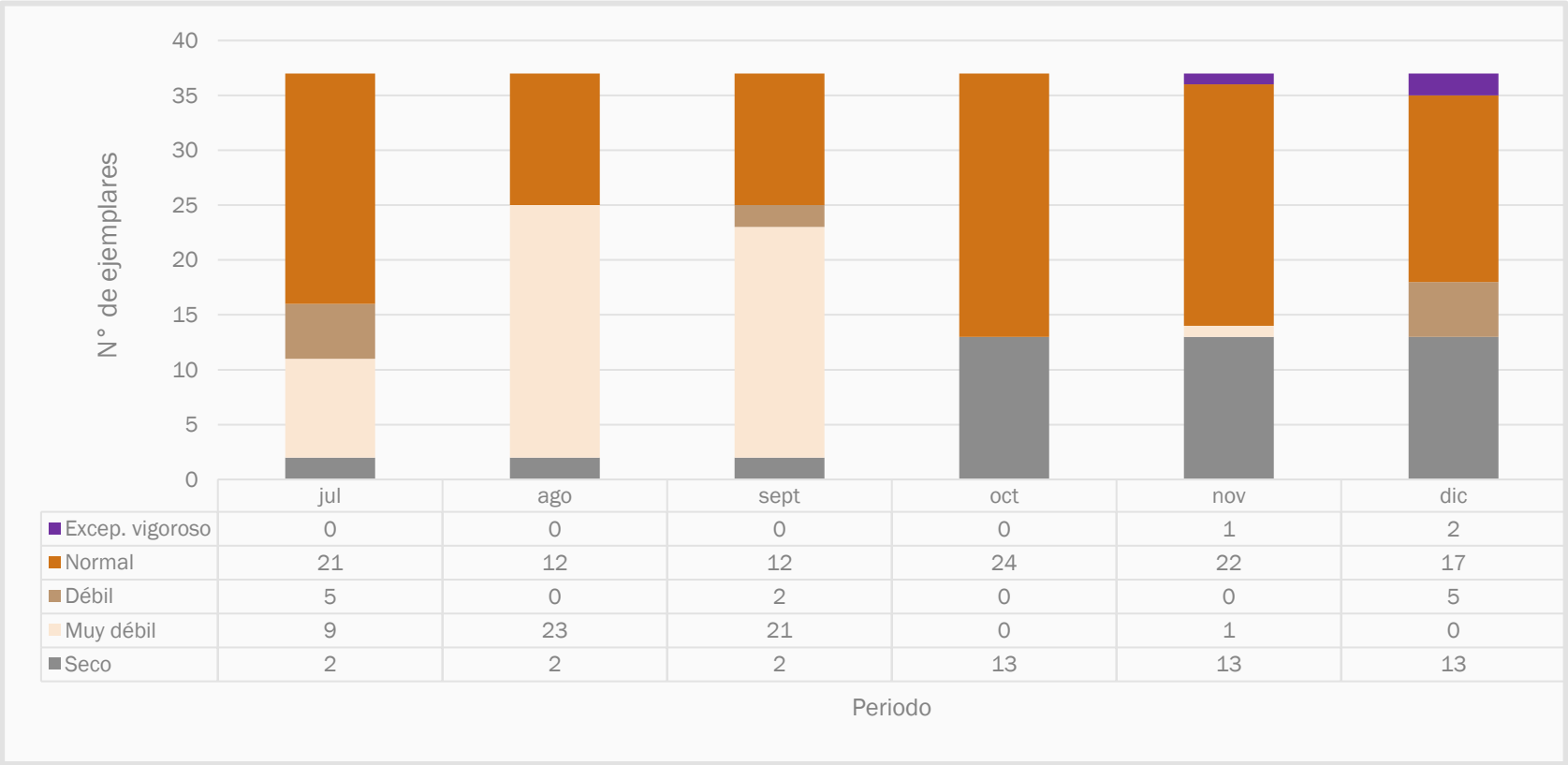
5.2.1 Vitalidad

A lo largo del semestre, la categoría Crecimiento normal ha sido la más frecuente, seguida por las categorías Muy débil y Seco. Durante la primera parte del semestre, la categoría Débil tuvo un mayor protagonismo, especialmente en agosto y septiembre; sin embargo, posteriormente disminuyó casi por completo. Esta reducción dio paso a un aumento en la categoría Crecimiento normal, que alcanzó un máximo de 24 individuos en octubre, mientras que su mínimo fue de 12 individuos en agosto y septiembre. Si bien estos cambios reflejan una mejora en la vitalidad de los ejemplares, también se registró un incremento en los individuos en estado Seco. En particular, entre septiembre y octubre esta categoría paso de 2 a 13 individuos¹⁹, cifra que se mantuvo hasta el último monitoreo. Finalmente, hacia el final del semestre se comienza a identificar la presencia de ejemplares Ex. vigorosos en noviembre y diciembre.

Estos resultados sugieren que los árboles monitoreados responden a las condiciones ambientales propias del sector, presentando una respuesta favorable con la llegada de la primavera. En este periodo, los árboles vivos con riego, al contar con una buena disponibilidad hídrica tienden a mejorar su vitalidad y copa viva. Sin embargo, se evidencia que, dada las altas temperaturas, la baja disponibilidad hídrica del sector y el ramoneo existente en la zona, el considerar únicamente riego como medida de protección para estos individuos, puede comprometer su efectividad o ser insuficiente para mantener altos niveles de vitalidad en los individuos. Esto se ve reflejado en el aumento de individuos secos registrado durante el semestre.

¹⁹ Individuos corresponden a A06 y A59, secos desde el primer monitoreo mensual; solo en noviembre de 2023 el árbol A56 presento vitalidad, registrándose Débil. Adicionalmente, en octubre de 2024 se incorporó a esta categoría a los individuos A-21, A-22, A-23, A-26, A-30, A-31, A-34, A-38, A-41, A-42 y C-19.

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

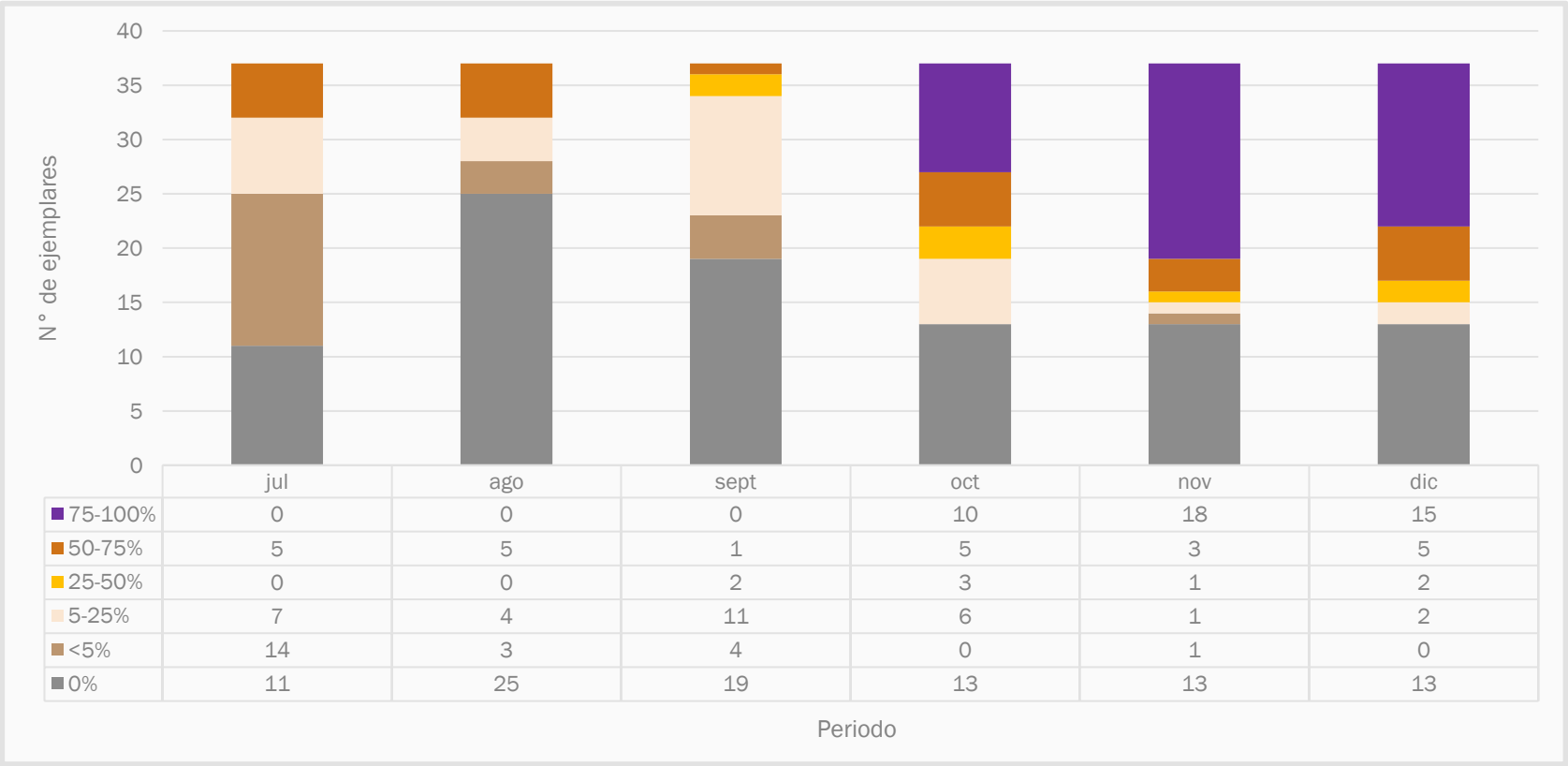
5.2.2 Porcentaje de copa viva

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 segundo semestre del 2024.

Las categorías de copa viva más bajas (<5% y 5-25%) predominan al inicio del semestre, pero comienzan a disminuir gradualmente a medida que se acerca la primavera. En paralelo, se observa un aumento en las categorías más altas (50-75% y 75-100%) hacia la parte final del semestre. En los meses de octubre a diciembre, este comportamiento se hace más evidente, lo que se relacionaría a la estacionalidad. La categoría 25-50% muestra una cierta estabilidad con valores bajos durante todo el semestre. Por su parte, el número de árboles sin copa viva presenta variaciones durante el primer semestre, con un máximo de 25 individuos en agosto. Mientras que se presentó una mejoría hacia la segunda mitad del semestre, con 13 individuos en los últimos 3 monitoreos.

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. Por otra parte, el contar con riego podría estar beneficiando el desarrollo de copa de estos individuos al llegar la primavera. Tomando relevancia el mantener en buen estado el sistema de riego, realizando revisiones y mantenciones constantes. Además, se sugiere priorizar el seguimiento a individuos con categorías con menor vigor y porcentaje de copa viva.

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 los desperfectos en los componentes del sistema de riego corresponden a filtraciones en las cañerías y líneas de riego.

En la Tabla 5-9 se muestran los principales desperfectos ocurridos durante el segundo semestre de 2024. A partir de enero de 2024, la empresa de riego *Teknoriego* realiza el mantenimiento del sistema.

Tabla 5-9. Principales desperfectos detectados en los componentes del sistema de riego

Fecha de detección	Tipo de afectación	Árbol afectado	Reparación
06.07.2024	Filtraciones en las cañerías	C-16, A-33, A-36, C-71, A-45, A-46, A-47 y A-11	Reparo provisorio. 06.07.2024
09.08.2024	Filtraciones en las líneas de riego	A-07, A-17 y A-21	Reparo provisorio. 09.08.2024
11.10.2024	Filtraciones en las cañerías	A-36, A-11 y A-08	Reparo provisorio. 11.10.2024
26.10.2024	Filtraciones en las cañerías	A-07, A-43 y A-45	Reparo provisorio. 26.10.2024
09.11.2024	Piquete en cañerías	A-11, A-08	Reparo provisorio. 09.11.2024

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 segundo semestre de 2024, el cual contempla los monitoreos de julio y octubre 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 julio y octubre 2024 una superficie total de 4.044,04 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 5-10 muestra las superficies y porcentajes de representatividad en el área de estudio según las formaciones vegetales en el segundo semestre del 2024:

Tabla 5-10. Formaciones vegetales y otras superficies presentes en la quebrada de Camar

Formación	Cobertura (%)	Julio 2024		Octubre 2024	
		Superficie		Superficie	
		(ha)	Participación (%)	(ha)	Participación (%)
Matorral de <i>Aloysia deserticola</i> - <i>Ephedra multiflora</i> (Rica rica - Pingo pingo)	Ralo	2,02	0,05	2,02	0,05
	Muy abierto	33,05	0,82	33,05	0,82
Subtotal		35,07	0,87	35,07	0,87
Matorral de <i>Atriplex atacamensis</i> - <i>Atriplex imbricata</i> (Cachiyuyo - Ojalar)	Ralo	3,33	0,08	1,97	0,05
	Muy abierto	14,79	0,37	19,63	0,49
	Abierto	4,95	0,12	1,47	0,04
Subtotal		23,07	0,57	23,07	0,57
Matorral de <i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)	Rala	50,29	1,24	38,91	0,96
	Muy abierto	156,95	3,88	175,81	4,35
	Abierto	33,64	0,83	23,09	0,57
	Semidenso	1,43	0,04	1,43	0,04
Subtotal		242,31	5,99	239,24	5,92
Matorral de <i>Tiquilia atacamensis</i> (Káuchal)	Ralo	70,48	1,74	69,20	1,71
	Muy abierto	28,09	0,69	29,37	0,73
	Abierto	0,17	0,00*	0,17	0,00*
Subtotal		98,74	2,43	98,74	2,44
Total Matorrales	-	399,19	9,86	396,12	9,80
Bosque de <i>Neltuma alba</i> (algarrobo)	-	9,34	0,23	9,34	0,23
Subtotal		9,34	0,23	9,34	0,23
Pradera de <i>Distichlis spicata</i> (Grama salada)	Ralo	0,24	0,01	0,24	0,01
	Muy abierto	0,24	0,01	3,31	0,08
Subtotal		0,48	0,02	3,55	0,09
Total superficie cubierta por vegetación		409,01	10,11	409,01	10,11
Zona agrícola	-	7,32	0,18	7,32	0,18
Zona de vegetación escasa	-	3.582,49	88,59	3.582,49	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	31,34	0,77
Subtotal otras superficies		3.635,03	89,89	3.635,03	89,89
Total general		4.044,04	100,00	4.044,04	100,00

(*) Cifra menor al 0,01%

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 399,19 ha (julio) y 396,12 ha (octubre), lo que representa el 9,86% y

9,80% 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 (0,02% de la quebrada) en julio, y 3,55 ha (0,09% de la quebrada) en octubre. La mayor parte de la quebrada corresponde a zonas de vegetación escasa, cuya cobertura de especies vegetales es menor al 5%. En julio y octubre, éstas registraron una superficie de 3.582,49 (88,59% de la quebrada). 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 julio y octubre 2024 se adjunta en el Anexo 4.

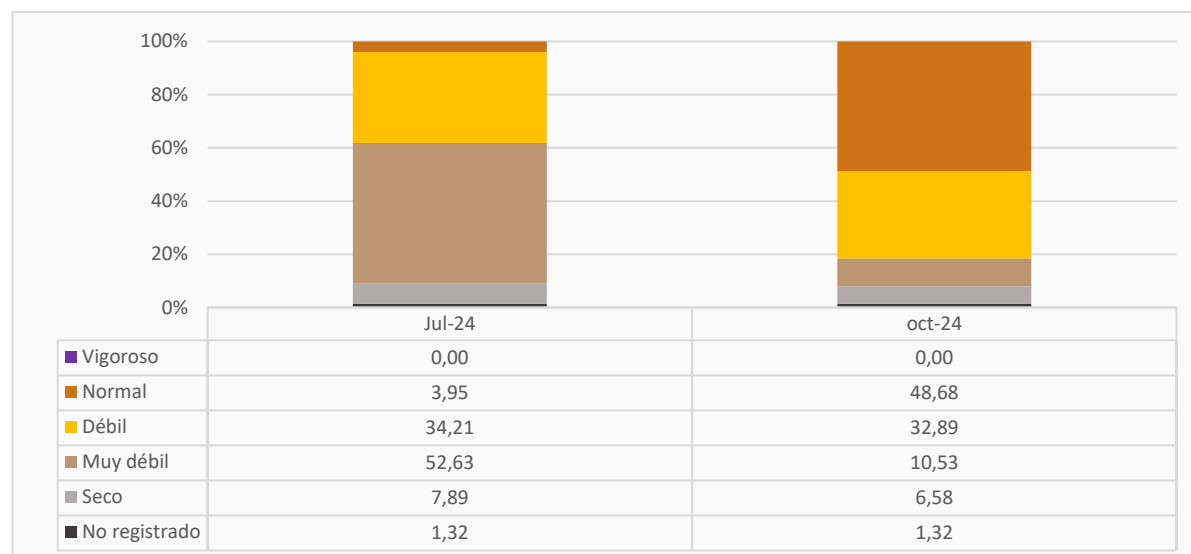
5.3.1.2 Vitalidad

Los resultados de la vitalidad se presentan en la Figura 5-25. Se observa que, en el mes de julio, la mayoría de los registros se ubicó en la categoría Muy débil, mientras que en octubre la mayor concentración se registró en la categoría Crecimiento normal. La categoría de vitalidad de Crecimiento normal se documentó el 3,95% de los registros de julio, a diferencia del 48,68% registrado en octubre. Por su parte, la categoría Débil, registro 34,21% del total en julio, versus el 32,89% registrado en octubre. Con respecto a la categoría de vitalidad Muy débil, en julio, se registró un 52,63%, mientras que, en octubre, se registró 10,53% del total. En la categoría seca se observó en julio un 7,89% registrado, en cambio en octubre se registró un 6,58% del total. En la categoría de vitalidad vigorosa se observan cero (0) registros para ambas temporadas (julio y octubre). Por último, en ambos meses (julio y octubre), una descripción de terreno no tuvo registros²⁰, 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.

²⁰ 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

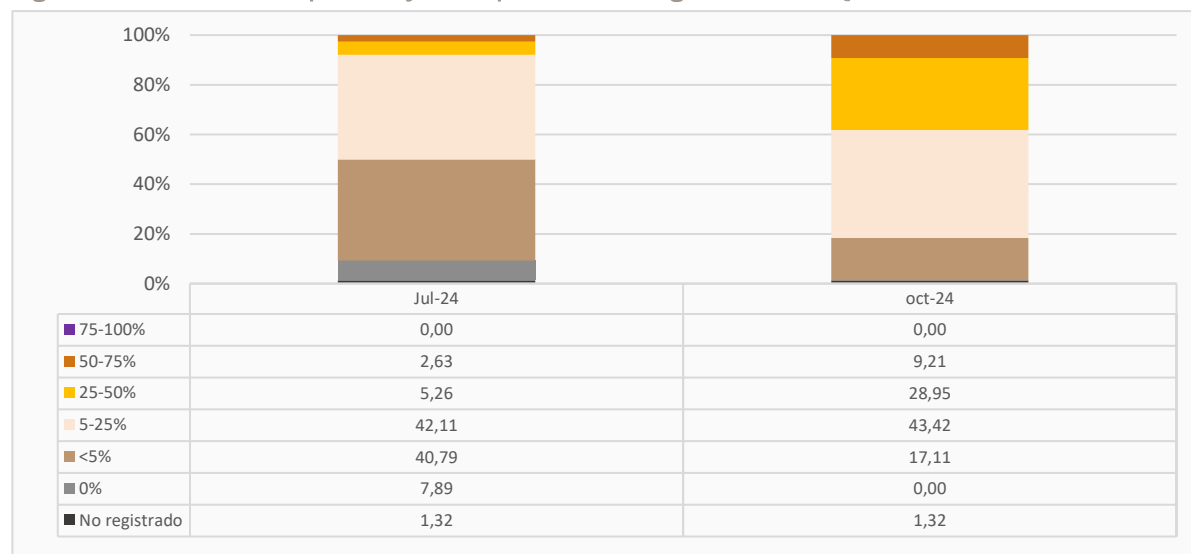


Fuente: Elaboración propia, 2024

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 segundo semestre de 2024 (julio y octubre), se observa que para ambos meses la mayoría se concentran en la categoría 5-25%, con un 42,11% del total registrado el mes de julio y un 43,42% del total registrado en octubre. Para ambas temporadas, la categoría 75-100% no tuvo registros; en cambio para la categoría 50-75%, se registró un 2,63% y 9,21% en julio y octubre respectivamente. Para la categoría 25-50% registró un 5,26% en el mes de julio y un 28,95% el mes de octubre. La categoría <5% registro un valor del 40,79% durante el mes de julio en cambio, para el mes de octubre se registró un valor del 17,11% en esta categoría. Finalmente, la categoría de 0% de copa viva, fue registrada solamente en julio con un 7,89% del total. La unidad P-001 no pudo ser muestreada y fue clasificada como No registrado (1,32% del total de las muestras).

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



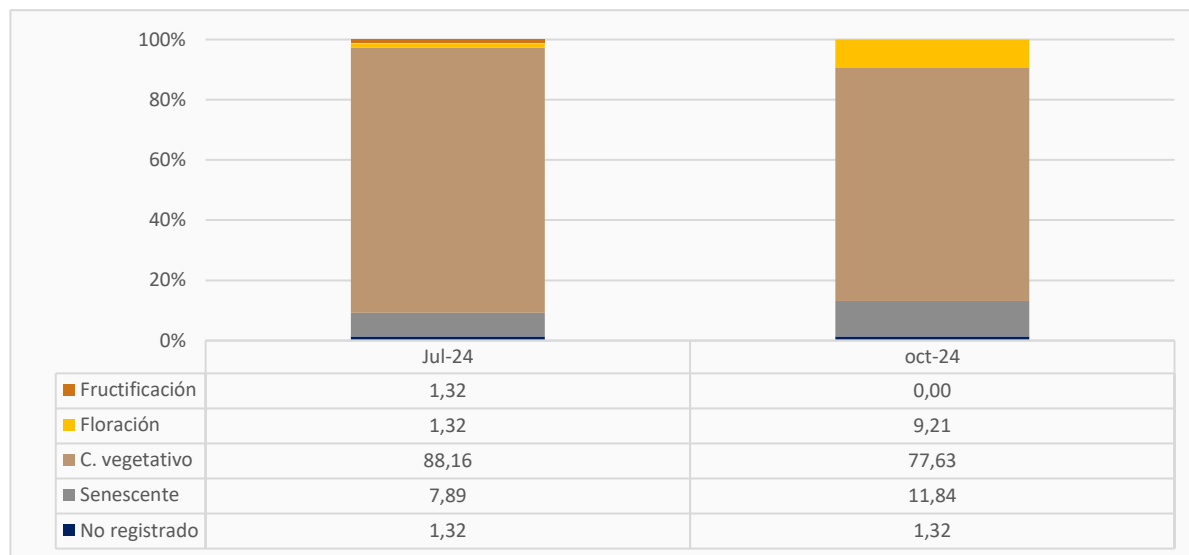
Fuente: Elaboración propia, 2024

5.3.1.4 Estado fenológico

La variación del estado fenológico de las 75 unidades vegetacionales visitadas y descritas en el segundo semestre del 2024 se presenta en la Figura 5-27. La categoría más representada tanto en julio como en octubre corresponden a la de crecimiento vegetativo, concentrando un 88,16% de las muestras en julio, y un 77,63% en octubre. La etapa fenológica de floración se observa en ambas temporadas, siendo octubre el mes donde más unidades se encontraron con esta etapa fenológica (9,21% del total). La etapa de fructificación se observó solamente en julio, con un 1,32%. La categoría Senescente representó un 7,89% en el mes de julio y un 11,84% del total en el mes de octubre. La unidad P-001 no pudo ser muestreada²¹ y fue clasificada como sin información (1,32% del total de las muestras) en ambos períodos.

²¹ 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

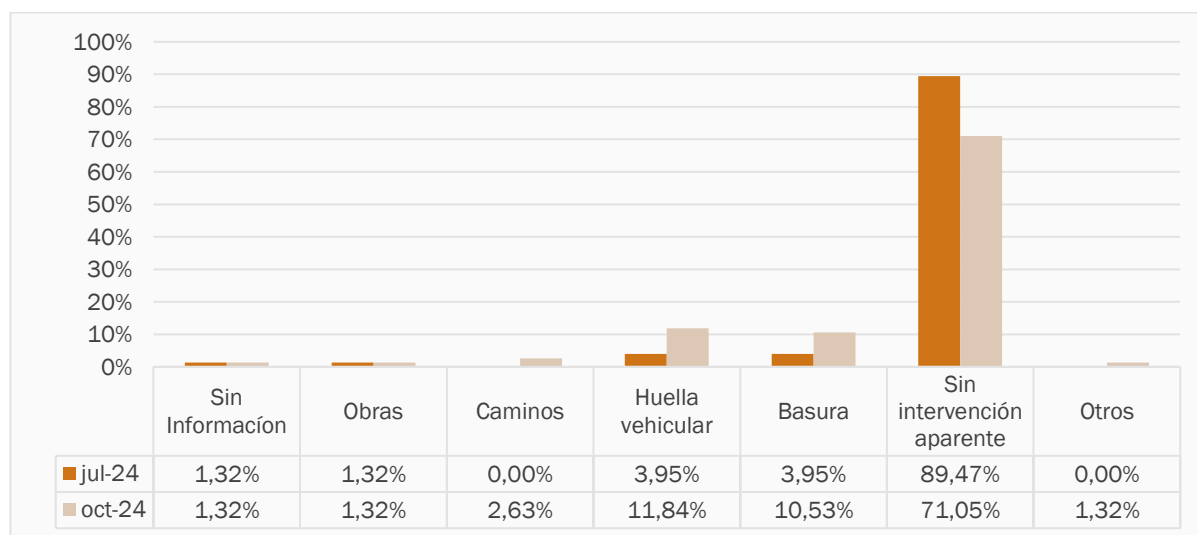
5.3.1.5 Afectación antrópica y/o natural

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 julio 2024, se registraron signos de intervención antrópica en el 9,21%, el 1,32% corresponde a la categoría de Obras, 3,95% en la categoría de Huellas vehiculares, 3,95% en la categoría de Basura, en el 89,47% no se observaron signos de intervención antrópica. Por otra parte, en octubre de 2024, se registraron signos de intervención antrópica de un 27,63% de las unidades vegetacionales del total, el 1,32% corresponde a la categoría a de Obras, el 2,63% a la categoría de Caminos, 11,84% Huellas vehiculares, un 10,53% con presencia de Basura y un 1,32% tiene “otros” tipos de intervención (la categoría Otros corresponde a cortas). El 71,05% de los polígonos no se observaron signos de intervención antrópica. Cabe destacar que en ambos periodos (julio y octubre) un 1,32% se registró como sin información, ya que no fue posible acceder un polígono²². Los tipos de intervención registrados en el segundo 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 82,89% de los puntos de muestreo en julio, y del 63,16% en octubre. Además, se observa afectación directa por ramoneo en individuos de Neltuma alba (informe de “Análisis de vitalidad de algarrobos – octubre 2024” de la quebrada de Camar, Acción N°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).

²² El punto P-001 no pudo ser monitoreado, ya que, se encuentra dentro de un recito privado.

Figura 5-28. Tipos de daño antrópico



Fuente: Elaboración propia, 2025

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



(Coordenadas UTM 598.131 E - 7.410.118 N)



(Coordenadas UTM 595.085 E - 7.409.832 N)



(Coordenadas UTM 594.945 E - 7.409.129 N)



(Coordenadas UTM 594.771 E - 7.409.250 N)

Fuente: Registro fotográfico en terreno, julio y octubre de 2024

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*²³ (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 5-11 se muestran los resultados correspondientes a la riqueza registrada durante el segundo semestre de 2024. El análisis de la flora registrada en la quebrada de Camar, de acuerdo con su origen fitogeográfico para los meses de julio y octubre de 2024, da cuenta de un total de 11 taxa entre los dos períodos. Las especies registradas en los transectos durante julio incluyen a *Aloysia deserticola*, *Atriplex atacamensis*, *Atriplex imbricata*, *Distichlis spicata*, *Ephedra multiflora*, *Tarasa operculata*, *Tessaria absinthioides* y *Tiquilia atacamensis*, mientras que en octubre se registraron las mismas especies, con la adición de *Adesmia rahmeri*. 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 81,82% (9 de los 11 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 julio, el 70% (7 especies) presentó hábito arbustivo, el 10% (1 especies) correspondió a herbáceas y el 20% restante (2 especies) a especies arbóreas. En octubre, un 64,64% (7 especies) de las especies fueron arbustos, el 18,18% (2 especie) fue herbáceas, y el otro 18,18% (2 especies) arbóreas.

Tabla 5-11. Riqueza de especies presentes en el área de estudio

Nº	Nombre científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	Julio 2024	Octubre 2024
1	<i>Adesmia rahmeri</i>	Fabaceae	Hierba anual	Nativo	-	X
2	<i>Aloysia deserticola</i>	Verbenaceae	Arbusto	Nativo	X	X
3	<i>Atriplex atacamensis</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Endémico	X	X
4	<i>Atriplex imbricata</i> var. <i>imbricata</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	X	X
5	<i>Distichlis spicata</i>	Poaceae	Hierba perenne	Nativo	X	X
6	<i>Ephedra multiflora</i>	Ephedraceae	Arbusto	Nativo	X	X
6	<i>Neltuma alba</i>	Fabaceae	Árbol	Nativo	(*)	(*)

²³ Desintegración del género en *Neltuma*, *Strombocarpa* y *Prosopis* en 2022.

Tabla 5-11. Riqueza de especies presentes en el área de estudio

N°	Nombre científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	Julio 2024	Octubre 2024
8	<i>Strombocarpa tamarugo</i>	Fabaceae	Árbol	Endémico	(*)	(*)
9	<i>Tarasa operculata</i>	Malvaceae	Arbusto	Nativo	X	X
10	<i>Tessaria absinthioides</i>	Asteraceae	Arbusto	Nativo	X	X
11	<i>Tiquilia atacamensis</i>	Boraginaceae	Arbusto	Endémico	X	X
Riqueza dentro de los puntos de muestreo					8	9
Riqueza fuera de los puntos de muestreo					2	2
Riqueza total					10	11

(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 5-12 se presenta la frecuencia y cobertura de las especies registradas en julio y octubre 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 56 puntos de monitoreo en julio y octubre. Esto corresponde al 74,67% del total de puntos de muestreo respectivamente. La segunda especie más abundante es *Atriplex atacamensis* con 23 y 20 registros en julio y octubre respectivamente (30,67% y 15,11% del total) . Le sigue *Distichlis spicata*, que se registró en 19 puntos (25,33% del total) en julio y 20 puntos (26,67% del total) en octubre y *Tiquilia atacamensis* presente en 15 puntos de monitoreo (20,00% del total) en julio y 13 puntos (17,33% del total de puntos) en octubre. Por último, la especie *Aloysia deserticola* se registró en 10 puntos de monitoreo (13,33% del total) tanto en julio como en octubre. En menor medida y con participaciones menores al 10% en ambos periodos se registraron las especies *Atriplex imbricata*, *Ephedra multiflora* y *Tarasa operculata*; también hubo un registro de *Adesmia rahmeri*, pero solo en el periodo de octubre.

Los resultados indican que la cobertura en que se presentan las especies en la quebrada de Camar es baja, y presenta poca variación entre los meses de julio y octubre (Tabla 5-12). La especie con mayor cobertura fue *Tessaria absinthioides*, con cerca de un 10% en ambos periodos, seguida de *Atriplex atacamensis*, que registró un 1,8% en los meses prospectados. Le sigue *Aloysia deserticola*, con un 0,68% en julio y un 1,13% en octubre; mientras que el resto de las especies se presentan con coberturas inferiores al 1%.

Tabla 5-12. Cobertura y frecuencia de las especies registradas

N°	Especie	Julio 2024		Octubre 2024	
		N° de puntos de muestreo	% de cobertura	N° de puntos de muestreo	% de cobertura
1	<i>Adesmia rahmeri</i>	0	0,00%	1	<0,01%
2	<i>Aloysia deserticola</i>	10	0,68%	10	1,13%
3	<i>Atriplex atacamensis</i>	23	1,86%	20	1,85%

Tabla 5-12. Cobertura y frecuencia de las especies registradas

N°	Especie	Julio 2024		Octubre 2024	
		N° de puntos de muestreo	% de cobertura	N° de puntos de muestreo	% de cobertura
4	<i>Atriplex imbricata</i>	3	0,07%	3	0,03%
5	<i>Distichlis spicata</i>	19	0,33%	20	0,38%
6	<i>Ephedra multiflora</i>	1	0,02%	5	0,20%
7	<i>Tarasa operculata</i>	1	0,01%	1	0,02%
8	<i>Tessaria absinthioides</i>	56	10,16%	56	9,25%
9	<i>Tiquilia atacamensis</i>	15	0,58%	13	0,70%

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 toman muestras mensualmente de 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), el CHS da cuenta de un promedio semestral del $0,69\% \pm 0,19\%$.

Por otro lado, tal como se ha observado en otros monitoreos de suelo dentro de la cuenca del Salar de Atacama, hay sectores donde se da un gradiente de algunos parámetros (entre ellos del CHS) en función de su cercanía al núcleo, dada la existencia de una napa freática que se hace más somera hacia el núcleo del salar. En este sentido, los valores de CHS fueron ordenados de este a oeste, para detectar si la posición espacial de las muestras guarda alguna relación con el CHS, estos resultados se ilustran en la Figura 5-29 y se entregan en detalle en el Anexo 5.

Los resultados muestran que en el área de la quebrada de camar, el contenido de humedad del suelo se presenta de manera uniforme, es decir, no se observa un patrón espacial marcado en la variable. Lo que es de esperar dada la gran distancia que hay desde la quebrada al núcleo y que la napa freática en el sector se ubica a más de 50 m.

Tal como se observa en la Figura 5-29, donde se muestran los valores mensuales de CHS para el segundo semestre de 2024, el mayor valor promedio general se registra en el mes de diciembre con un $0,88\% \pm 1,33\%$. Por otro lado, el menor valor promedio general se observa en el mes de julio, con un $0,39\% \pm 0,83\%$.

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

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

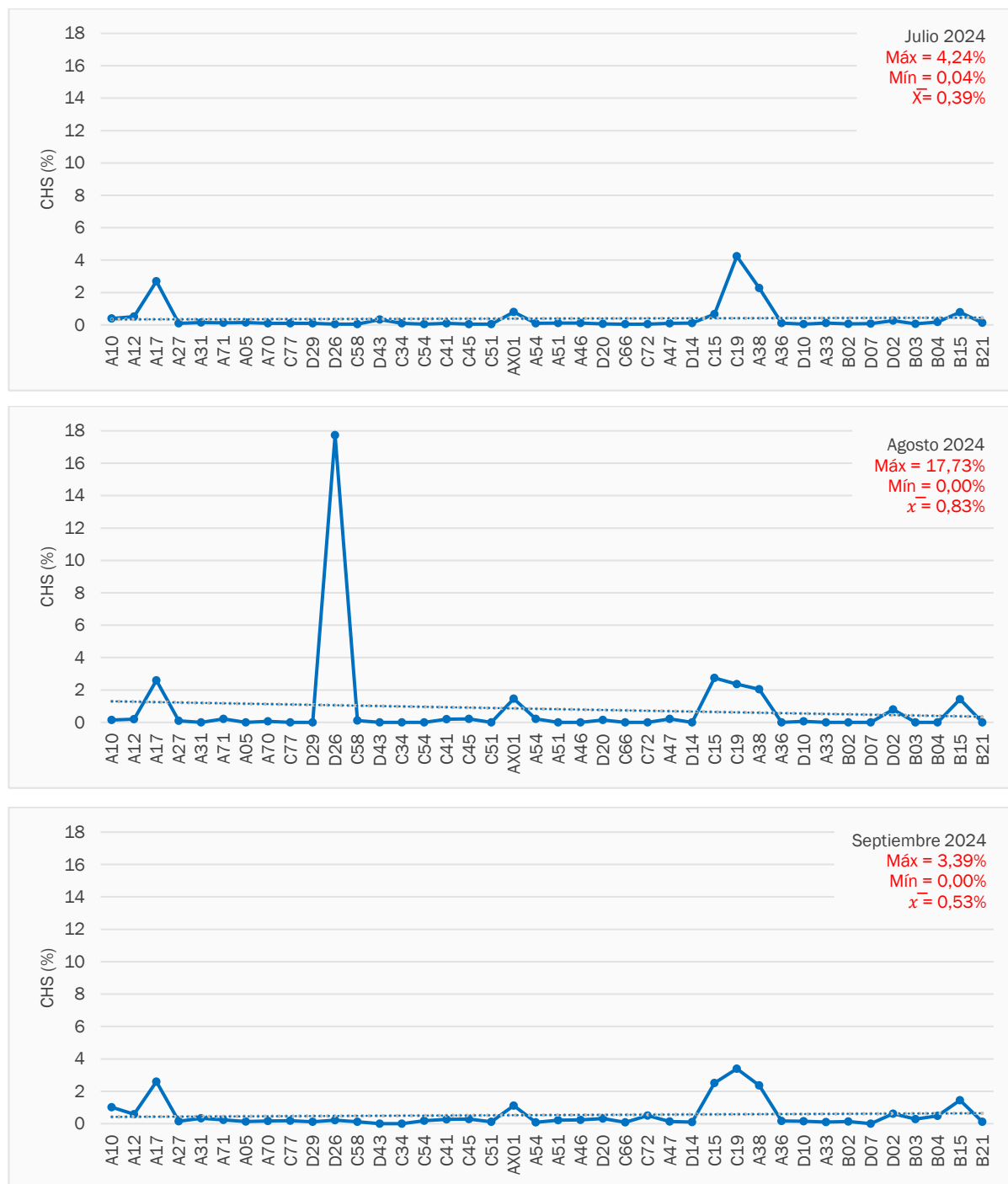
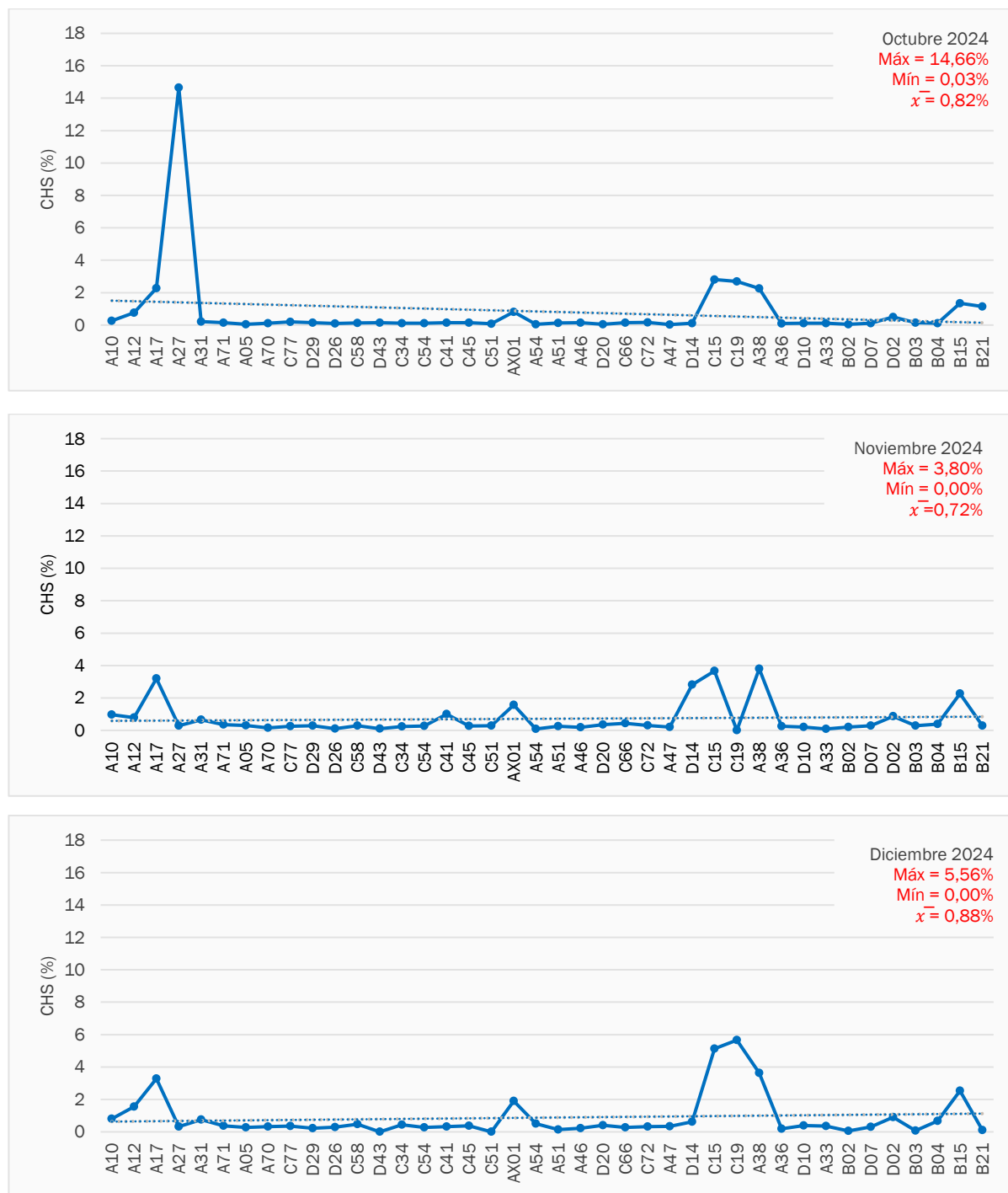


Figura 5-29. Contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en la quebrada de Camar – segundo semestre 2024

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 aplicó la Acción N° 28 del Programa 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 5-13** 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 segundo semestre de 2024, se puede ver que el valor máximo fue 17,73% y se registró en el punto D-26 (individuo sin riego) en el monitoreo de agosto, mientras que el valor mínimo fue 0% (<0,01) y fue registrado en varios puntos durante diferentes meses, con predominancia en el mes de agosto.

El valor máximo registrado se desvía considerablemente del promedio y no refleja el comportamiento general de los demás individuos, por lo que se especula que podrían haber sido influenciados por condiciones específicas del momento y lugar de medición. En todos los casos, los individuos con riego presentaron un promedio mayor de CHS que los individuos sin riego.

Tabla 5-13. CHS en individuos de Neltuma alba con y sin sistema de riego

Individuo	Sistema	Coorde- nada este	Coorde- nada norte	Julio	Agosto	Septiem- bre	Octubre	Noviembre	Diciem- bre
A12	Con riego	597.220	7.409.970	0,51	0,19	0,58	0,77	0,78	1,55
A17	Con riego	597.603	7.409.916	2,69	2,6	2,6	2,27	3,2	3,28
A31	Con riego	597.789	7.409.950	0,14	0	0,34	0,21	0,66	0,75
A33	Con riego	598.756	7.409.890	0,11	0	0,1	0,12	0,09	0,35
A36	Con riego	598.727	7.409.760	0,12	0	0,16	0,1	0,25	0,19
A38	Con riego	598.674	7.409.690	2,28	2,04	2,36	2,26	3,8	3,63
A46	Con riego	598.490	7.409.730	0,12	0	0,23	0,15	0,18	0,22
A47	Con riego	598.580	7.409.760	0,1	0,22	0,14	0,03	0,21	0,34
C15	Con riego	598.603	7.409.690	0,66	2,75	2,52	2,81	3,66	5,13
C19	Con riego	598.630	7.409.700	4,24	2,36	3,39	2,7	0	5,66
AX01	Con riego	598.302	7.409.800	0,79	1,46	1,12	0,81	1,56	1,91
A05	Sin riego	598.000	7.409.770	0,15	0	0,14	0,05	0,3	0,28
A10	Sin riego	597.084	7.409.690	0,39	0,14	1,01	0,27	0,97	0,8
A27	Sin riego	597.676	7.409.910	0,09	0,1	0,15	14,66	0,29	0,33
A51	Sin riego	598.486	7.409.650	0,05	0	0,12	0,08	0,29	0
A54	Sin riego	598.413	7.409.640	0,05	0	0,18	0,12	0,27	0,27
A70	Sin riego	598.021	7.409.880	0,09	0,06	0,17	0,12	0,16	0,32
A71	Sin riego	597.816	7.409.790	0,13	0,22	0,24	0,15	0,36	0,37
B02	Sin riego	599.016	7.409.890	0,07	0	0,13	0,05	0,2	0,06

Tabla 5-13. CHS en individuos de *Neltuma alba* con y sin sistema de riego

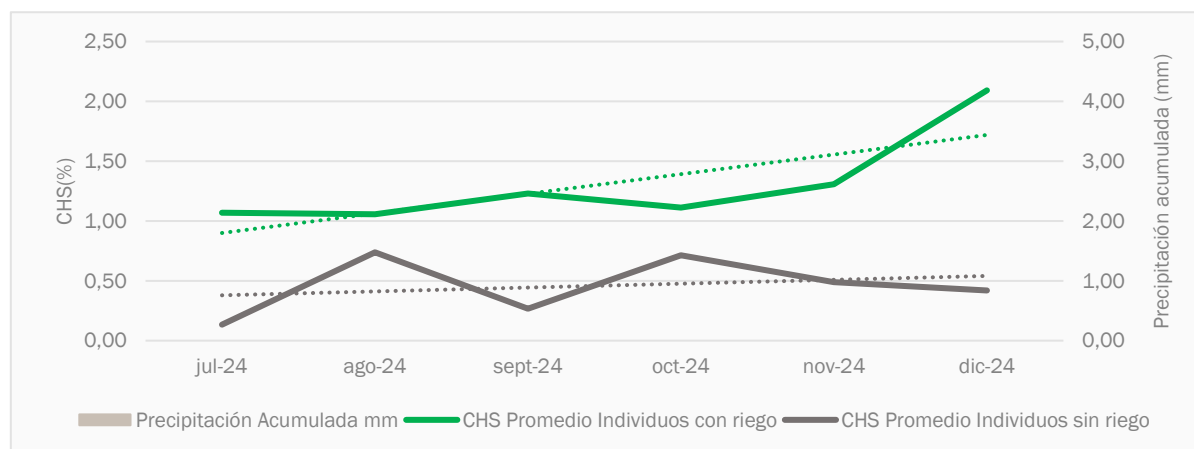
Individuo	Sistema	Coorde- nada este	Coorde- nada norte	Julio	Agosto	Septiem- bre	Octubre	Noviembre	Diciem- bre
B03	Sin riego	599.710	7.409.940	0,06	0	0,28	0,14	0,29	0,07
B04	Sin riego	600.761	7.410.290	0,18	0	0,48	0,11	0,38	0,67
B15	Sin riego	601.710	7.410.670	0,78	1,42	1,45	1,35	2,27	2,53
B21	Sin riego	602.313	7.411.000	0,13	0	0,11	1,14	0,29	0,1
C34	Sin riego	598.117	7.409.480	0,09	0	0	0,11	0,24	0,44
C41	Sin riego	598.133	7.409.490	0,1	0,19	0,26	0,14	1	0,33
C45	Sin riego	598.150	7.409.470	0,05	0,21	0,28	0,15	0,27	0,37
C51	Sin riego	598.156	7.409.530	0,11	0	0,22	0,13	0,26	0,14
C54	Sin riego	598.131	7.409.520	0,09	0,21	0,09	0,05	0,09	0,5
C58	Sin riego	598.113	7.409.510	0,05	0,12	0,11	0,13	0,29	0,47
C66	Sin riego	598.557	7.409.720	0,04	0	0,08	0,14	0,43	0,27
C72	Sin riego	598.575	7.409.720	0,05	0	0,5	0,16	0,3	0,33
C77	Sin riego	598.102	7.409.488	0,09	0	0,19	0,2	0,25	0,36
D02	Sin riego	599.297	7.409.920	0,27	0,8	0,62	0,5	0,87	0,91
D07	Sin riego	599.227	7.410.000	0,08	0	0	0,12	0,28	0,3
D10	Sin riego	598.731	7.409.610	0,05	0,07	0,15	0,11	0,2	0,39
D14	Sin riego	598.603	7.409.720	0,11	0	0,1	0,11	2,82	0,62
D20	Sin riego	598.550	7.409.620	0,06	0,14	0,32	0,05	0,35	0,4
D26	Sin riego	598.113	7.409.460	0,05	17,73	0,21	0,1	0,1	0,29
D29	Sin riego	598.107	7.409.900	0,09	0	0,12	0,15	0,29	0,23
D43	Sin riego	598.117	7.410.210	0,33	0	0	0,14	0,1	0

Fuente: elaboración propia

La Figura 5-30 muestra los valores promedio 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 segundo semestre de 2024.

El promedio máximo y mínimo de los individuos con riego fue de 2,09% y 1,06%, en diciembre y agosto respectivamente. En cuanto a los ejemplares sin sistema de riego, los valores máximo y mínimos fueron 0,74% y 0,13%, en agosto y julio respectivamente. Los individuos con riego presentan una tendencia creciente del CHS conforme avanza el semestre, mientras que los individuos sin riego presentan oscilaciones a lo largo de los meses, manteniéndose siempre con promedios inferiores respecto a los promedios de los individuos con sistema de riego. A lo largo del semestre no se han registrado eventos de precipitaciones, lo que ha evitado que los resultados se vean influenciados por esta variable. Esto ha permitido una mejor apreciación de las diferencias entre los individuos con riego y aquellos sin riego.

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 5-14. Al comparar los resultados de octubre 2024 con el reporte anterior (julio 2024), se observa una disminución en el CHS en el 27,91% de los puntos (12 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 3,37% (julio de 2024) a 3,27 (octubre de 2024), es decir, hubo una disminución de 0,10%. Por otra parte, el promedio de contenido de humedad de suelo en los puntos del cono aluvial pasó de 0,28% (julio de 2024) a 0,36% (octubre de 2024), es decir, aumentó en un 0,08%. En cuanto al promedio general del CHS en todos los puntos monitoreados, este presentó leves variaciones decimales que, para efectos del informe, se consideran como 0,00%. Esta estabilidad podría estar relacionada con la ausencia de precipitaciones desde mayo de 2024 hasta la fecha²⁴.

En la Figura 5-31 se presenta el contenido de humedad de suelo (%) promedio por tipo vegetacional. Allí se observa que en ambos monitoreos el contenido de humedad se distribuye de la misma manera en cada tipo de formación vegetacional. Tanto en julio como el octubre los mayores valores de humedad se registran en el matorral de *Tessaria absinthioides*, alcanzando valores cercanos al 5% en ambos monitoreos. Le sigue el matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata*, con valores cercanos al 1%, y el matorral de *Aloysia deserticola* – *Ephedra multiflora*, con valores aproximados a 0,7%. Mientras que con valores inferiores al 0,7% se encuentran las zonas de vegetación escasa y el matorral de *Tiquilia atacamensis*.

²⁴ SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. <https://www.agrometereologia.cl>

En particular, en julio los mayores valores de CHS se encuentran en el matorral de *Tessaria absinthioides* (5,45% de CHS promedio), en segundo lugar, se encuentra el matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata* (1,01% de CHS promedio), seguido de el matorral de *Aloysia deserticola* – *Ephedra multiflora* (0,66% de CHS promedio), luego las zonas de vegetación escasa (0,43% de CHS promedio), y, por último, el matorral de *Tiquilia atacamensis* (0,29% de CHS promedio). Por otro lado, en octubre, los mayores valores se ubicaron en el matorral de *Tessaria absinthioides* (5% de CHS promedio), en segundo lugar, se encuentra el matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata* (0,86% de CHS promedio), seguido de el matorral de *Aloysia deserticola* – *Ephedra multiflora* (0,75% de CHS promedio). Luego las zonas de vegetación escasa (0,71% de CHS promedio), y finalmente, el matorral de *Tiquilia atacamensis* (0,15% de CHS promedio).

Resultados de contenido de humedad de suelos en los puntos monitoreados de la quebrada de Camar se muestran en la Tabla 5-14

Tabla 5-14. Resultados de contenido de humedad de suelos en los puntos monitoreados de la quebrada de Camar

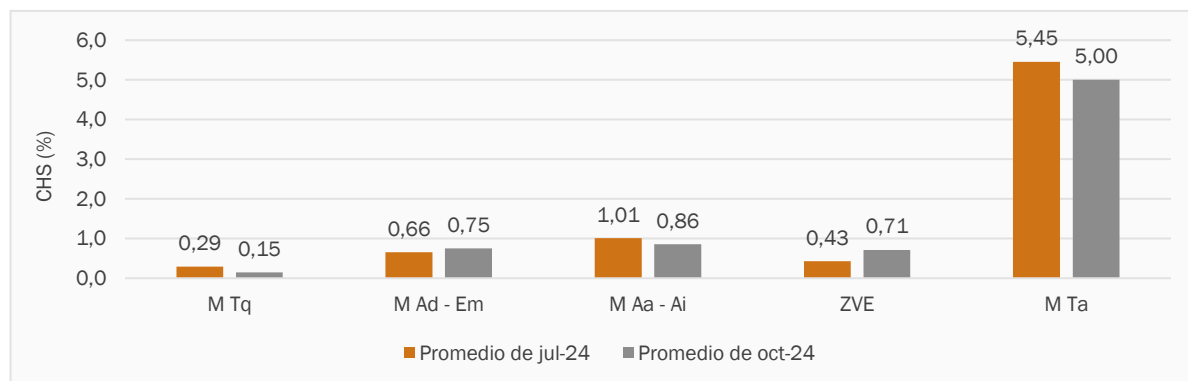
Sector	Estación de muestreo (Borde este)	CHS (%) Jul-24	CHS (%) Oct-24
Borde este	CHPCE-04	1,16	1,36
Borde este	CHPCE-06	1,8	1,54
Borde este	CHPCE-11	0,95	1,32
Borde este	CHPCE-05	13,2	8,2
Borde este	CHPCE-09	4,32	8,16
Borde este	CHPCE-10	0,36	0,75
Borde este	CHPCE-12	2,25	3,95
Borde este	CHPCE-18	3,63	5,11
Borde este	CHPCE-02	0,18	0,19
Borde este	TF-4-03	1,47	2,11
Borde este	CHPCE-01	5,77	2,7
Borde este	CHPCE-03	9,87	8,22
Borde este	CHPCE-07	4,45	3,91
Borde este	CHPCE-08	1,08	0,82
Borde este	TF-3-01	1,37	1,26
Borde este	TF-3-02	9,14	6,91
Borde este	TF-4-02	0,22	0,2
Borde este	TF-4-04	1,85	3,87
Borde este	TF-4-05	0,94	1,52
Cono aluvial	C-41	0,15	0,22
Cono aluvial	CHPCE-15	0,05	0,15

Tabla 5-14. Resultados de contenido de humedad de suelos en los puntos monitoreados de la quebrada de Camar

Sector	Estación de muestreo (Borde este)	CHS (%) Jul-24	CHS (%) Oct-24
Cono aluvial	CHPCE-17	0,04	0
Cono aluvial	CHPCE-13	0,03	0,1
Cono aluvial	CHPCE-19	0,08	0,2
Cono aluvial	CHPCE-14	0,06	0,15
Cono aluvial	CHPCE-16	1,42	0,19
Cono aluvial	CHPCE-20	0,08	0,09
Cono aluvial	CHPCE-21	0,05	0,06
Cono aluvial	CHPCE-27	0,09	0,13
Cono aluvial	CHPCE-22	0,14	0,13
Cono aluvial	CHPCE-23	0	0,04
Cono aluvial	CHPCE-24	0,04	0,09
Cono aluvial	CHPCE-25	0,03	0,09
Cono aluvial	A-10	0,7	1,17
Cono aluvial	A-27	0,15	0,2
Cono aluvial	B-04	0,2	0,34
Cono aluvial	B-15	2,76	3,47
Cono aluvial	B-21	0,26	0,27
Cono aluvial	CHPCE-26	0,08	0,13
Cono aluvial	CHPCE-28	0	0,07
Cono aluvial	D-07	0,12	0,3
Cono aluvial	D-14	0,12	0,17
Cono aluvial	D-43	0,15	0,91

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 julio y octubre de 2024 para los suelos de la quebrada de Camar se presentan en la Tabla 5-15 y se ilustran en la Figura 5-32.

En julio, los valores de pH se registraron entre 6,80 (neutro) y 9,50 (muy fuertemente alcalino). La mayoría de los puntos monitoreados se clasificaron como fuertemente alcalinos (53,49%; 23 puntos), mientras que el resto se distribuye entre moderadamente alcalinos (13,95%; 6 puntos), muy fuertemente alcalinos (13,95%; 6 puntos), ligeramente alcalino (9,30%; 4 puntos) y neutro (9,30%; 4 puntos).

En cuanto al pH promedio por tipo vegetacional (Tabla 5-15), el matorral de *Tiquilia atacamensis* presenta el valor más alto (8,78; fuertemente alcalino), seguido por matorral de *Tessaria absinthioides* (8,67; fuertemente alcalino), matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora* (8,66; fuertemente alcalino), matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* (8,27; moderadamente alcalino), y, por último, las zonas de vegetación escasa (8,25; moderadamente alcalino).

En octubre, los valores de pH van de 6,90 (neutro) a 9,20 (muy fuertemente alcalino). La mayoría de los puntos se clasificaron como fuertemente alcalinos (48,84%; 21 puntos), seguidos por moderadamente alcalino (25,58%; 11 puntos), ligeramente alcalino (13,95%; 6 punto), muy fuertemente alcalinos (6,98%; 3 puntos) y neutro (4,65%; 2 puntos).

En cuanto al pH promedio por tipo vegetacional, el matorral de *Tessaria absinthioides* muestra el valor más alto (8,49; fuertemente alcalino), seguido por el matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora* (8,36; moderadamente alcalino), matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* (8,27; moderadamente alcalino) y *Tiquilia atacamensis* (8,23; moderadamente alcalino), que muestra el valor más bajo junto con las zonas de vegetación escasa.

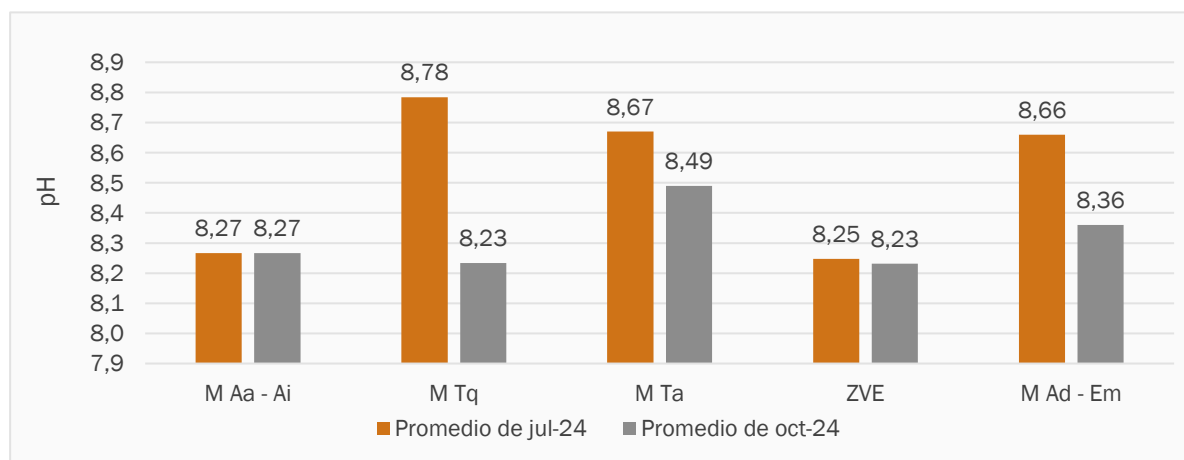
Tabla 5-15. Resultados de pH del suelo

Categorías de pH	pH	julio 2024 (%)	octubre 2024 (%)
Extremadamente ácido	3,5 – 4,4	-	-
Muy fuertemente ácido	4,5 – 5,0	-	-
Fuertemente ácido	5,1 – 5,5	-	-
Moderadamente ácido	5,6 – 6,0	-	-
Ligeramente ácido	6,1 – 6,5	-	-
Neutro	6,6 – 7,3	9,30%	4,65%
Ligeramente alcalino	7,4 – 7,8	9,30%	13,95%
Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4	13,95%	25,58%
Fuertemente alcalino	8,5 – 9,0	53,49%	48,84%
Muy fuertemente alcalino	> 9,0	13,95%	6,98%
Total		100%	100%

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

Fuente: Elaboración propia, a partir de 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 julio y octubre de 2024, se muestra en la Tabla 5-16. En julio, la mayoría de los puntos monitoreados indicaron suelos no salinos (55,81%; 24 puntos), seguidos por suelos fuertemente salinos (37,21%; 16 puntos), muy 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 17,84 dS/m (fuertemente salino), seguido del matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora* con 9,36 dS/m (fuertemente salino). El matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* tiene una CE de 4,39 dS/m (moderadamente salino), mientras que las zonas de vegetación escasa registran una CE de 1,60 dS/m (muy ligeramente salino). El valor más bajo se observó en el matorral de *Tiquilia atacamensis*, con 0,11 dS/m (no salino).

En octubre, se mantiene la cantidad de puntos clasificados como no salinos (55,81%; 24 puntos), seguidos de suelos fuertemente salinos (34,88%; 15 puntos), moderadamente salinos (4,65%; 2 puntos), ligeramente salinos (2,33%; 1 punto) y muy ligeramente salinos (2,33%; 1 punto). En cuanto a la salinidad por tipo vegetacional presentada en la Figura 5-33, el matorral de *Tessaria absinthioides* sigue teniendo la mayor CE promedio, aunque disminuyó a 13,46 dS/m (fuertemente salino). Le sigue el matorral de *Aloysia deserticola* - *Ephedra multiflora* con 7,27 dS/m (fuertemente salino), el matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* con 3,44 dS/m (moderadamente salino), las zonas de vegetación escasa con 1,42 dS/m (muy ligeramente salino). Y el valor más bajo sigue correspondiendo al matorral de *Tiquilia atacamensis*, con 0,09 dS/m (no salino).

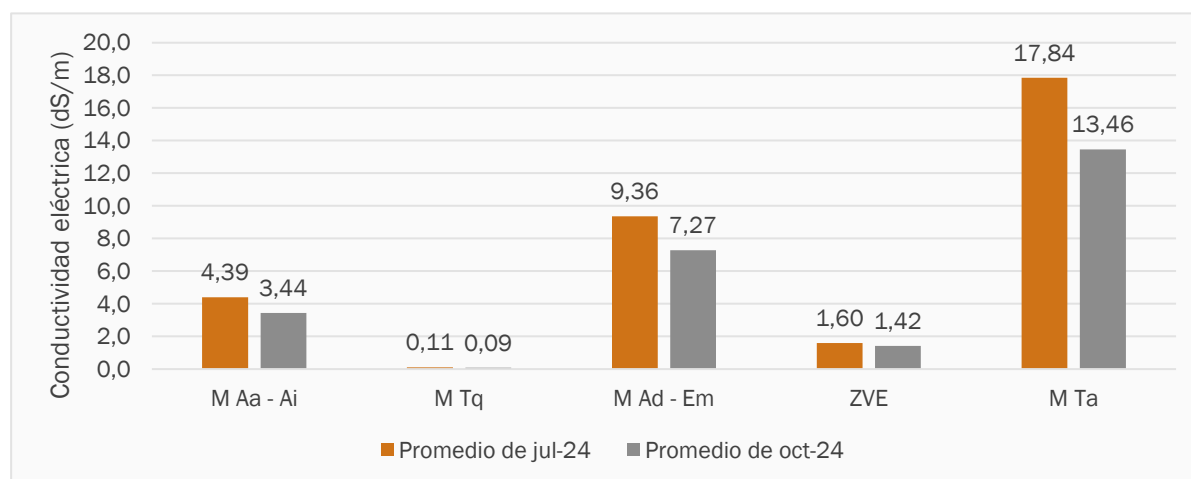
Tabla 5-16. Resultados de conductividad eléctrica del suelo

Categorías de salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	% julio 2024	% octubre 2024
No salino	0 – 0,98	55,81%	55,81%
Muy ligeramente salino	0,98 – 1,71	4,65%	2,33%
Ligeramente salino	1,71 – 3,16	0,00%	2,33%
Moderadamente salino	3,16 – 6,07	2,33%	4,65%
Fuertemente salino	> 6,07	37,21%	34,88%
Total		100,00	100,00

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

Fuente: Elaboración propia, a partir de 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 diciembre 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 2023²⁵. Estos eventos causaron la desaparición de al menos 13 individuos en abril 2023²⁶. 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 (diciembre de 2024), se han identificado 16 individuos correspondientes a regeneración de *Strombocarpa tamarugo*. Esta especie no se ha encontrado en su etapa adulta dentro de la quebrada, por lo que, según conversaciones con comuneros de Camar, es posible que estos individuos se hayan establecido en la zona a través de semillas provenientes del sector de Tambillo, debido a que la comunidad ha utilizado pasto para forraje proveniente de esa zona.

En vista de que se ha producido una variación en el universo de individuos, generando imprecisiones en la evaluación temporal y distorsión en la comparación histórica, es que los ejemplares desaparecidos, trasladados, e individuos de *S. tamarugo* son excluidos de los análisis. De esta forma, se analizan los resultados de los 348 ejemplares que se encuentran en pie hasta la fecha (diciembre 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 marzo de 2024 con un 53,33%. Este comportamiento refleja una mejora general en la vitalidad de los árboles, particularmente durante las estaciones más cálidas y húmedas, como primavera y verano, que es cuando las condiciones son óptimas para su desarrollo. Mismo comportamiento se aprecia en la primavera de 2024, donde tras haberse presentado un aumento en la categoría Muy débil, se ha comenzado a generar una mejoría en el estado vital de los individuos.

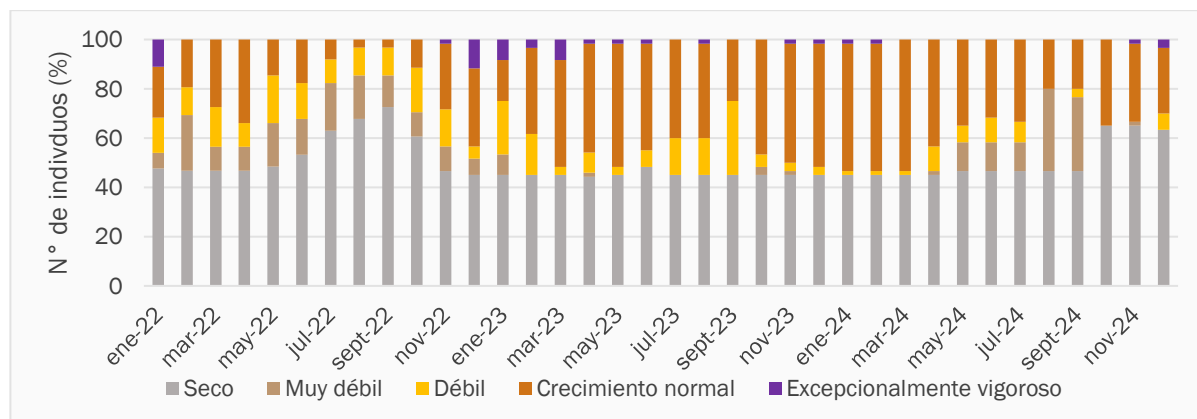
Respecto a los individuos Ex. vigorosos, esta categoría es minoritaria durante casi todo el período, mostrando valores bajos (<2%) en la mayoría de los meses. Se observan también, fluctuaciones en las categorías Muy

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

²⁶ 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.

débil y Débil, las que responden a cambios ambientales estacionarios, sin embargo, su tendencia general es a disminuir en el tiempo. Por su parte, los individuos secos presentan variaciones estacionarias durante el periodo, mostrando un alza en el último semestre, y presentando un promedio histórico de 49,84%, registrando en el último monitoreo un total 38 individuos correspondiente al 63,33%.

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

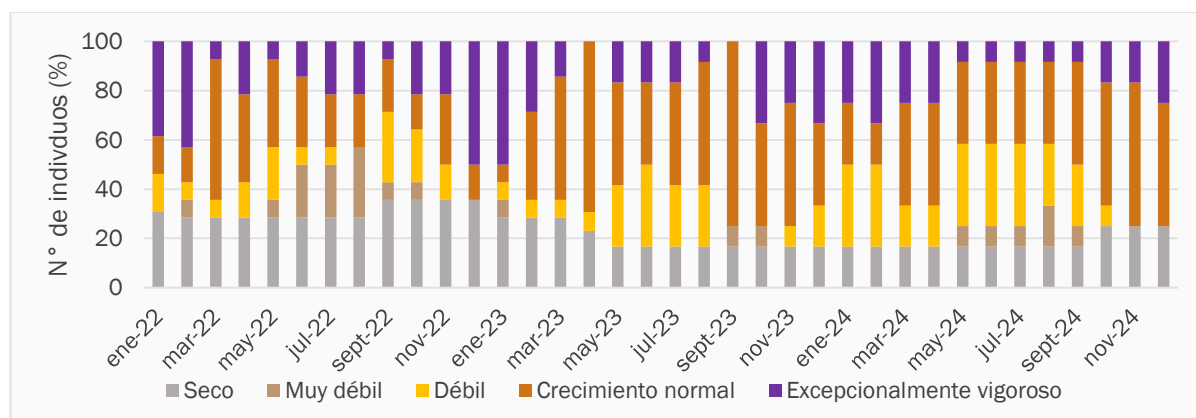


Fuente: Elaboración propia

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 Ex. vigoroso destacó a principios de 2022, alcanzando un 42,86%, seguido de un descenso progresivo. En general, el comportamiento de esta categoría, al igual que Crecimiento vegetativo, es acorde a lo esperado según la estación del año en que se encuentra, ya que presenta una tendencia creciente en primavera y verano, tanto en 2023 como 2024. Alcanzando su punto máximo en diciembre de 2022 y enero de 2023, con un 50% de los individuos. La categoría Muy débil tuvo máximos durante invierno del 2022, alcanzando un 28,57%, presentándose de manera muy escasa en los años posteriores. En cuanto a la categoría Débil, se registraron aumentos significativos durante otoño-invierno de 2023 y 2024, con valores máximos de 33,33% en dichos periodos para ambos años.

Las tendencias anteriormente mencionadas reflejan un efecto estacional, donde las condiciones climáticas de primavera y verano favorecen la vitalidad de los individuos monitoreados, mientras que en otoño e invierno se observan incrementos en las categorías de menor vigor. Por su parte, la categoría Seco presentó variaciones en 2022 y comienzos de 2023, sin embargo, posteriormente se mantuvo estable en 16,67%, tras lo cual ha aumentado, manteniéndose con 25% en los últimos 3 monitoreos.

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

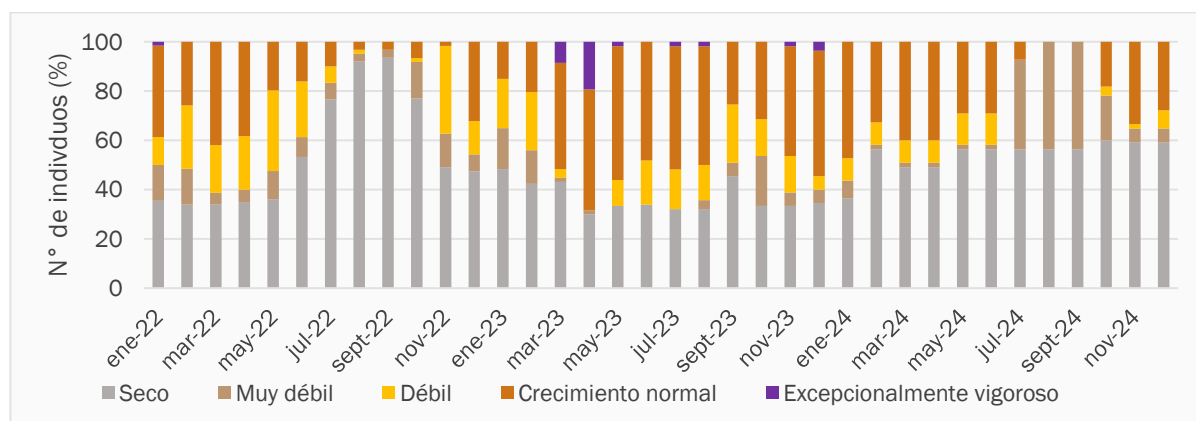


Fuente: Elaboración propia

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 abril y mayo de 2023, donde llegó a alcanzar un máximo de 54,39%. Posteriormente 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 Ex. 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 noviembre y mayo 2022, con un 35,59% y 32,79% respectivamente; mientras que la categoría Muy débil se mantuvo con un promedio de 9,72%, aunque con aumentos considerables en el periodo invernal del 2024, donde registró un 43,64% en agosto y septiembre. 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.

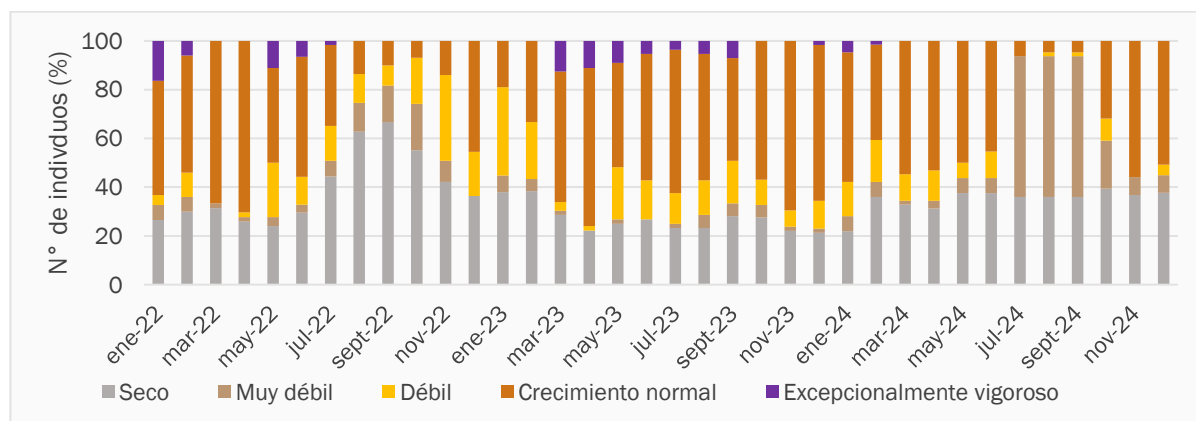
Figura 6-3. Variación histórica de la vitalidad en los individuos de algarrobo de la serie C



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, alcanzando su máximo en abril de 2022 con un 70,37%, y mostrando consistencia al mantenerse en niveles superiores al 50% durante gran parte de 2023 y 2024, a excepción del periodo invernal de 2024 donde se vio considerablemente disminuida debido a aumentos en la categoría Muy débil. Por otro lado, la categoría Ex. vigoroso mostró valores bajos y dispersos, con algunos máximos como en enero de 2022 (16,33%) y marzo de 2023 (12,50%), pero con un promedio histórico de 2,87%. En cuanto a las categorías de menor vitalidad (Muy débil y Débil), presentaron grandes variaciones en el periodo estudiado. La categoría Muy débil presentó un promedio de 11,67%, con algunos valores destacablemente altos en julio, agosto y septiembre del 2024. Mientras que la categoría Débil promedió un 9,94%, con algunos máximos aislados, como en enero de 2023 (36,21) y noviembre de 2022 (35,09%). 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 agosto y septiembre de 2022, con 62,71% y 66,67%.

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

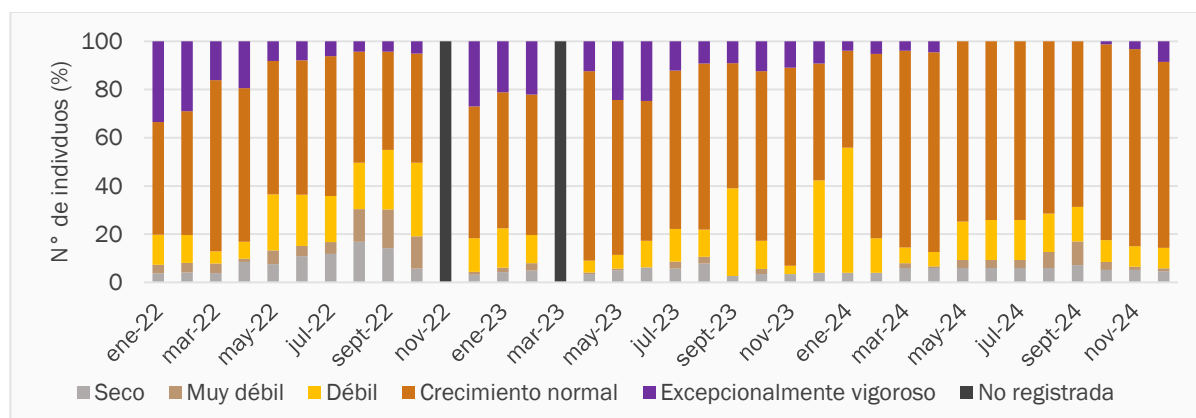


Fuente: Elaboración propia

Respecto a la variación histórica en la vitalidad de la serie E (Figura 6-5), la categoría de Crecimiento normal predomina como el estado de vitalidad con mayor número de individuos. Esta categoría alcanzó un máximo en abril de 2024 con un 82,78%, y con valores altos registrados consistentemente en varios momentos del periodo analizado, principalmente en los meses en que las condiciones ambientales son favorables, identificando una mejora en el estado vital de los individuos en primavera y verano. Por otro lado, la categoría Ex. vigoroso, presentó variaciones moderadas, con algunos máximos relevantes en meses como en enero y febrero de 2022 (33,58% y 29,05%). Para esta categoría, es posible identificar una tendencia de disminución en el tiempo, destacando que en 2024 promedia un 2,56%, a diferencia del 13,98% promediado el año anterior.

En cuanto a las categorías de menor vitalidad, la categoría Débil mostró incrementos destacados en ciertos periodos, como diciembre de 2023 (38,41%) 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. Finalmente, respecto a los individuos secos, estos se han mantenido constantes y bajos durante todo el periodo analizado.

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 debido al robo de pertenencias al equipo de terreno. En marzo de 2023, se suspendió la campaña debido a eventos de precipitaciones. En junio de 2023 se registraron datos, pero se suspendió la campaña por motivos de seguridad. En septiembre de 2023 se registraron datos, pero la campaña fue suspendida debido a problemas de salud de los profesionales, y no fue posible reprogramar el monitoreo debido a la falta de autorización por parte de la comunidad. En la gráfica y el análisis, los meses en que si se registraron datos (junio y septiembre de 2023), se consideran solamente los individuos medidos.

Fuente: Elaboración propia

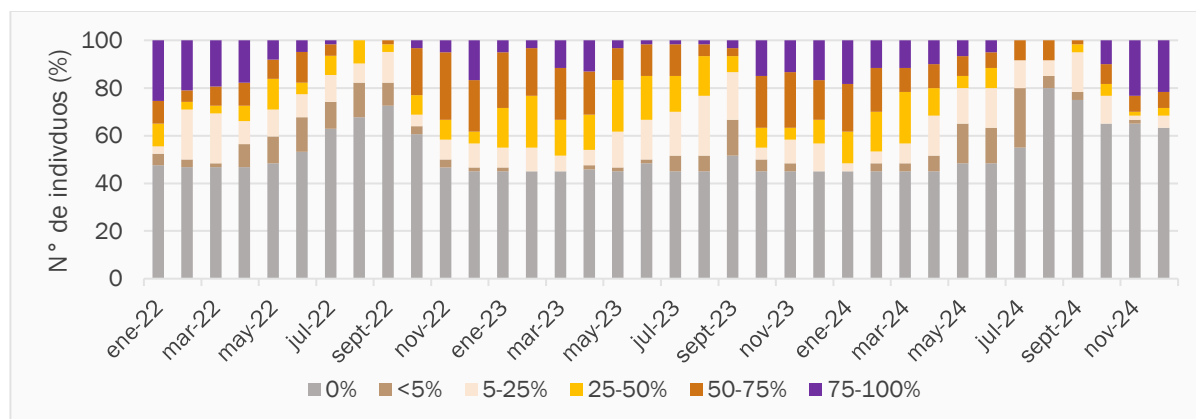
6.1.2 Copa viva

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 entre agosto y septiembre de cada año (septiembre de 2022; 72,58%, septiembre 2023; 51,67% y agosto de 2024; 80%), mostrando una tendencia a disminuir cuando las condiciones ambientales son más favorables, pero manteniéndose con valores superiores al 40% en el periodo analizado.

Por otro lado, las categorías con mayor porcentaje de copa viva, como 50-75% y 75-100%, reflejan variaciones estacionales marcadas en todo el periodo. La categoría 50-75% alcanzó valores destacados en noviembre de 2022 (28,33%) y enero de 2023 (23,33%), mientras que la categoría 75-100% mostró un máximo en enero de 2022 (25,40%) y noviembre de 2024 (23,33%), aunque con una clara disminución hacia los meses posteriores cuando se acerca la época de otoño e invierno de cada año. Estas observaciones podrían indicar que las condiciones favorables para un mayor porcentaje de copa viva se dan entre finales de primavera y comienzos del otoño.

Las categorías intermedias, como 5-25% y 25-50%, si bien experimentaron incrementos en algunos momentos del periodo analizado, no presentan grandes cambios puntuales, sino que más bien siguen la tendencia estacionaria. Por último, la categoría <5% muestra incrementos puntuales, como en septiembre de 2023 (15%) y julio de 2024 (25%).

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



Fuente: Elaboración propia

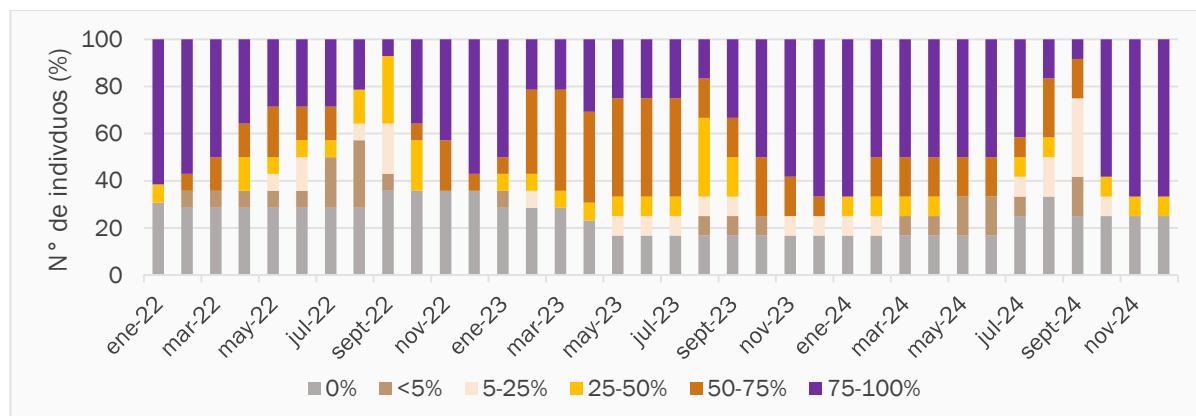
La variación histórica del porcentaje de copa viva de la serie B (Figura 6-7), muestra un comportamiento donde la categoría 75-100% predomina durante gran parte del periodo, aunque con variaciones. En enero de 2022, alcanza el 61,54%, pero decrece de manera notable hasta llegar a valores mínimos en septiembre de 2022 (7,14%). Luego muestra una recuperación hacia finales de 2023 y 2024, estabilizándose en 50% durante el primer semestre de 2024. Donde posteriormente varía hasta alcanzar un 66,67% en el monitoreo de diciembre de 2024.

La categoría 50-75% experimenta un comportamiento oscilante. Inicia en niveles bajos (0% en enero de 2022), pero presenta incrementos sostenidos a partir de febrero de 2022, con valores máximos alcanzados en marzo de 2023 (42,86%). Posteriormente, se estabiliza alrededor del 16,67% durante la primera mitad de 2024. Y finaliza sin individuos identificados en esta categoría durante los últimos 3 censos realizados.

La categoría 25-50% mantiene una participación moderada, alcanzando un máximo de 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 (agosto de 2022 para <5%, con 28,57%; y septiembre de 2024 para 5-25%, con un 33,33%).

La categoría 0% si bien comienza con valores relativamente altos en enero de 2022 (30,77%), muestra una tendencia a disminuir en el tiempo, descendiendo de manera consistente hasta estabilizarse durante el primer semestre del 2024 en 16,67%, y finalizar en 25% durante el segundo semestre de 2024, reflejando una leve mejora en el porcentaje de copa viva en esta serie.

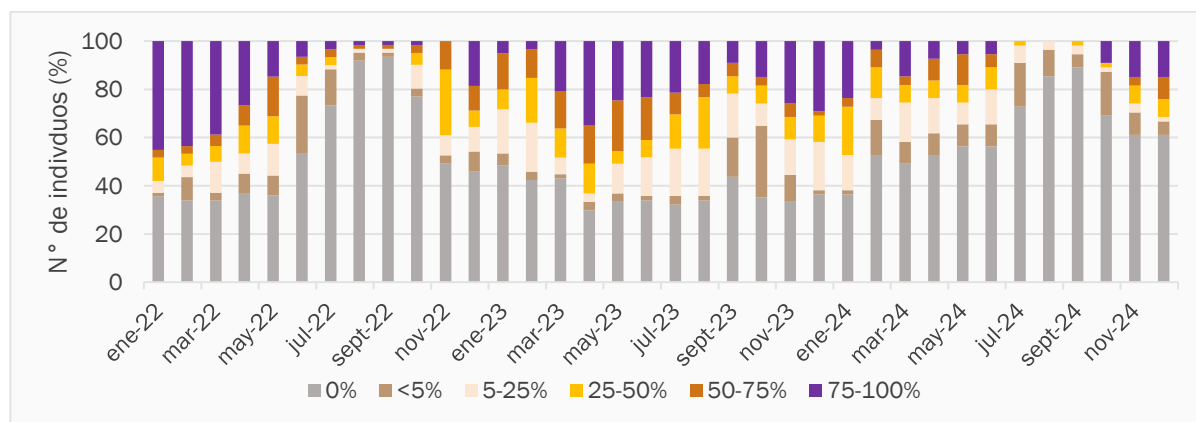
Figura 6-7. Variación histórica del porcentaje de copa viva en los individuos de algarrobo de la serie B



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 junio 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 2022, y durante casi todo el 2023. Hacia el 20254 muestra una tendencia alcista a partir de febrero y culminando en septiembre, para luego decrecer progresivamente a valores cercanos al 61% en diciembre de 2024. 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 de cada año, así como también en el periodo invernal de 2023. Así mismo, las categorías intermedias (<5%, 5-25% y 25-50%) presentan fluctuaciones estacionales, destacándose incrementos puntuales en primavera y otoño, posiblemente debido a las condiciones desfavorables de esta época para el crecimiento vegetal.

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

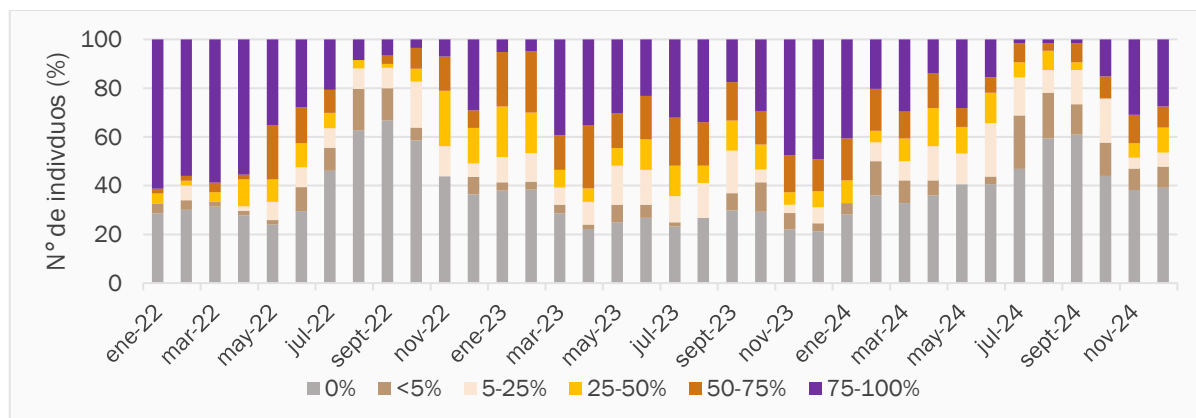


Fuente: Elaboración propia

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 paulatinamente a medida que se acerca el periodo invernal, este fenómeno es observable en los tres años que lleva el monitoreo, evidenciando una marcada influencia estacional, con valores más bajos durante el invierno y otoño, e incrementos en primavera y verano,

como el 49,18% en diciembre de 2023, o 30,88% en noviembre de 2024. La categoría 50-75% mantiene un comportamiento variable con máximos moderados en primavera y verano, alcanzando un máximo de 25,93% en abril de 2023, y presentando reducciones en invierno. Las categorías intermedias (5-25% y 25-50%) experimentan fluctuaciones, con valores más altos en otoño y primavera, mientras que la categoría <5% oscila entre 0% y 21,88%, con máximos en invierno y primavera. Finalmente, la categoría 0% ha presentado un incremento oscilante desde un 28,57% en enero de 2022, hasta cerca del 40% en los últimos monitoreos. Mostrando sus principales aumentos durante el periodo invernal de 2022 y 2024.

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

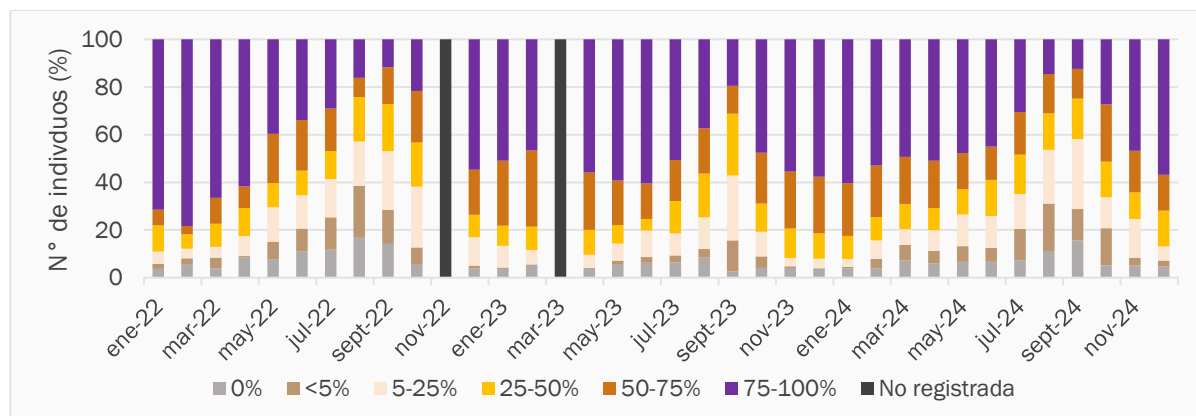


Fuente: Elaboración propia

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. Mientras que, se presentan disminuciones en otoño e invierno, alcanzando mínimos durante septiembre de 2022 y 2024 (11,73% y 12,42%, 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 29,41% en septiembre de 2024 para 5-25%, y el 25,97% en septiembre de 2023 para 25-50%. Estas categorías reflejan un incremento 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 16,77% para 0% en la misma fecha.

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



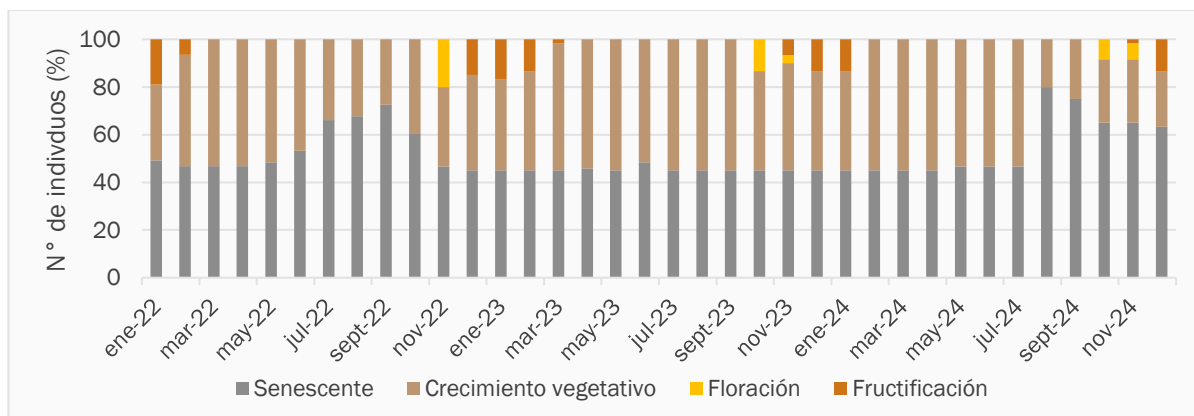
*Valores no registrados: en noviembre de 2022 se suspendió la campaña debido al robo de pertenencias al equipo de terreno. En marzo de 2023, se suspendió la campaña debido a eventos de precipitaciones. En junio de 2023 se registraron datos, pero se suspendió la campaña por motivos de seguridad. En septiembre de 2023 se registraron datos, pero la campaña fue suspendida debido a problemas de salud de los profesionales, y no fue posible reprogramar el monitoreo debido a la falta de autorización por parte de la comunidad. En la gráfica y el análisis, los meses en que si se registraron datos (junio y septiembre de 2023), no consideran el porcentaje de los individuos faltantes.

Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Fenología

La variación histórica del estado fenológico de la serie A se muestra en la Figura 6-11, donde es posible apreciar un leve predominio de la senescencia en invierno y Crecimiento vegetativo en primavera-verano, esta tendencia se aprecia principalmente durante 2022 y 2024, mientras que en el año 2023 se presentó una mayor estabilidad en ambas categorías, alcanzando el Crecimiento vegetativo valores máximos de 55% en julio, agosto y septiembre de 2023, así como en febrero, marzo y abril de 2024, indicando que corresponden a periodos de mayor actividad y desarrollo de los ejemplares. Por otra parte, es posible relacionar la estacionalidad a las fases de Floración y Fructificación, comenzando a aparecer la Floración en los meses iniciales de la primavera, que posteriormente dan paso a que aumenten los individuos en estado de Fructificación a finales de primavera e inicios del verano; esta situación se da en 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

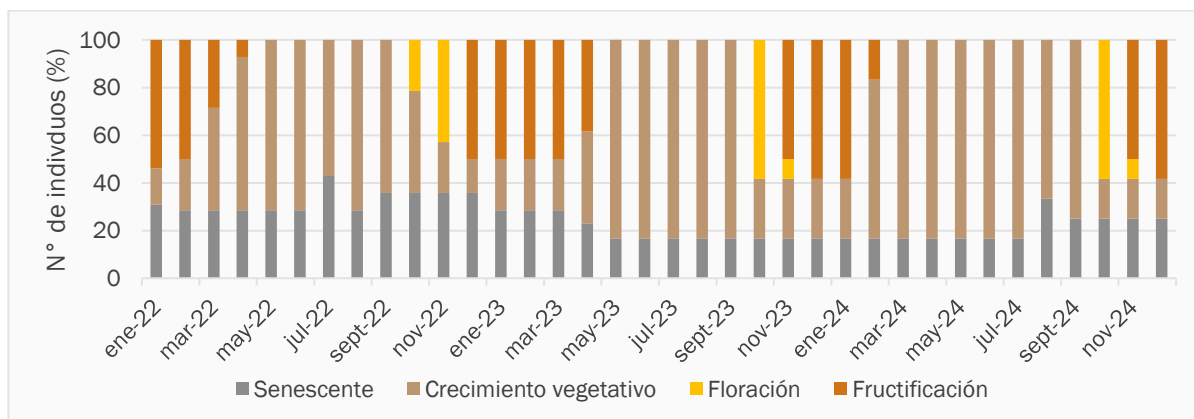


Fuente: Elaboración propia

La variación histórica en el estado fenológico 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. Reflejando una intensa actividad de brote y desarrollo durante las estaciones cálidas, mientras disminuye en los meses invernales. Por otra parte, la floración se concentra principalmente en la primavera, con máximos de 58,33%, registrados en octubre de 2023 y 2024, lo que es consistente con las condiciones favorables de la primavera. En contraste, la Fructificación está más presente en verano, con máximos en diciembre de 2023 y 2024, y enero de 2024. 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, con un comportamiento estable en la mayor parte del tiempo, alcanzando máximos en el invierno de 2022 (42,86% en julio) y disminuyendo 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

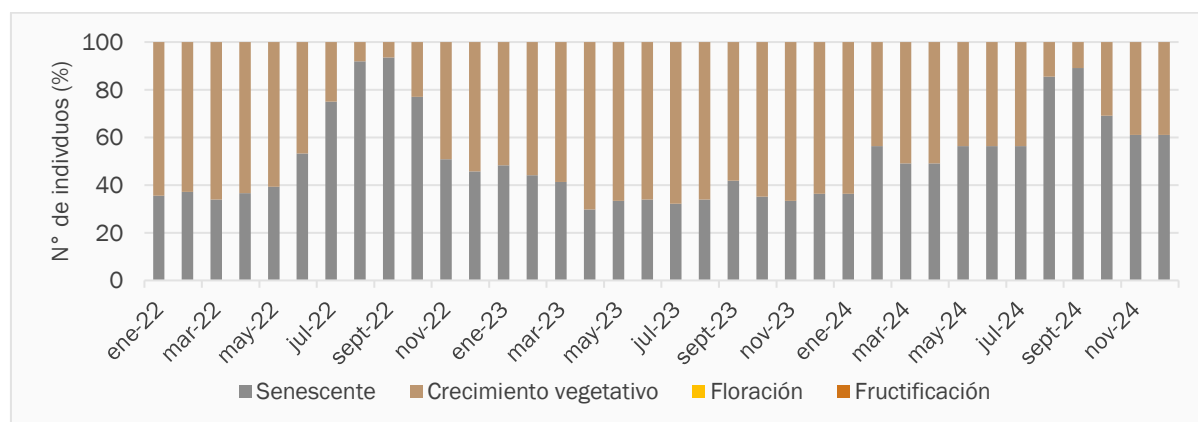
La variación histórica en el estado fenológico de la serie C se muestran en la Figura 6-13, donde se observa que la fase de Crecimiento vegetativo predomina en primavera y verano, reflejando la intensa actividad de desarrollo durante las estaciones cálidas. En agosto y septiembre de 2022, los valores 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, tanto para 2022 como para 2024, manteniendo valores elevados hasta septiembre. Posteriormente, disminuye en primavera y verano, con los valores más bajos observados en abril de 2023 (29,82%), posterior a los meses más cálidos. La ausencia de un patrón estacional marcado durante el invierno de 2023 podría estar relacionado con las precipitaciones registradas en febrero (28,80mm), marzo (22,60mm) y abril (1,90mm) de ese año (ver Figura 6-36). Dado que, debido a su magnitud, estas lluvias mantuvieron un alto contenido de humedad en el suelo durante los meses siguientes, lo que habría evitado que se presente un aumento de individuos senescentes durante el invierno.

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 cuales en su mayoría oscilan entre los 25 y 50 cm. Esto los hace susceptibles a ramoneo por parte de burros silvestres, lo que impide el desarrollo óptimo de la copa y, por consiguiente, la producción de estructuras reproductivas.

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



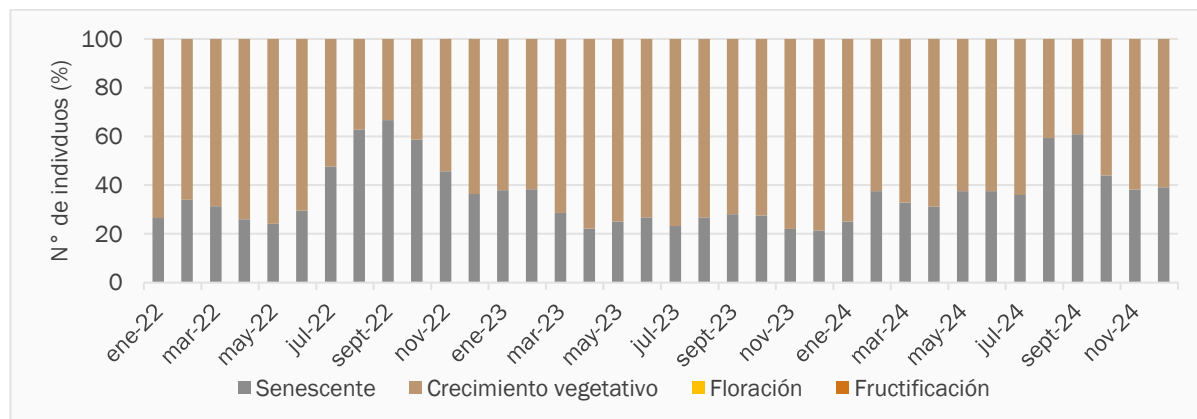
Fuente: Elaboración propia

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, presentando los máximos anuales en dichos periodos, reflejando la respuesta de los árboles a las condiciones climáticas favorables para su desarrollo y actividad vegetativa. Así mismo, la fase Senescente es predominante durante los meses fríos, particularmente en invierno de 2022 y 2024. Por ejemplo, en septiembre de 2022 (terminando la época invernal), se alcanza un valor máximo de 66,67%. A su vez en agosto y septiembre de 2024 se alcanzan valores de 59,38% y 60,94%. Esto coincide con el periodo de menor actividad de crecimiento en los árboles. En invierno de 2023, al igual que en la serie C, no se presentó un aumento de la senescencia, lo cual es atribuible a las precipitaciones que mantuvieron el suelo con un alto contenido de humedad en el periodo invernal.

Al igual que la serie C, los individuos de la serie D no han alcanzado la madurez reproductiva, ya que durante todo el periodo estudiado no se han observado las fases de Floración y Fructificación. Esta situación, se debe probablemente a la baja altura de los ejemplares. Esta situación los hace susceptibles a ramoneo por parte

de burros silvestres, lo que impide el desarrollo óptimo de la copa y, por consiguiente, la producción de estructuras reproductivas.

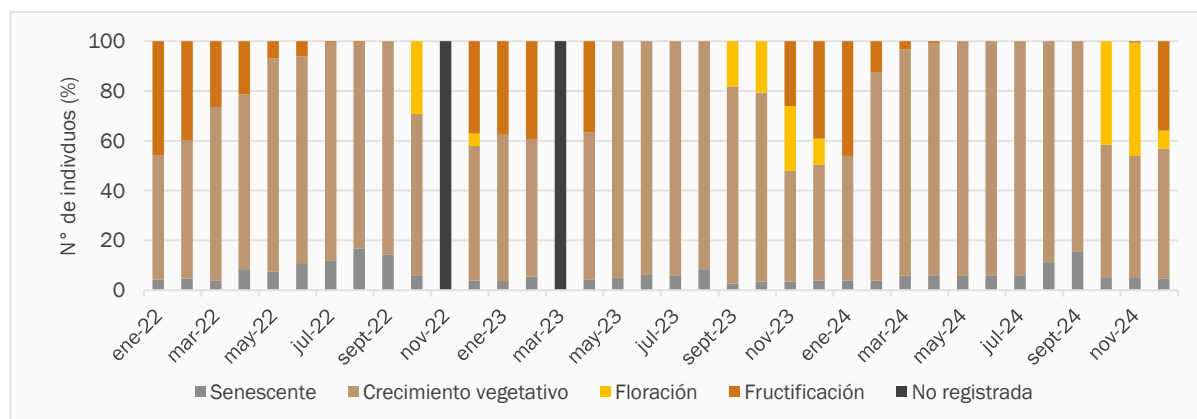
Figura 6-14. Variación histórica del estado fenológico en los individuos de algarrobo de la serie D



Fuente: Elaboración propia

En la serie E, el Crecimiento vegetativo es predominante en todo el periodo analizado (Figura 6-15), con un promedio de 69,34%, y un máximo de 95% registrado en mayo del 2023. En cuanto a la Floración y Fructificación, nuevamente es posible relacionarla directamente a la estacionalidad, comenzando a aparecer la Floración en los meses iniciales de la primavera, que posteriormente dan paso a que aumenten los individuos en estado de Fructificación a finales de primavera e inicios del verano. Durante el periodo favorable, aproximadamente el 40% de la población total de la serie presenta frutos. Además, dado que esta serie tiene la mayor cantidad de individuos, se espera que sea la que cuente con el mayor potencial de crecimiento futuro a través de regeneración natural. Finalmente, la senescencia aumenta en el invierno (especialmente en los meses de agosto y septiembre de 2022 con 16,77% y 14,20% y, agosto y septiembre de 2024 con un 11,26% y 15,69%), mientras que se ve disminuida en las demás estaciones.

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 debido al robo de pertenencias al equipo de terreno. En marzo de 2023, se suspendió la campaña debido a eventos de precipitaciones. En junio de 2023 se registraron datos, pero se suspendió la campaña por motivos de seguridad. En septiembre de 2023 se registraron datos, pero la campaña fue suspendida debido a problemas de salud de los profesionales, y no fue posible reprogramar el monitoreo debido a la falta de autorización por parte de la comunidad. En

la gráfica y el análisis, los meses en que si se registraron datos (junio y septiembre de 2023), no consideran el porcentaje de los individuos faltantes.

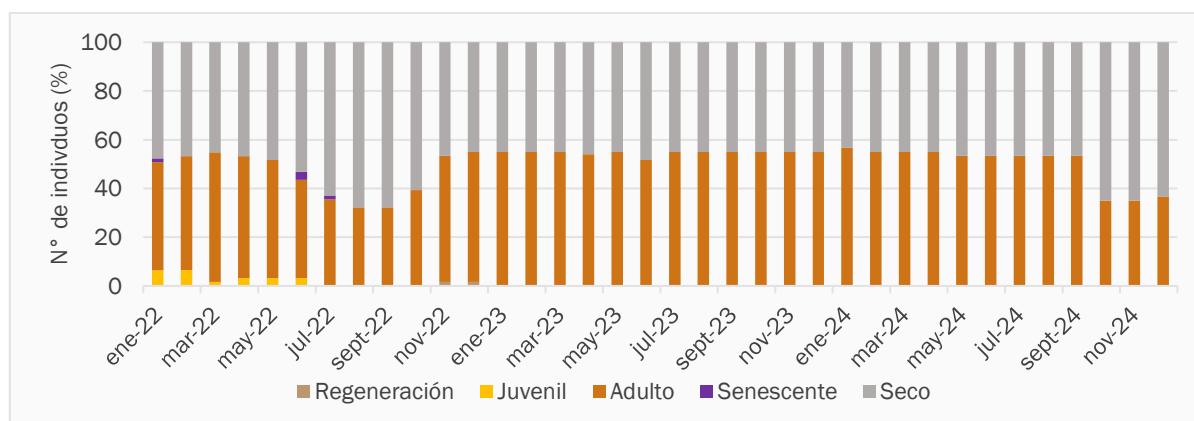
Fuente: Elaboración propia

6.1.4 Etapa de crecimiento

La etapa de crecimiento de los individuos pertenecientes a las distintas series evaluadas se ajustó 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 de 49,40% (equivalente a cerca de 30 individuos), y una variación del 7,88%. Hasta junio de 2022 se observan algunos pocos ejemplares juveniles, los que, a partir de julio de ese mismo año, se comienzan a catalogar como adultos. Posterior a esto, los individuos adultos se mantienen relativamente constantes en torno al 55% hasta septiembre de 2024, donde disminuyen a cerca de un 35% en los meses siguientes, debido al cambio de categorización a Secos. En cuanto a la Regeneración, solo se registró un individuo en noviembre y diciembre de 2022. Por otra parte, un porcentaje importante de individuos se catalogan como secos (promedio 49,66%).

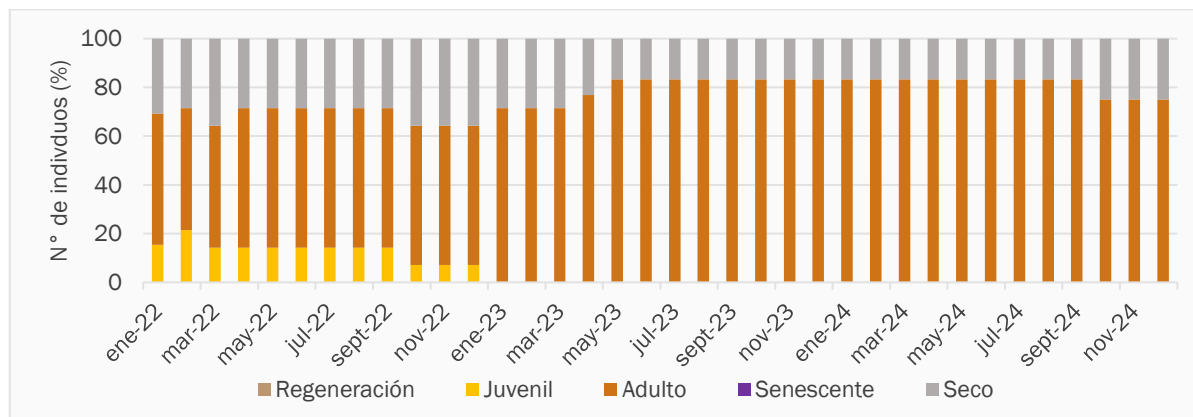
Figura 6-16. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie A



Fuente: Elaboración propia

Al igual que la serie A, la serie B se compone principalmente de individuos adultos, donde en promedio el 72,25% presentan esta etapa de crecimiento. La segunda mayor proporción corresponde a ejemplares secos, los que en promedio ocupan el 23,35% 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

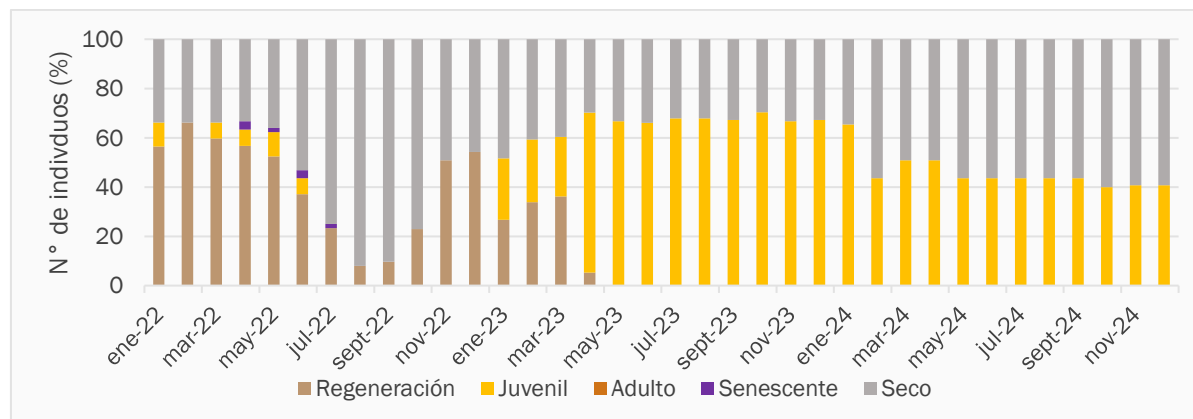


Fuente: Elaboración propia

La serie C se caracteriza por ser una población de individuos juveniles. Durante 2022 y comienzos de 2023, prácticamente la totalidad de los individuos corresponden a Regeneración. Posteriormente, comienzan a predominar los individuos juveniles a partir de abril de 2023, llegando a ser cerca del 60% hasta la fecha. Los ejemplares secos presentan un promedio de 47,82%, y es posible identificar una tendencia a aumentar durante el invierno de 2022, y levemente durante el 2024.

Cabe destacar que el estado Regeneración y Juvenil de muchos de estos individuos se ha mantenido así por años. Lo anterior se debe directamente al ramoneo, ya que este ha generado la pérdida de la dominancia apical y la emisión de varios rebrotes en un mismo individuo. El ramoneo en estos individuos es tan frecuente que ha impedido que estos alcancen a desarrollar estructuras reproductivas y, por ende, alcancen la etapa Adulta.

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

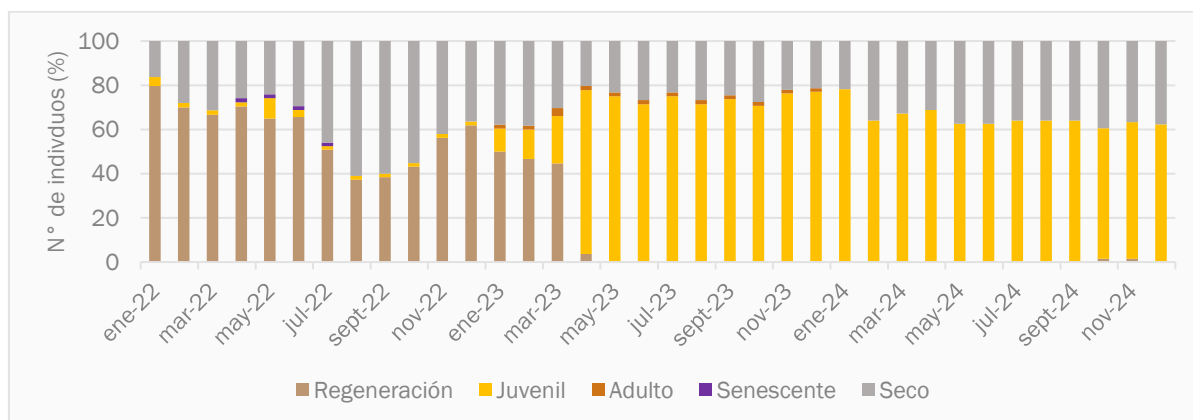


Fuente: Elaboración propia

Al igual que la serie C, la serie D se caracteriza por ser una población de individuos juveniles, los que hasta abril de 2023 correspondían a ejemplares provenientes de Regeneración, pero posteriormente pasaron a identificarse como individuos juveniles, llegando a ser el 62,32% 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. Cabe destacar que, al igual que en la serie C, el estado Regeneración y Juvenil de muchos de estos individuos se ha mantenido así por un largo período. Lo anterior se debe directamente al ramoneo, que ha generado la pérdida de la dominancia apical y la emisión de varios rebrotes en un mismo individuo. El ramoneo en estos individuos es tan frecuente que ha impedido que estos alcancen a desarrollar estructuras reproductivas y, por ende, alcancen la etapa Adulto. En cuanto a los individuos en estado Seco, estos representan en promedio un 33,25% de los ejemplares de la serie a nivel histórico, y durante 2024 hasta la fecha, se han mantenido relativamente estables.

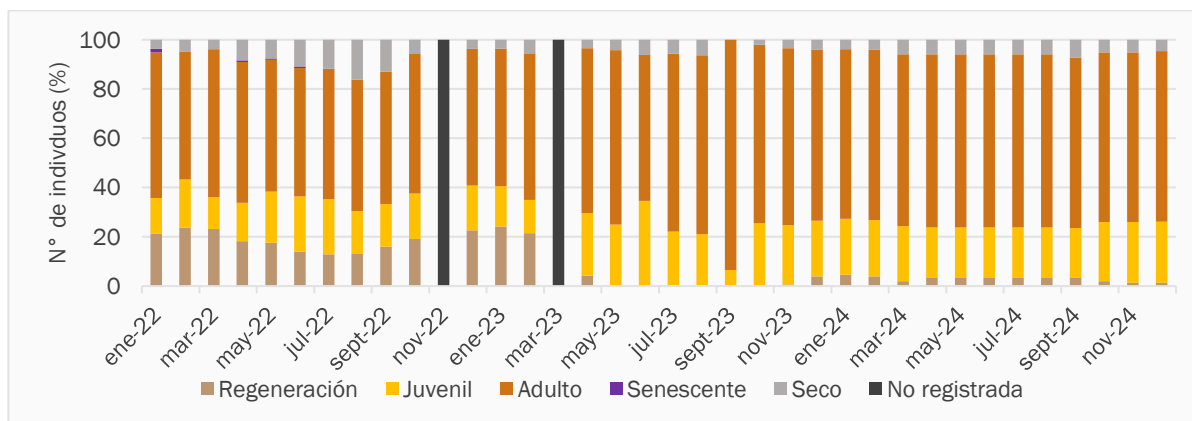
Figura 6-19. Variación histórica de la etapa de crecimiento en los individuos de algarrobo de la serie D



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 64,86% de los ejemplares. Le sigue la categoría Juvenil con un promedio del 20,61%. En menor medida, hay ejemplares de Regeneración y secos, los que llegan al 8,56% y 5,88% respectivamente. Los individuos senescentes registran un pequeño porcentaje de árboles, llegando a un promedio de 0,10%.

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 debido al robo de pertenencias al equipo de terreno. En marzo de 2023, se suspendió la campaña debido a eventos de precipitaciones. En junio de 2023 se registraron datos, pero se suspendió la campaña por motivos de seguridad. En septiembre de 2023 se registraron datos, pero la campaña fue suspendida debido a problemas de salud de los profesionales, y no fue posible reprogramar el monitoreo debido a la falta de autorización por parte de la comunidad. En

la gráfica y el análisis, los meses en que si se registraron datos (junio y septiembre de 2023), no consideran el porcentaje de los individuos faltantes.

Fuente: Elaboración propia

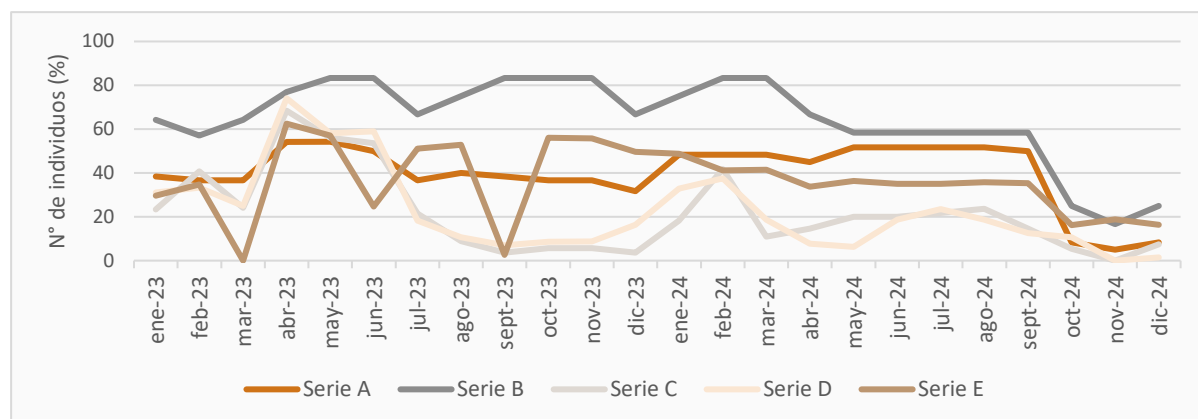
6.1.5 Afectación antrópica y/o natural

Desde el comienzo de los reportes mensuales del Programa 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 desgarró 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.

En la Figura 6-21 se muestra la afectación animal desde enero de 2023 hasta diciembre de 2024. Se observa que la serie B presenta un mayor nivel de afectación, seguido por las series A y E. En contraste, las series C y D presentan una menor proporción de individuos afectados y muestran una relación más estrecha entre si a lo largo de los meses. En particular, en la serie A se observa que el promedio histórico de afectación animal alcanza un valor de 39,93% + 14,36%, mientras que el valor máximo de afectación fue reportado en el mes de mayo de 2023 con un 54,24% (32 individuos). Respecto a la serie B, el promedio de afectación fue de 64,76% + 19,25%, y 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 21,40% + 18,25% con un valor máximo alcanzado de 68,42% (39 individuos) en abril de 2023. Respecto a la serie D, se reporta un promedio de afectación de 22,45% + 19,02%, mientras que, el valor máximo reportado fue de 74,07% (40 individuos) en abril de 2023. Finalmente, en la serie E, el promedio anual registrado alcanza un valor de 37,87% + 15,29%, con un valor máximo de afectación de 62,50% (90 individuos) que también se reportó en abril de 2023.

Figura 6-21. Variación histórica del ramoneo por serie



Fuente: Elaboración propia

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 – Segundo semestre 2024

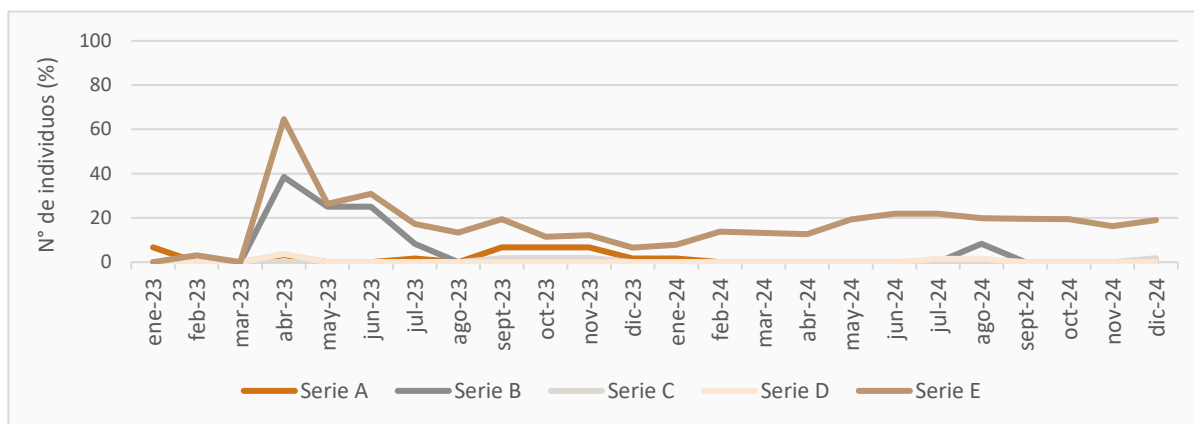


Fuente: Registro fotográfico terreno, 2024

En la Figura 6-22 se muestra el porcentaje de individuos afectados por intervención antrópica. Las series A, B, C y D, prácticamente no presentan afectación, salvo por pequeñas perturbaciones ocasionales, como la registrada en la serie B entre abril y junio de 2023, o en la serie A entre septiembre y noviembre del mismo año. En particular, la serie A, se registra un promedio anual de 1,46% + 2,52%, registrándose un valor máximo de afectación de 6,67% (4 individuos) en enero, septiembre, octubre y noviembre de 2023. La serie B registra un promedio acumulado de 4,38% + 10,23% con un valor máximo de 38,46% (5 individuos) en abril de 2023. La serie C registra un promedio de 0,31% + 0,71% y el valor máximo se registró en octubre de 2023 con un 1,92% (1 individuo). La serie D registra un promedio acumulado de 0,28% + 0,85%, con un valor máximo de 3,70% (2 individuos) registrado en abril de 2023. Por último, la serie E es la que registra el mayor valor

promedio con un valor de $17,81\% + 12,43\%$, con un valor máximo de $64,58\%$ (93 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).

Figura 6-22. Variación histórica de la intervención antrópica por serie



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 6-2. Afectación antrópica – Segundo semestre 2024



E-146 (Coordenadas UTM 606.046 E – 7.410.927 N)

Agosto, 2024



E-021 (Coordenadas UTM 601.604 E – 7.410.553 N)

Diciembre, 2024

Fuente: Registro fotográfico terreno, 2024. Elaboración propia

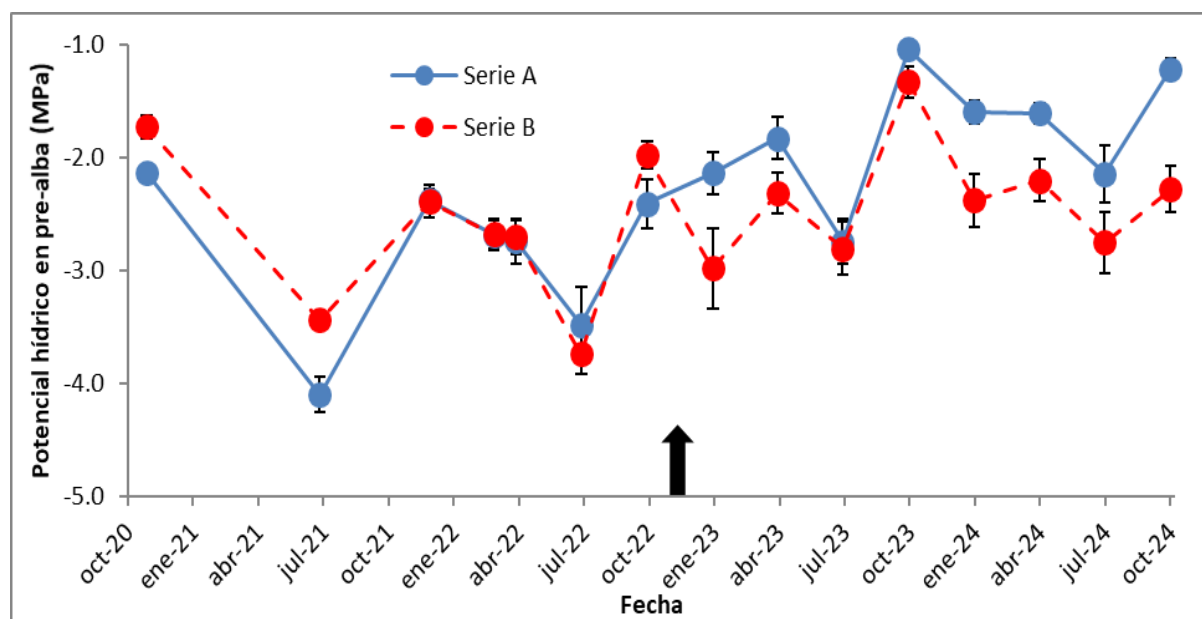
6.1.6 Fisiología de algarrobos

En la Figura 6-23 se observa la evolución en el tiempo (desde octubre de 2020 a octubre 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 otra parte, 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 todas las mediciones posteriores, hasta la fecha actual. 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 julio de 2024, no se observan diferencias estadísticamente significativas al comparar el potencial hídrico en pre-alba, entre las series A y B-C, observándose el valor más negativo en las series B-C (-2,75 MPa). En octubre de 2024, se encontraron diferencias significativas al comparar el potencial hídrico en pre-alba, con los valores más negativos en los árboles de las series B-C (-2,28 MPa).

Figura 6-23 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.

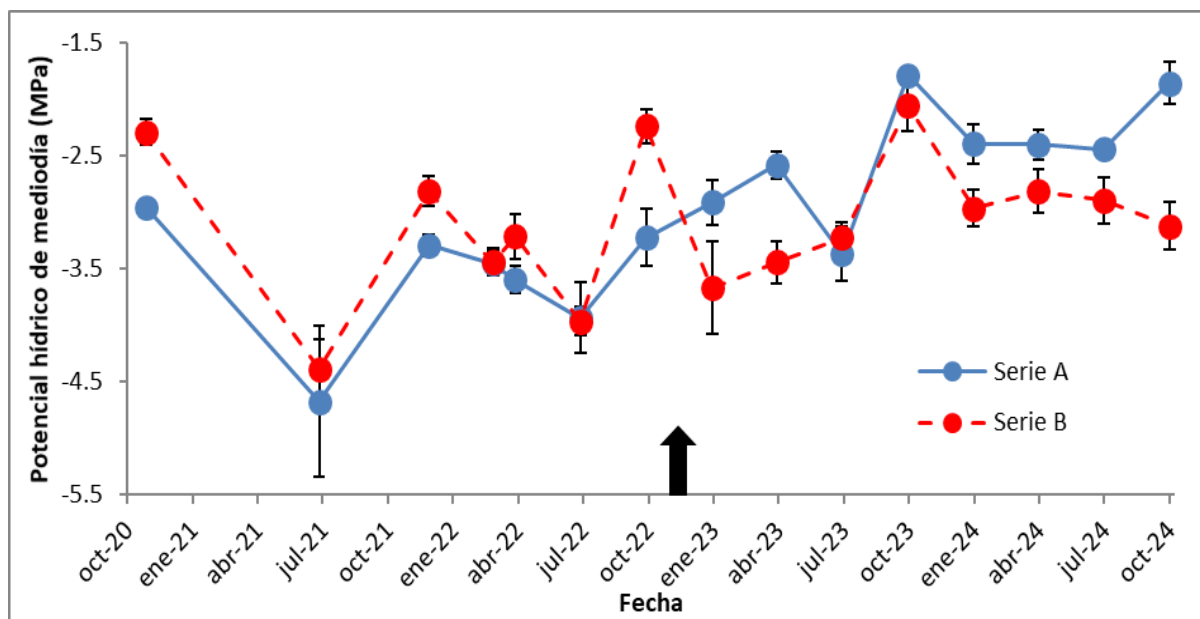
Fuente: Informe de estado hídrico en algarrobo de la Quebrada de Camar, Anexo 09.

La Figura 6-24 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, julio 2024)²⁷. Antes de la aplicación del riego, la serie B alcanzó una media superior a la de la serie A, mientras que, tras la aplicación del riego en la serie A, en todas las campañas siguientes, a excepción de

²⁷ 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, julio de 2024.

julio de 2023, 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 julio de 2024, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las series, a diferencia de la campaña de octubre de 2024, donde el potencial hídrico de mediodía si registró diferencias estadísticamente significativas, al comparar los valores de la serie A, con los valores más negativos en los árboles de las series B-C.

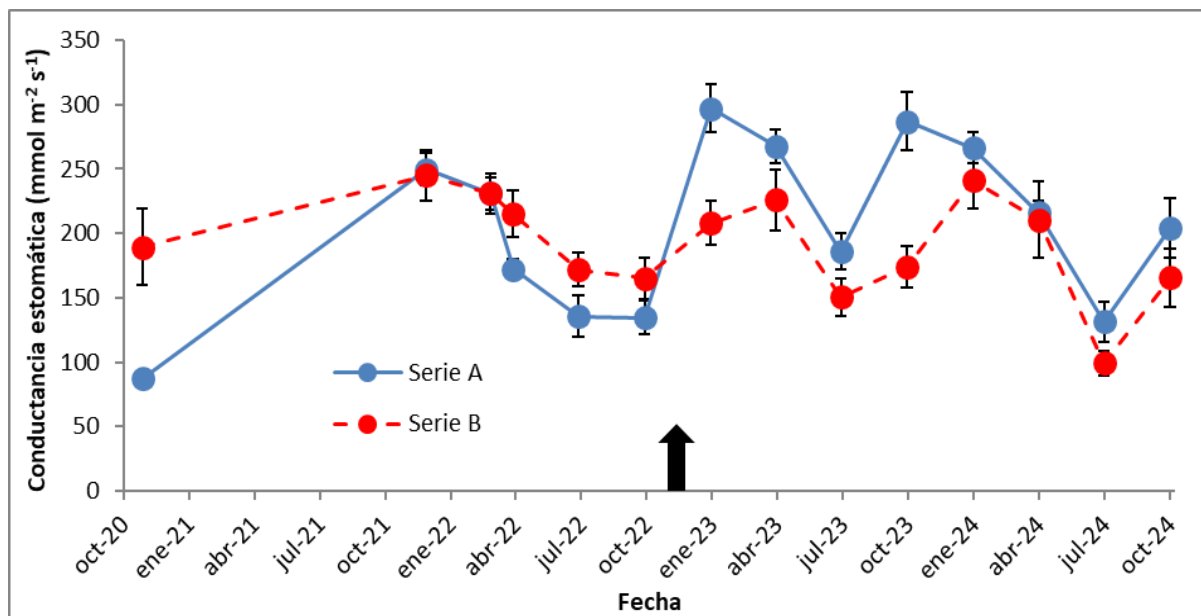
Figura 6-24. Variación histórica del potencial hídrico de mediodía para árboles de las series A y B



Fuente: Informe de estado hídrico en algarrobo de la Quebrada de Camar, Anexo 09

Al analizar la variación histórica en la conductancia estomática en los árboles de la serie A y B (Figura 6-25), 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 enero de 2024, la conductancia estomática no se diferenció significativamente entre series, situación que se repite en las campañas de abril, julio y octubre de 2024.

Figura 6-25 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 09

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 generalmente los más bajos de cada año, tanto para la serie A como para la serie B. Por el contrario, para ambas series, los valores más altos son registrados en los meses de octubre. 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 aprecia un efecto de la aplicación del riego, ya que antes de esta intervención, los valores de potencial hídrico y conductancia estomática de la serie B eran superiores o similares a los de la serie A. Sin embargo, una vez iniciado el riego en los árboles de la serie A, estos valores superaron a los de serie B.

Con respecto a los algarrobos ubicados aguas arriba y aguas abajo de la tubería que atraviesa la quebrada. En octubre 2023, se observaron diferencias con los valores más bajos en los árboles ubicados aguas arriba, 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 (18%) no tienen sistema de riego. Por otra parte, en julio de 2024 no se observó diferencias significativas en el potencial hídrico en pre-alba, mediodía ni en la conductancia estomática. Esto, posiblemente debido al receso invernal de estos árboles (MMA, 2012a; MMA, 2012b), los cuales en esa época presentan una disminución de la cobertura, mayor senescencia de hojas y disminución de la producción de ramillas nuevas.

6.1.7 Biomasa de algarrobos

Respecto a la biomasa aérea, las mediciones dan cuenta que una gran proporción de los individuos censados (43,1%, 84 árboles) presenta algún nivel de vitalidad en sus fustes y un 56,9% de estos (111 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).

La estructura de la población se ha mantenido estable en los periodos de medición para el año 2024, en donde a la fecha los individuos de mayor tamaño (>20, cm de Dbe) representan el 6,7% de la población y pueden alcanzar hasta los 6,05 m de altura, concentrándose en los vástagos jóvenes y de menor desarrollo, formando individuos plurifustales, con alta capacidad de retoñación. Para el último periodo analizado (julio 2024 – octubre 2024), se registra una baja leve a moderada de los valores de las variables medidas, como el diámetro basal equivalente (2,29 cm, 33,8%), la altura (0,01 m 1,8%), el área basal acumulada (0,2213 m², 8,0%), la biomasa de Fustes (84,07 kg, 9,9%), Ramas (1.718,63 kg, 28,4%), Hojas (39,56 kg 19,88) y Total (1.402,08 kg, 16,6%), estas variaciones se encuentran dentro de lo observado en mediciones anteriores para la población.

Producto del programa de monitoreo trimestral llevado a cabo se observa que el agrupamiento de los datos estadísticos presenta ciertas tendencias. Las mediciones de abril, julio y octubre de 2023, no presentan diferencias estadísticamente significativas para la mayoría de las variables observadas, así como también para los meses de abril y julio de 2024, tendencia que se quiebra ligeramente en la última medición. Los cambios registrados para la última medición pueden estar influenciados por el alto número de árboles secos registrados. Esto reafirma la importancia de seguir monitoreando 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, sobre todo respecto a la dinámica de retoñación periódica de estos.

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

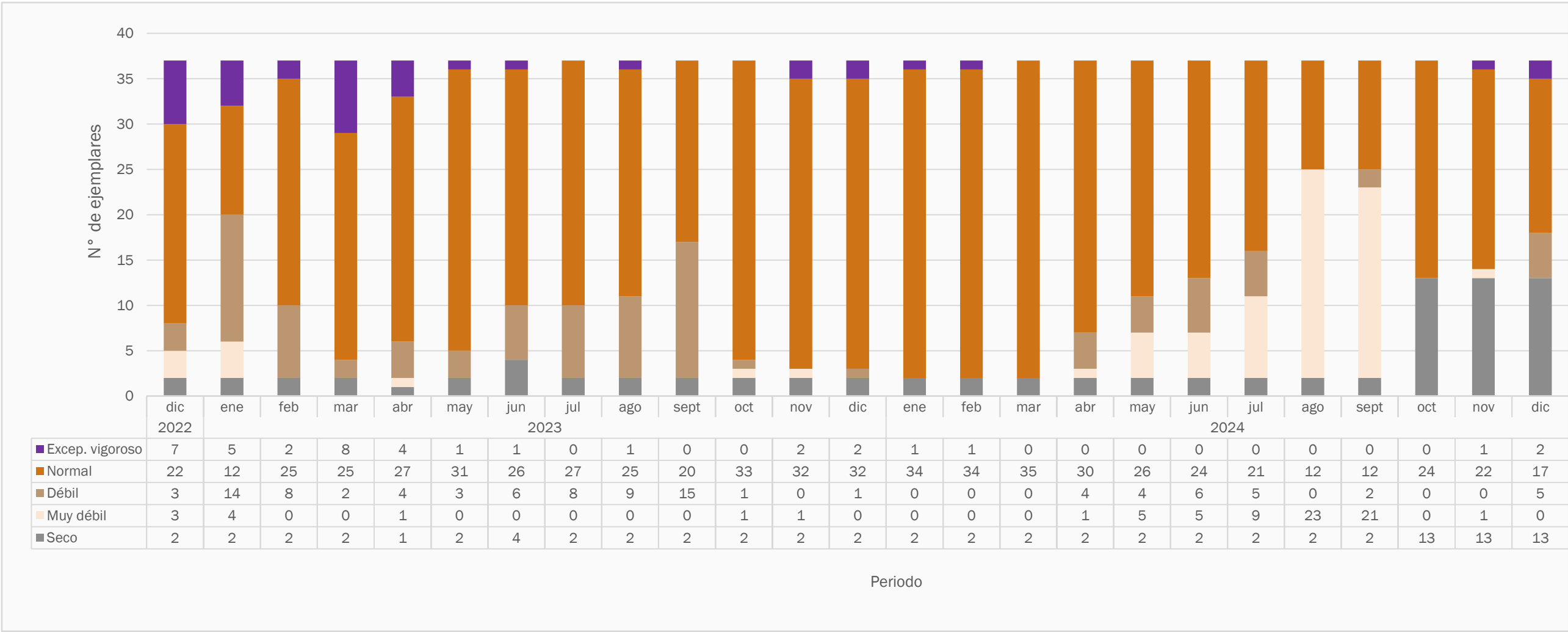
Se ha evaluado la vitalidad y porcentaje de copa viva de 37 ejemplares de algarrobos sometidos a riego, a partir de 25 mediciones mensuales realizadas entre diciembre de 2022 y diciembre de 2024. A continuación, se presenta la evolución temporal de estos parámetros para dicho periodo. Cada uno de los reportes del censo se exponen en el Anexo 1, y los reportes de riego en el Anexo 8.

6.2.1 Vitalidad

A nivel histórico, la categoría Crecimiento normal es la predominante en los individuos con riego, presentando fluctuaciones atribuibles a la estacional. En diciembre de 2024 se alcanzó el máximo de 35 individuos, mientras que en enero de 2023, agosto de 2024 y septiembre de 2024 se registraron los mínimos con 12 individuos. Por otra parte, las categorías Débil y Muy débil presentan una alta variabilidad en los monitoreos, con incrementos de la categoría Débil durante el invierno del 2023, y aumentos aún más marcados de la categoría Muy débil durante invierno del 2024. En cuanto a los individuos Ex. vigorosos, estos se observan principalmente entre los monitoreos de diciembre de 2022 y abril de 2023, mientras que posteriormente se registran de manera escasa e intermitente. Los ejemplares secos han mostrado una relativa estabilidad durante las prospecciones realizadas entre 2022 y 2024, con excepción de los tres últimos monitoreos, donde se registró un notable aumento pasando de 2 a 13 individuos en este estado

En el último semestre, la tendencia de los individuos vivos ha sido la esperada según la estacionalidad. Durante la primer parte del semestre, correspondiente a los meses de receso vegetativo (periodo invernal), se observó una disminución de los individuos en categoría Crecimiento normal, junto con un aumento de los individuos en estado Muy débil. En cambio, en primavera, correspondiente a la segunda mitad del semestre y al periodo más favorables para el Crecimiento vegetativo de esta especie, se presentan aumentos en la cantidad de individuos con Crecimiento normal y Ex. vigoroso.

Figura 6-26. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego



* Los números en la tabla corresponden a la cantidad de ejemplares por categoría de vigor. Fuente: GMA, 2022, - 2024.

Fuente: Elaboración propia

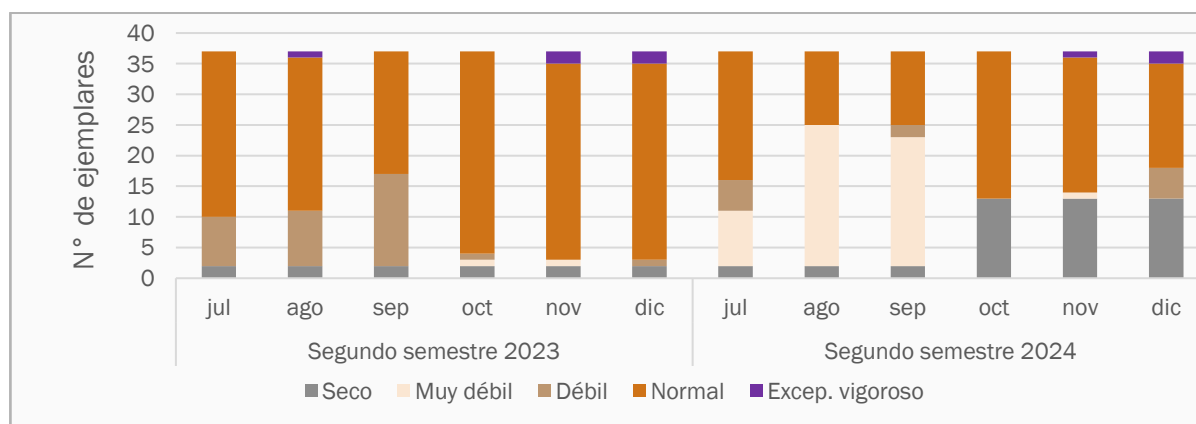
6.2.1.1 Evaluación de vitalidad de los árboles bajo sistema de riego respecto al segundo semestre del año 2023

Para evaluar la vitalidad de los ejemplares bajo sistema de riego en el segundo semestre de 2024, se ha comparado este parámetro con los datos colectados durante el segundo semestre de 2023 (Figura 6-27).

En general, se observa que los individuos en categoría Seco se han mantenido constantes con valores bajos durante ambos periodos, presentando un único aumento marcado en octubre de 2024 y manteniéndose en los meses posteriores. Por otra parte, los individuos en categoría Débil presentan una mayor proporción durante julio, agosto y septiembre de 2023, mientras que en 2024 se presentan de manera escasa e intermitente. Por el contrario, la categoría de vigor Muy débil se presenta de manera predominante en los primeros meses del periodo de 2024, mientras que, en el periodo de 2023, escasamente se identifica 1 individuo en octubre y noviembre. La alta presencia de individuos clasificados como Débiles o Muy Débiles durante el invierno (julio a septiembre) en ambos años es esperable, dado que las condiciones ambientales en esta estación resultan poco favorables para las plantas.

En la categoría de vigor Crecimiento normal se observa una disminución de individuos respecto al primer semestre de 2023 en todo el período (julio - diciembre). Al analizar la categoría Ex. vigoroso, se observa la misma tendencia en ambos semestres, donde estos individuos se presentan únicamente hacia el final del año, correspondiente al periodo favorable para el crecimiento de esta especie.

Figura 6-27. Evolución de la vitalidad de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego



Fuente: Elaboración propia

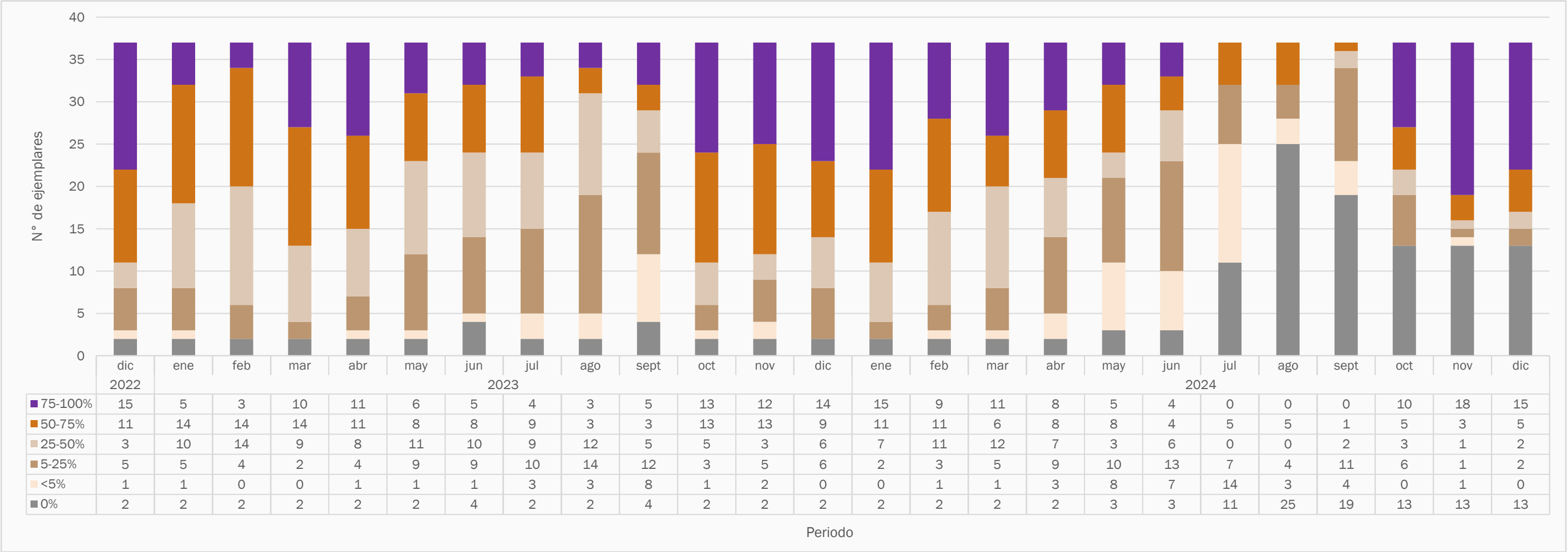
6.2.2 Porcentaje de copa viva

Tal como se mencionó en la sección anterior, los ejemplares sin copa viva al igual que los individuos en categoría de vigor Seco, se han mantenido relativamente constantes y bajos durante las prospecciones realizadas entre 2022 y la primera mitad de 2024. Sin embargo, hacia la segunda mitad de 2024, se observan aumentos en esta categoría, alcanzando un máximo de 25 individuos en agosto, para posteriormente descender a los 13 individuos registrados en los últimos tres monitoreos. Los ejemplares con copa viva <5% presentan un mínimo de 0 individuos, registrado en reiteradas ocasiones durante 2023 y 2024. Mientras

que el máximo alcanzó 14 individuos en la campaña de julio de 2024. Los resultados históricos hasta la fecha indican una tendencia al aumento de individuos en esta categoría durante 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 14 para cada categoría, registrados en agosto y febrero de 2023 respectivamente. La categoría de copa viva 50-75% muestra un valor máximo de 14 individuos observados en enero, febrero y marzo de 2023, y un mínimo de 1 individuo en septiembre de 2024. Esta categoría presenta una tendencia más marcada en el tiempo, con un aumento de individuos en las temporadas de primavera verano, y una disminución en la temporada invernal. Por último, la categoría 75-100% muestra una mayor variabilidad debido a la estacionalidad, alcanzando los puntos máximos en el verano de los tres años monitoreados, mientras que en el periodo invernal se presentan descensos, alcanzando los 0 individuos en 2023.

Figura 6-28. 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.

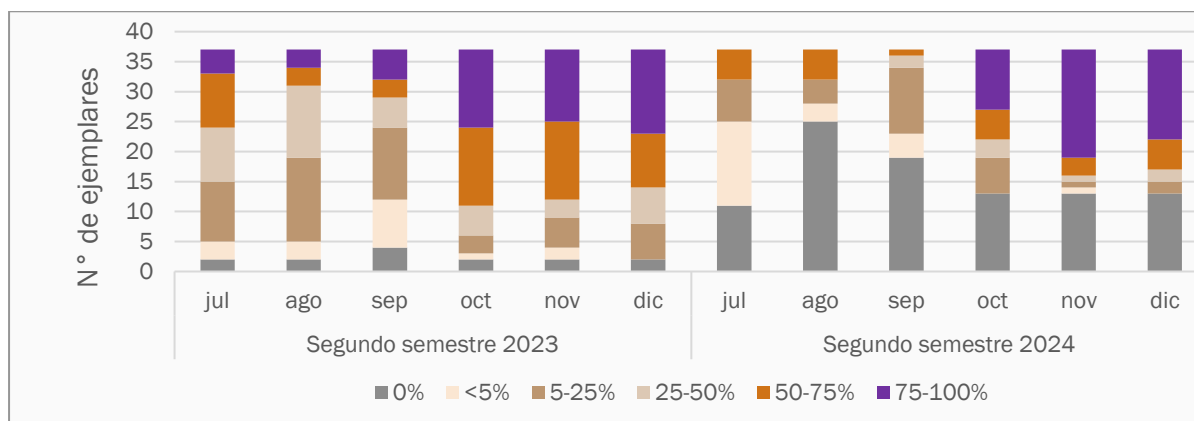
Fuente: elaboración propia

6.2.2.1 Evaluación del porcentaje de copa viva de los árboles bajo sistema de riego respecto al segundo semestre del año 2023

Para evaluar el porcentaje de copa viva de los ejemplares bajo sistema de riego en el segundo semestre de 2024, se ha comparado este parámetro con los datos colectados durante el segundo semestre de 2023 (Figura 6-29).

Para los individuos sin copa viva, en el segundo semestre de 2024 se observó un aumento considerable respecto del mismo periodo en 2023, con una mayor cantidad de individuos en este estado durante todos los meses. En 2024, se alcanzó un máximo de 25 individuos en agosto, mientras que en el periodo anterior el máximo fue de 4 individuos en septiembre. Las categorías <5%, 5-25% y 25-50% mostraron un comportamiento similar en ambos periodos, con una mayor participación en la primer parte del semestre, y luego una disminución progresiva con la llegada de la primavera. En contraste, las categorías más vigorosas (50-75% y 75-100%) experimentaron un aumento en la primavera de ambos periodos. La categoría 50-75% presentó una mayor proporción en 2023, con un máximo de 13 individuos en octubre y noviembre, mientras que, en 2024, el máximo se alcanzó con 5 individuos en julio, agosto, octubre y diciembre. Por último, la categoría 75-100% mostró una tendencia similar en ambos periodos, pero diferenciándose en que durante la primer parte del semestre de 2024 no se presentó ningún individuo en esta categoría.

Figura 6-29. Evolución de la copa viva de los ejemplares de algarrobo bajo sistema de riego



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 Tabla 6-1 y Figura 6-30, el matorral de *Tessaria absinthioides* corresponde al tipo vegetacional con mayor ocupación en la quebrada, concentrando un promedio de 241,89 ha $\pm$ 8,23 ha con un valor máximo de 257,84 ha en abril de 2023. A su vez, este matorral representa en promedio un 59,13% $\pm$ 1,34% de la superficie total cubierta de matorrales de la Quebrada de Camar.

El matorral de *Tiquilia atacamensis* registra un promedio de 109,83 ha $\pm$ 7,12 ha, el valor máximo se observó en los meses de abril 2021 y enero 2022 117,70 ha. Este matorral representa en promedio un 26,84% $\pm$ 1,53% de la superficie total de matorrales.

El matorral de *Atriplex atacamensis* - *Atriplex imbricata* posee un promedio de 26,33 ha $\pm$ 8,50 ha con un valor máximo de 44,05 ha reportado en enero 2024. Este matorral representa en promedio un 6,44% $\pm$ 2,08% de la superficie total cubierta de matorrales de la quebrada.

El matorral de *Aloysia deserticola* - *Efedra multiflora* registra un promedio de 31,06 ha $\pm$ 8,67 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.

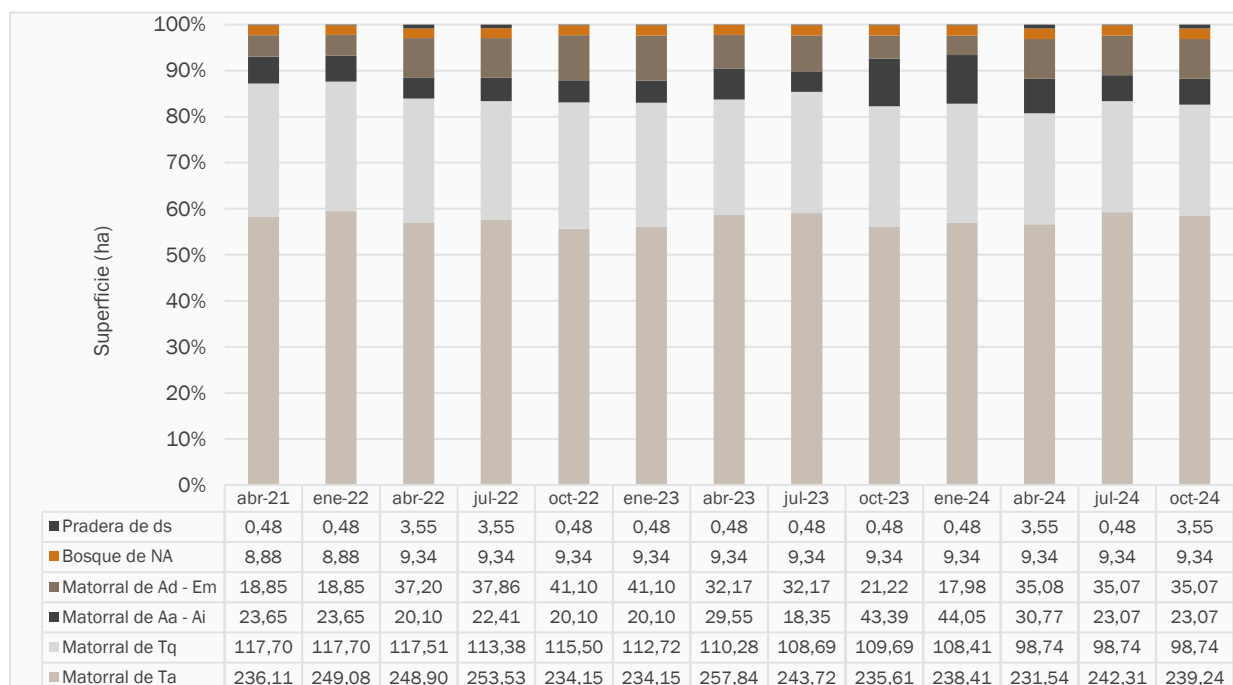
Las superficies de Bosque de *Neltuma alba* y pradera de *Distichlis spicata* registran un promedio de 9,27 ha $\pm$ 0,17 ha y 1,42 ha $\pm$ 1,47 ha respectivamente. Destaca el reciente aumento de la superficie de la pradera de *Distichlis spicata*. Dicho aumento se debe a que, durante la última campaña de terreno (octubre 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 las formaciones vegetacionales presentes en la quebrada de Camar

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
Abr-21	236,11	117,70	23,65	18,85	8,88	0,48	405,67
Ene-22	249,08	117,70	23,65	18,85	8,88	0,48	418,64
Abr-22	248,90	117,51	20,10	37,20	9,34	3,55	436,60
Jul-22	253,53	113,38	22,41	37,86	9,34	3,55	440,07
Oct-22	234,15	115,50	20,10	41,10	9,34	0,48	420,67
Ene-23	234,15	112,72	20,10	41,10	9,34	0,48	417,89
Abr-23	257,84	110,28	29,55	32,17	9,34	0,48	439,66
Jul-23	243,72	108,69	18,35	32,17	9,34	0,48	412,75
Oct-23	235,61	109,69	43,39	21,22	9,34	0,48	419,73
Ene-24	238,41	108,41	44,05	17,99	9,34	0,48	418,68
Abr-24	231,54	98,74	30,78	35,07	9,34	3,55	409,02
jul-24	242,31	98,74	23,07	35,07	9,34	0,48	409,01
oct-24	239,24	98,74	23,07	35,07	9,34	3,55	409,01

Fuente: Elaboración propia 2024

Figura 6-30. 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

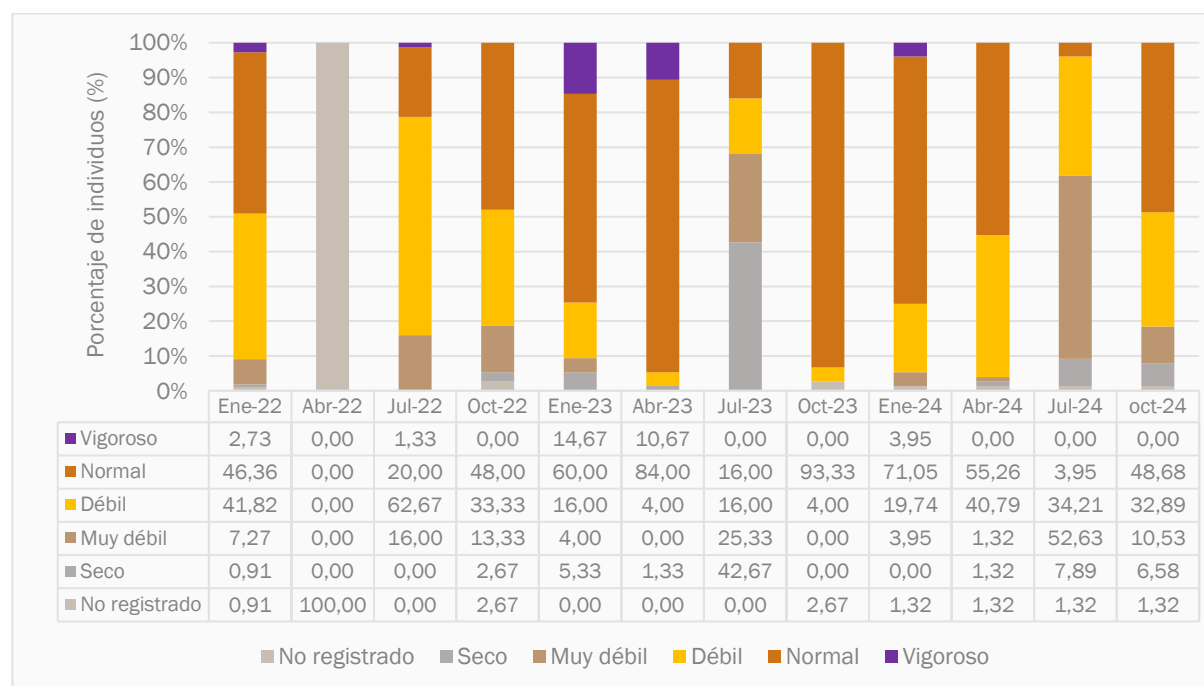
6.3.1.2 Vitalidad

Tal como se muestra en la Figura 6-31, el estado vital de las 75 unidades de vegetación ha presentado variaciones en el tiempo. El porcentaje de polígonos en categoría Crecimiento Normal registra un promedio de $49,69\% \pm 27,93\%$ con un valor máximo de $93,33\%$ (70 unidades vegetacionales) en octubre 2023. La categoría Débil registra un promedio de $27,77\% \pm 17,76\%$, mientras que el valor máximo fue de $62,67\%$ (47 unidades) en julio 2022. La categoría Muy débil registra un promedio de $12,21\% \pm 15,5\%$ y un valor máximo de $52,63\%$ (40 unidades) registradas en julio 2024. La categoría Excepcionalmente vigorosa obtuvo un promedio de $3,03\% \pm 5,03\%$, con un valor máximo de $14,67\%$ (11 unidades) registradas en enero 2023. Finalmente, un $6,25\% \pm 12,40\%$ corresponde a ejemplares secos. Respecto al estado fitosanitario de los polígonos visitados, además de lo registrado respecto a la afectación animal y antrópica no se registran signos de otros tipos de daños.

Al comparar el período analizado (julio y octubre 2024), se observa un aumento en el número de polígonos en categoría normal en octubre de 2024 con una diferencia de $44,73\%$. Contrariamente, se observa una disminución en el número de polígonos Débiles con un diferencial de $1,32\%$. Los polígonos en estado Muy débil disminuyeron en un $42,10\%$ durante el mes de octubre, mientras que los secos disminuyeron en un $1,31\%$. La categoría Ex. vigoroso se mantuvo, ya que no hubo polígonos en esta categoría para ambos

periodos (julio y octubre). Este aumento en la categoría de vigorosidad normal y disminución en las categorías de vigorosidad baja podría relacionarse a cambios estacionales por el término del invierno y el comienzo de la primavera, ya que, en esta temporada hay una mayor actividad fotosintética.

Figura 6-31. Variación histórica de la vitalidad en la vegetación de la Quebrada de Camar



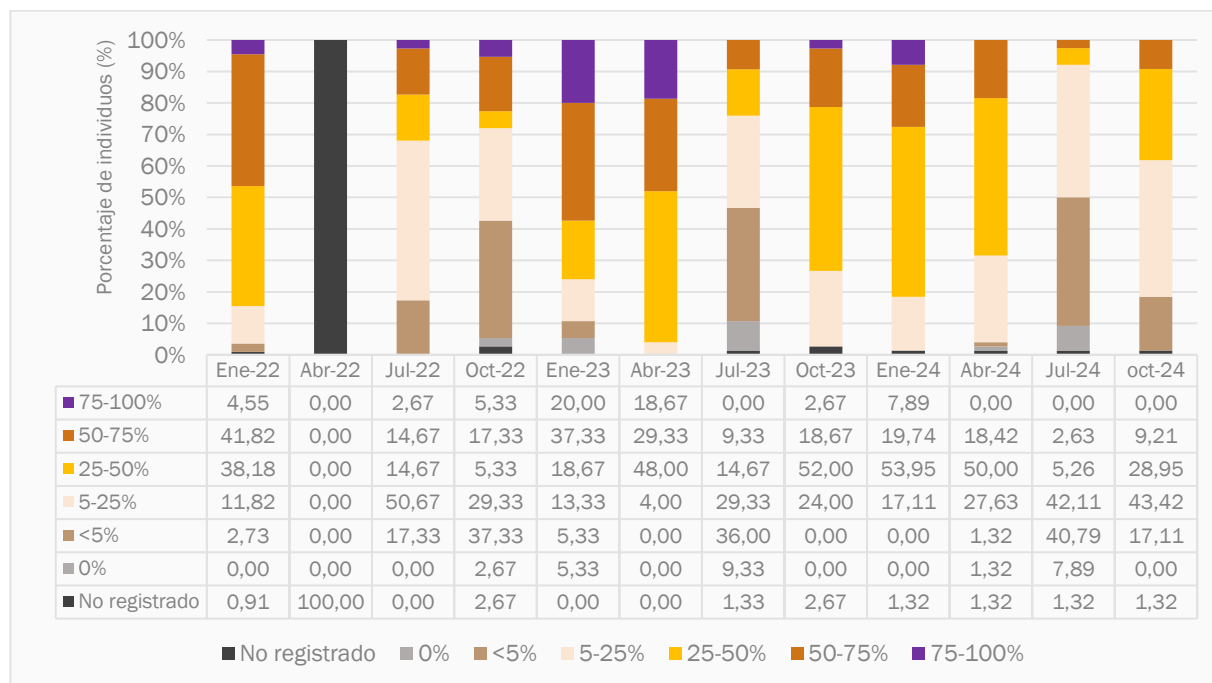
Fuente: Elaboración propia, 2024

6.3.1.3 Porcentaje de copa viva

Tal como se muestra en la Figura 6-32 la categoría de copa viva entre 25-50% reporta el mayor promedio con un valor de $29,91\% \pm 19,15\%$ con un valor máximo de 53,95% (41 unidades) en enero 2024. La categoría 5-25% de copa entre reporta un promedio de $26,61\% \pm 14,56\%$ con un valor máximo de 50,67% (38 unidades) reportadas en julio 2022. La categoría de copa entre 50-75% con un promedio de $19,86\% \pm 11,98\%$ y un valor máximo de 41,82% (46 unidades) reportado en enero 2022. La categoría de copa <5% reporta un promedio de $14,36\% \pm 16,48\%$ con un valor máximo de 40,79% (31 unidades) registrados en julio 2024. La categoría 75-100% reporta un promedio de $5,62\% \pm 7,26\%$ con un valor máximo de 20,00% (15 unidades) registradas en enero 2023. Finalmente, la categoría 0% reporta un promedio de $2,41\% \pm 3,50\%$ con un valor máximo 9,33% (7 unidades) reportadas en julio 2023.

Al comparar el período analizado (julio y octubre 2024), se observa una disminución de las unidades con follaje en las categorías 0% y <5%, con una disminución del 7,89% y 23,68%. En cambio, se observó un aumento en la categoría de 5-25% con un aumento del 1,31%, para la categoría 25-50% tuvo un aumento del 23,69% y en la categoría de 50-75% de copa viva hubo un aumento del 6,58%. Finalmente, la categoría 75-100% se mantuvo, ya que no hubo polígonos que se encuentren en esta categoría para ambas temporadas (julio y octubre). Este aumento en las categorías con mayor porcentaje de copa verde indicaría que la vegetación de la quebrada tiene un mayor follaje producto de la primavera.

Figura 6-32. Variación histórica del porcentaje de copa viva en la vegetación de la Quebrada de Camar



Fuente: Elaboración propia 2024

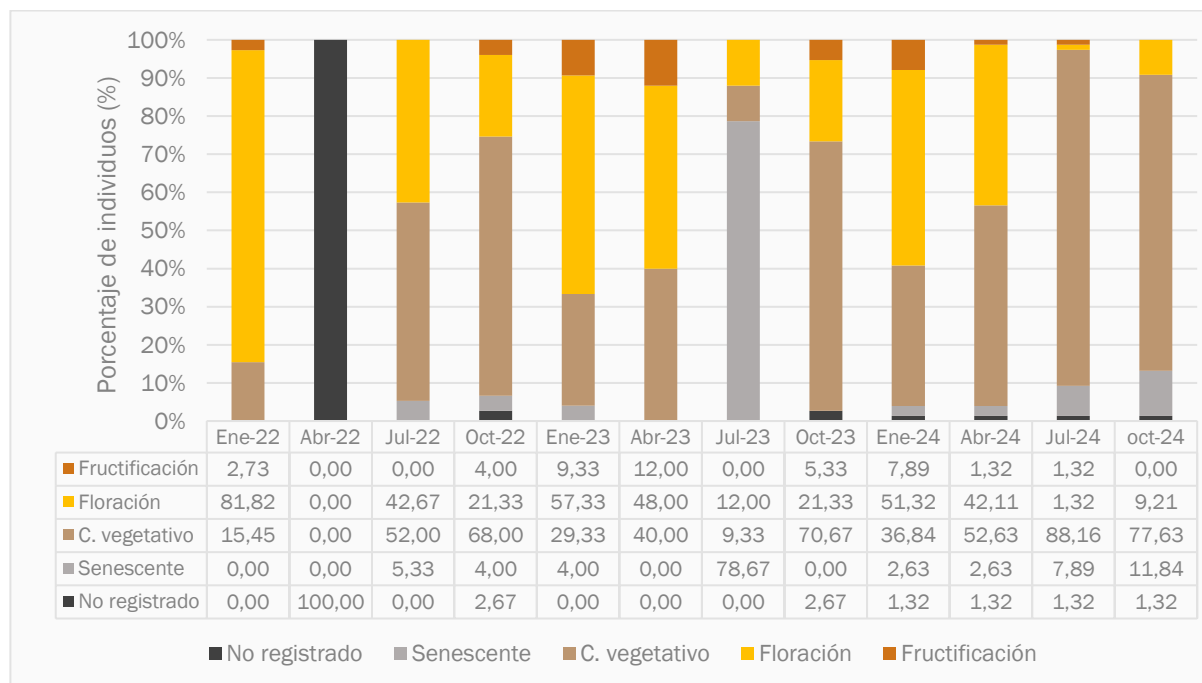
6.3.1.4 Estado fenológico

Tal como se muestra en la Figura 6-33, el estado fenológico con mayor promedio reportado fue el crecimiento vegetativo, con un valor de $49,09\% \pm 25,54\%$ y obtuvo un valor máximo de $88,16\%$ (julio de 2024). La categoría Floración registró un promedio de $35,31\% \pm 24,37\%$ y obtuvo un valor máximo de $81,82\%$ (90 unidades²⁸) en enero 2022. La categoría Fructificación registró un promedio de $3,99\% \pm 4,16\%$ con un valor máximo de $12,00\%$ (9 unidades) en abril 2023. La categoría Senescente registra un promedio de $10,64\% \pm 22,85\%$ con un valor máximo de $78,67\%$ (59 unidades) en julio 2023.

Al comparar los períodos de julio y octubre de 2024, se observa una disminución en las categorías de Crecimiento vegetativo y Fructificación, con una reducción del $10,53\%$ y $1,32\%$, respectivamente. Por otro lado, se registra un aumento en la categoría de Floración y Senescente, con un aumento de $7,89\%$ y $3,95\%$. Categoría de no registrado se mantuvo estable sin diferencia entre ambos periodos (julio y octubre), ya que solo una unidad vegetacional no se pudo muestrear ($1,32\%$). Estos cambios coinciden con el término de la temporada estival, el inicio del invierno e inicio de la primavera, lo cual se ve reflejado en un aumento en la floración.

²⁸ El monitoreo de enero 2022 fue el primero que se realizó en el marco de la Acción N°24 del Programa de Cumplimiento (PdC). Es ante primer monitoreo se propusieron 110 estaciones de muestreo, de las cuales se seleccionaron 76 que continuaron siendo monitoreadas trimestralmente.

Figura 6-33. Variación histórica del estado fenológico en la vegetación de la Quebrada de Camar



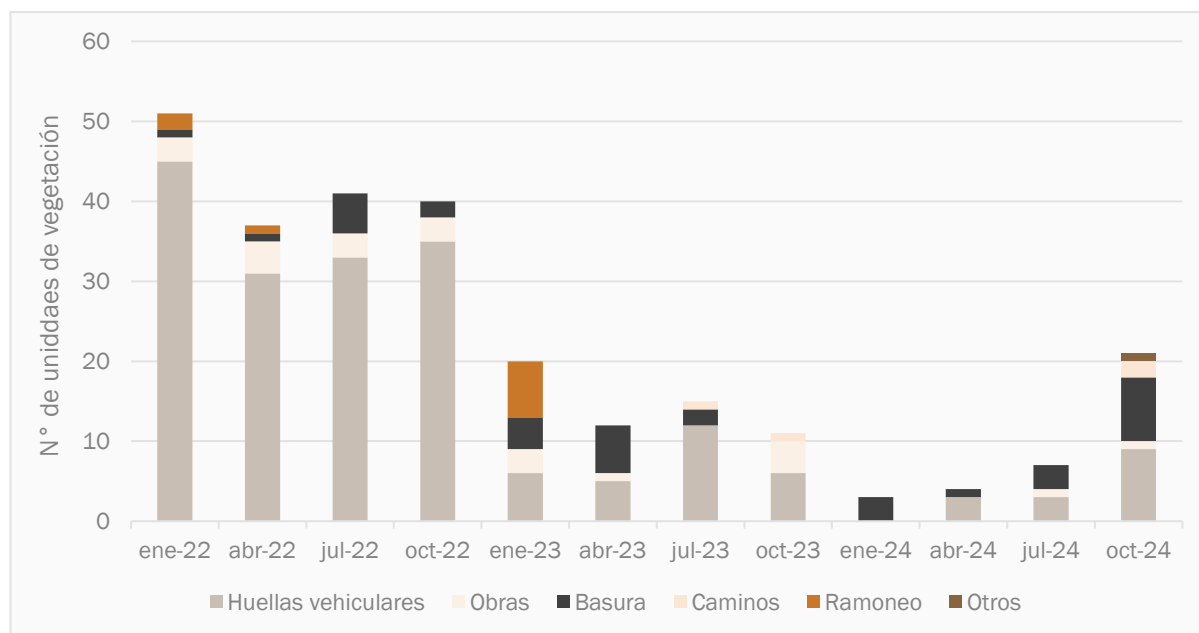
Fuente: Elaboración propia

6.3.1.5 Afectación antrópica y/o natural

Los monitoreos trimestrales dan cuenta que desde el comienzo de los reportes mensuales del Programa 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 octubre de 2024 se observa que la presencia de huellas vehiculares corresponde a la principal afectación en las unidades de vegetación. Estas corresponden a una perturbación de los sitios, ya que el tránsito vehicular por caminos no habilitados puede afectar a la flora y fauna del sector, así como también a los atributos del paisaje. En menor medida 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. Por último, agregar que para el mes de octubre de 2024 se agregó una nueva categoría nombrada "Otros", esta categoría corresponde a otros tipos de intervención antrópica distintos a los ya mencionados, en el periodo de octubre se detectó un polígono con presencia de corta, este correspondería a la categoría "Otros".

Respecto a la afectación antrópica, el 71,05% de los polígonos monitoreados se observó sin intervención aparente en el monitoreo de octubre, lo que significa un aumento del 18,42% en el número de polígonos intervenidos respecto al monitoreo de a julio de 2024. Además, a diferencia del monitoreo anterior (julio 2024) en octubre 2024, se evidenciaron signos de intervención por caminos. La evolución histórica de la afectación animal y antrópica se presentan en (Figura 6-34).

Figura 6-34. 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 octubre 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 2023²⁹, donde, además, la napa es profunda, por lo que eventos de precipitaciones son considerablemente favorables para el crecimiento y desarrollo de algunas especies.

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

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

Nº	Nombre científico	Familia	Hábito de crecimiento	Origen	2022				2023				2024			
					Enero	Abril	Julio	Octubre	Enero	Abril	Julio	Octubre	Enero	Abril	Julio	Octubre
1	<i>Adesmia atacamensis</i>	Fabaceae	Arbusto	Endémico	(*)	(*)	X	X	(*)	(*)	-	-	-	-	-	-
2	<i>Adesmia rahmeri</i>	Fabaceae	Hierba anual	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	-	-	-	-	-	X
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	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	X	X
7	<i>Atriplex imbricata</i> var. <i>imbricata</i>	Chenopodiaceae	Arbusto	Nativo	X	X	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	X	X
13	<i>Ephedra multiflora</i>	Ephedraceae	Arbusto	Nativo	X	X	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	(*)	(*)	(*)	(*)

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	2022				2023				2024			
					Enero	Abril	Julio	Octubre	Enero	Abril	Julio	Octubre	Enero	Abril	Julio	Octubre
19	<i>Phragmites australis</i>	Poaceae	Hierba perenne	Introducido	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)	-	-	-	-	-	-
20	<i>Solanum chilense</i>	Solanaceae	Hierba perenne	Endémico	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)	X	-	-	-	-	-
21	<i>Strombocarpa tamarugo</i>	Fabaceae	Árbol	Endémico	(*)	(*)	(*)	(*)	-	(*)	X	X	(*)	(*)	(*)	(*)
22	<i>Tarasa operculata</i>	Malvaceae	Arbusto	Nativo	(*)	(*)	(*)	(*)	-	X	-	-	-	X	X	X
23	<i>Tessaria absinthioides</i>	Asteraceae	Arbusto	Nativo	X	X	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	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	8	9
Riqueza fuera de los puntos de muestreo					10	12	11	12	12	15	-	-	2	2	2	2
Riqueza total					19	20	20	20	20	26	11	9	10	10	10	11

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

Por su parte, 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 *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.

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).

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 N° 24 del Programa 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 octubre de 2024, con un número relativamente constante de especies registradas (10 a 11 especies registradas por período).

6.3.2.2 Abundancia

En la Tabla 6-3 se presenta la variación histórica (enero 2022 hasta octubre 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 julio y octubre, la cobertura de las especies mostro ligeros cambios entre periodos. Las especies que disminuyeron fueron *Tessaria absinthioides* con una reducción de 0,91%, *Atriplex imbricata* con una reducción de 0,04% y *Atriplex atacamensis* tuvo una reducción de 0,01%. El resto de la especie tuvo un ligero aumento siendo *Aloysia deserticola* la especie que tuvo un mayor aumento con un 0,45%, *Ephedra multiflora* aumento en 0,18%, *Tiquilia atacamensis* aumento en 0,12%, *Distichlis spicata* aumento en 0,05% y *Tarasa operculata* tuvo un aumento del 0,01%. Cabe recalcar la aparición de la especie *Adesmia rahmeri* en el periodo de octubre, que tuvo una cobertura inferior al 0,01%.

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	Jul-24	Oct-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%	0,00%	0,00%
2	<i>Adesmia rahmeri</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	<0,01%
3	<i>Aloysia deserticola</i>	0,74%	0,72%	0,90%	0,38%	1,05%	0,54%	0,63%	0,91%	1,26%	1,39%	0,68%	1,13%
4	<i>Atriplex atacamensis</i>	1,37%	1,44%	1,73%	0,78%	1,41%	1,97%	1,73%	2,97%	1,94%	2,53%	1,86%	1,85%
5	<i>Atriplex imbricata</i>	0,15%	0,12%	0,09%	0,03%	0,21%	0,11%	0,02%	0,03%	0,28%	0,02%	0,07%	0,03%
6	<i>Cistanthe salsoloides</i>	0,15%	0,06%	0,01%	0,02%	0,08%	0,02%	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
7	<i>Cistanthe celosioides</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
8	<i>Distichlis spicata</i>	0,3%	0,6%	0,41%	0,22%	0,58%	0,86%	0,54%	0,70%	0,50%	0,49%	0,33%	0,38%
9	<i>Ephedra multiflora</i>	0,27%	0,05%	0,06%	0,00%	0,22%	0,11%	0,00%	0,07%	0,13%	0,10%	0,02%	0,20%
10	<i>Exodeconus integrifolius</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
11	<i>Solanum chilense</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
12	<i>Tarasa operculata</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,02%
13	<i>Tessaria absinthioides</i>	8,00%	10,99%	7,22%	7,15%	9,83%	10,45%	8,41%	12,80%	10,46%	10,39%	10,16%	9,25%
14	<i>Tiquilia atacamensis</i>	3,22%	2,01%	1,34%	0,92%	1,63%	1,23%	1,45%	1,50%	1,04%	0,61%	0,58%	0,70%
15	<i>Tribulus terrestris</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	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 (diciembre 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.

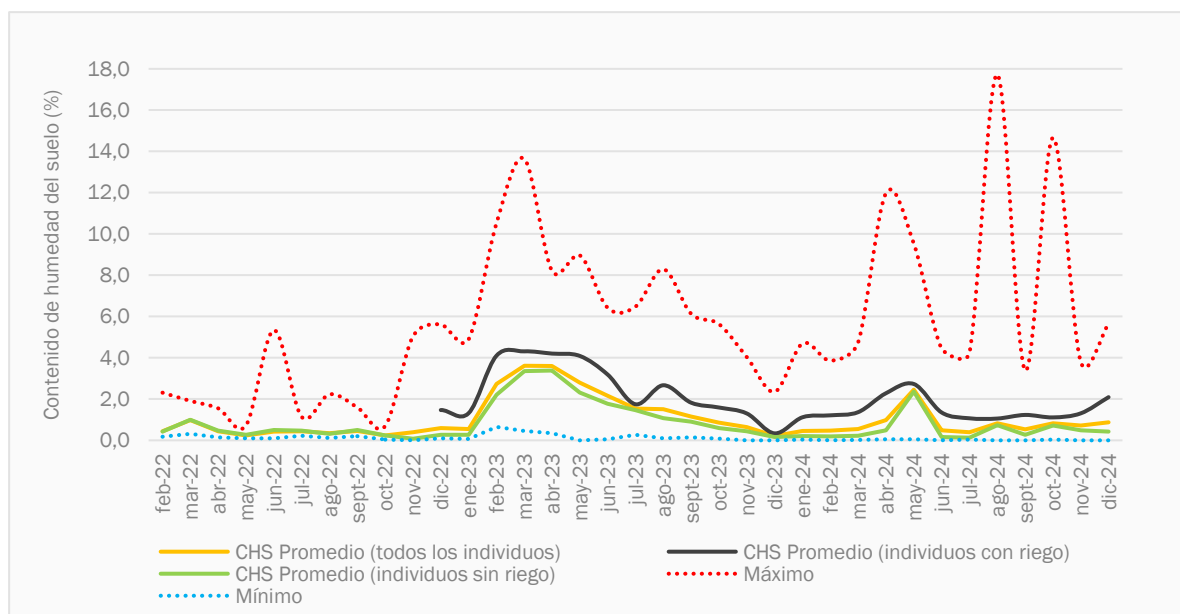
La Figura 6-35 y Tabla 6-4 muestran el comportamiento histórico del CHS dentro de la quebrada de Camar. Se observan fluctuaciones según la época del año, registrando un valor máximo promedio de 3,61% consecutivamente en los meses de marzo y abril de 2023, fecha en la que se registraron eventos de precipitaciones³⁰. 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 11³¹ 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 segundo semestre de 2024, se registran los mayores promedios generales (considerando las 40 muestras) en agosto y diciembre (0,83% y 0,88% respectivamente), observándose el menor promedio general del contenido de humedad del suelo en julio (0,39%). Al analizar el CHS promedio en individuos con y sin sistema de riego, también se aprecia una leve tendencia al alza hacia diciembre de 2024. Lo anterior difiere con lo reportado durante el segundo semestre de 2023, donde el CHS promedio disminuye hacia fin del semestre (Figura 6-35). Esto seguramente debido a las disminuciones de agua retenida en el suelo tras las precipitaciones de marzo y abril de 2023.

³⁰ 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

³¹ 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 6-35. Comparación mensual del contenido de humedad del suelo en individuos de *Neltuma alba*, periodo febrero 2022 – diciembre 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 Neltuma alba con y sin sistema de riego, periodo febrero 2022 – diciembre 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	0,25	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	0,20	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	0,20	0,00	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		
2023	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		
	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	6,00	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	0,00	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	0,60	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	0,27	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	0,10	0,20	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																																						

Fuente: elaboración propia

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					
	octubre	0,77	2,27	0,21	0,12	0,10	2,26	0,15	0,03	2,81	2,70	0,81	0,05	0,27	14,66	0,13	0,05	0,12	0,15	0,05	0,14	0,11	1,35	1,14	0,11	0,14	0,15	0,08	0,12	0,13	0,14	0,16	0,20	0,50	0,12	0,11	0,11	0,05	0,10	0,15	0,14					
	noviembre	0,78	3,20	0,66	0,09	0,25	3,80	0,18	0,21	3,66	0,00	1,56	0,30	0,97	0,29	0,26	0,09	0,16	0,36	0,20	0,29	0,38	2,27	0,29	0,24	1,00	0,27	0,29	0,27	0,29	0,43	0,30	0,25	0,87	0,28	0,20	2,82	0,35	0,10	0,29	0,10					
	diciembre	1,55	3,28	0,75	0,35	0,19	3,63	0,22	0,34	5,13	5,66	1,91	0,28	0,80	0,33	0,14	0,50	0,32	0,37	0,06	0,07	0,67	2,53	0,10	0,44	0,33	0,37	0,00	0,27	0,47	0,27	0,33	0,36	0,91	0,30	0,39	0,62	0,40	0,29	0,23	0,00					
Mínimo		0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,03	0,09	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00					
Máximo		9,53	9,22	5,75	3,02	4,18	16,71	4,92	8,96	6,48	10,51	3,09	2,87	5,68	14,66	6,39	3,61	3,76	5,91	8,20	1,96	5,34	6,96	1,50	2,81	2,94	3,27	3,68	3,60	9,17	4,42	6,18	8,48	5,90	8,12	6,42	4,65	13,64	17,73	3,49	3,91					
Promedio		1,11	2,73	0,78	0,43	0,79	2,25	0,80	1,13	3,00	3,13	1,02	0,58	1,29	1,16	0,76	0,70	0,75	0,76	0,76	0,41	0,63	1,82	0,37	0,60	0,65	0,63	0,66	0,71	0,80	0,78	0,71	1,25	0,99	0,65	0,75	0,93	0,86	1,21	0,70	0,94					

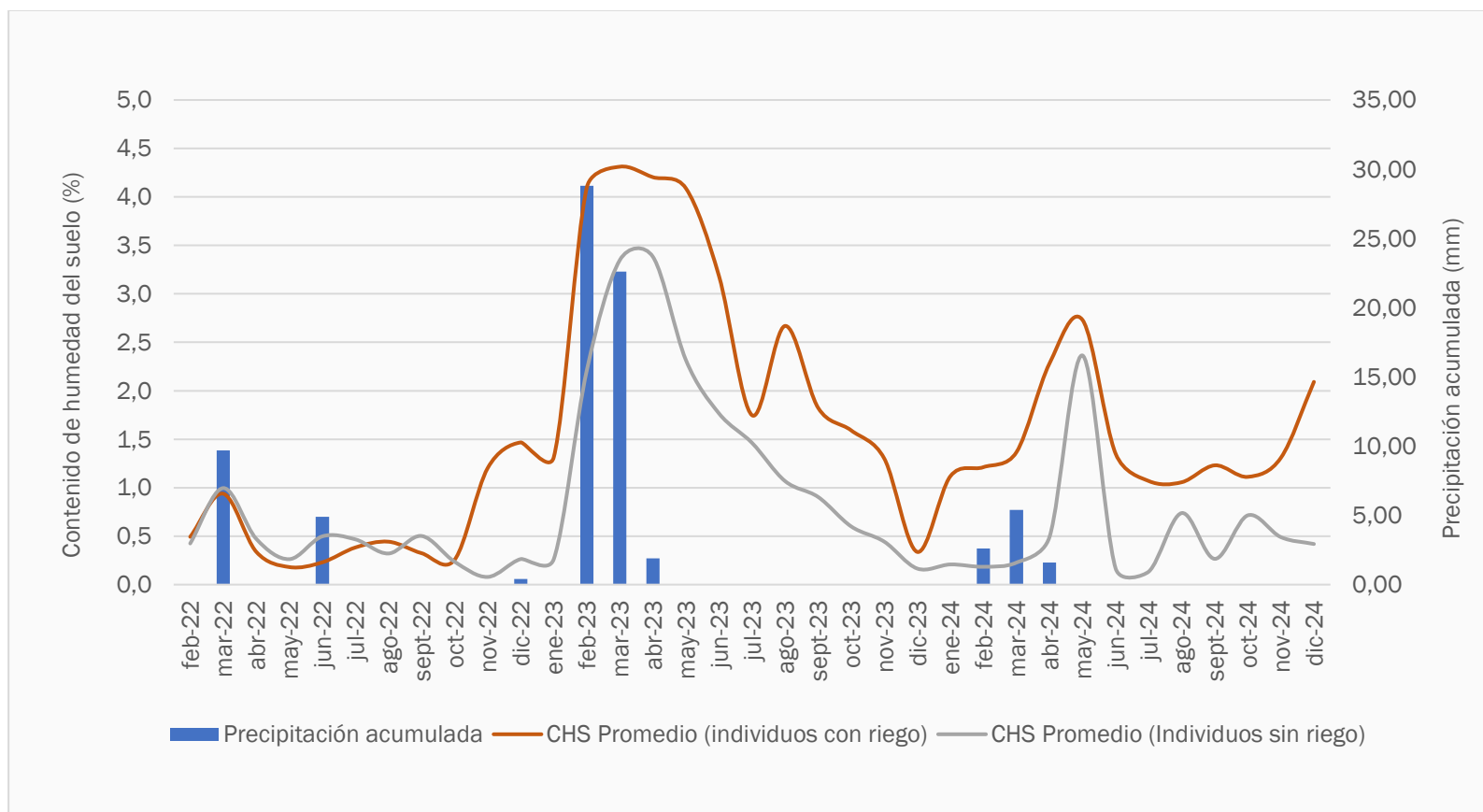
La Figura 6-36 muestra la variación del promedio del CHS de los individuos con y sin sistema de riego en el tiempo y su relación con las precipitaciones durante todo el periodo estudiado. El valor promedio máximo alcanzado en los individuos con riego (desde diciembre 2022 a diciembre de 2024) se observó 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 diciembre 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 (desde diciembre 2022 a diciembre de 2024) fue de 0,34% y se registró en diciembre de 2023, mientras que en los individuos sin sistema de riego (desde diciembre 2022 a diciembre de 2024) fue de 0,13% y se registró en julio 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 relaciona 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 marzo y abril 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 6-36). Misma situación ocurre en los meses de febrero, marzo y abril del 2024, donde también se presentaron precipitaciones que contribuyeron a aumentar el CHS, pero dada su menor magnitud, la retención de humedad en el suelo fue menor en los meses posteriores.

Durante el primer semestre de 2024 se registraron precipitaciones en febrero, marzo y abril, con valores de 2,60 mm, 5,40 mm y 1,60 mm respectivamente³². Por su parte, en el segundo semestre de 2024 no se registraron precipitaciones, al igual que en el segundo semestre del 2023. Esta distribución de las precipitaciones durante el año condiciona que, en el segundo presente, el CHS promedio sea inferior al del primer semestre.

³² 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 6-36. Variación mensual del contenido de humedad de suelo en individuos de *Neltuma alba* con y sin sistema de riego, febrero 2022 – diciembre 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.

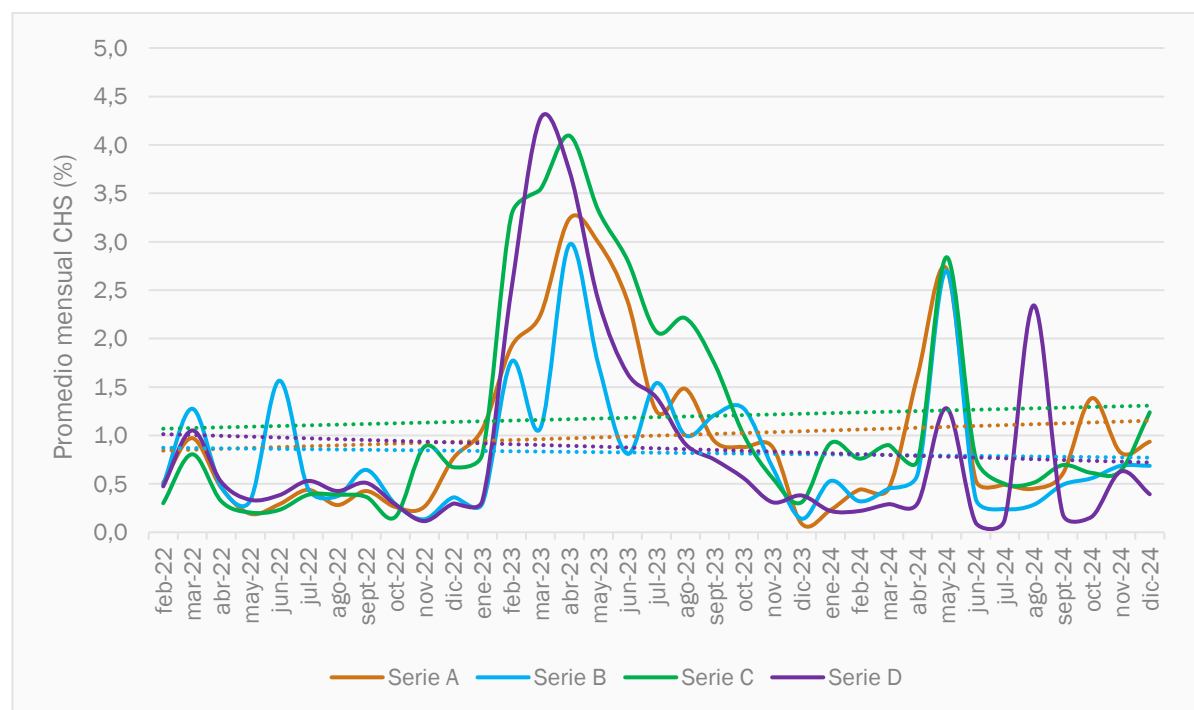
Fuente: Elaboración propia

6.4.1.2 Evolución temporal del CHS a nivel de series

La Figura 6-37 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, al igual que en abril y mayo de 2024, debido a eventos de precipitaciones. Para todas las series monitoreadas, se aprecian los promedios 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 segundo 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 6-37. Variación mensual del contenido de humedad de suelo por serie en individuos de *Neltuma alba*, febrero 2022 – diciembre 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 6-38 muestra el CHS promedio de los individuos con sistema de riego (11 individuos) y sin sistema de riego (29 individuos), junto con la suma del porcentaje de individuos con Crecimiento normal y Ex. vigorosos desde diciembre de 2022 hasta diciembre de 2024.

En el caso de los individuos con riego, en general no se observa una relación estrecha entre la vitalidad de los ejemplares y las variaciones del CHS provocadas por eventos de precipitaciones. Durante 2023, hasta septiembre, si bien ambas variables presentan una tendencia similar de aumentos en el vigor de los

ejemplares cuando se presentan aumentos del CHS, hacia finales de ese año y comienzos del 2024 la situación cambia. Ya que se registran descensos en el CHS debido a la ausencia de precipitaciones, mientras que, en el mismo periodo, el porcentaje de individuos con Crecimiento normal o Ex. vigoroso aumenta hasta alcanzar el 100% entre octubre de 2023 y abril de 2024. Esta situación podría deberse al sistema de riego, que permite mantener un CHS más elevado en comparación con los individuos sin riego. Permitiendo así generar una menor dependencia de los aportes hídricos provenientes de las precipitaciones para mantener alto el vigor en los individuos. Hacia 2024, se presenta un descenso en el porcentaje de individuos, hasta alcanzar un mínimo de 36,36% en agosto de 2024, y en los monitoreos posteriores se mantiene sin una tendencia clara. Es importante destacar que la muestra de individuos con riego es reducida (11 individuos), por lo que las variaciones porcentuales pueden verse fuertemente afectadas por el cambio de categorías de unos pocos ejemplares.

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 superior al valor p establecido (probabilidad = 0,64 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.

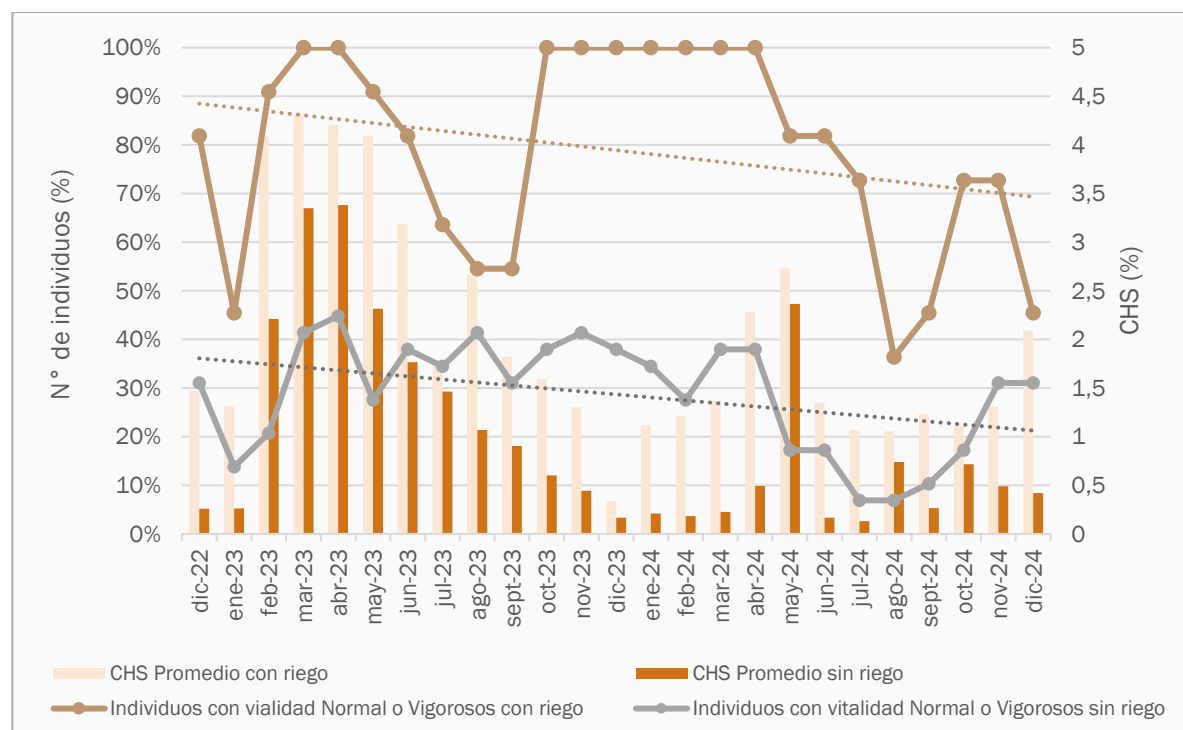
En el caso de los individuos sin sistema de riego que registran Crecimiento normal, se observa una tendencia descendente a lo largo del tiempo, con notables puntos bajos en enero de 2023, julio de 2024 y agosto de 2024, con 6,90% (2 individuos) cada uno. Mientras que, el valor máximo reportado es 48,28% (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 Crecimiento normal se registró precisamente en el valor máximo promedio de CHS (4,31%) observado en abril de 2023, luego de los eventos de precipitaciones registrados en febrero y marzo de 2023. En 2024, el mayor número de individuos con vigor normal se registra en marzo (41,38% del total de individuos sin riego), después de los eventos de precipitaciones que se reportan en febrero y marzo de 2024. Posteriormente, entre abril y julio de 2024 la cantidad de ejemplares con Crecimiento normal disminuye constantemente hasta alcanzar un 6,90% (2 individuos), Sin embargo, después aumenta progresivamente hasta el monitoreo actual, donde se registra un 31,03% (9 individuos).

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 es significativa, ya que el valor de probabilidad calculado con los datos es inferior al valor p establecido (probabilidad = 0,03 vs valor $p = 0,05$); por lo tanto, se podría inferir que existe una relación lineal significativa entre la variable independiente x (CHS) y la variable dependiente y (N° de individuos normales).

Lo anterior indicaría que la vitalidad de los individuos sin sistema de riego depende del comportamiento del CHS. Mientras que, por el contrario, la vitalidad de los individuos con sistema de 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 – diciembre 2024. Cabe destacar que la vitalidad es una variable cualitativa, que 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.

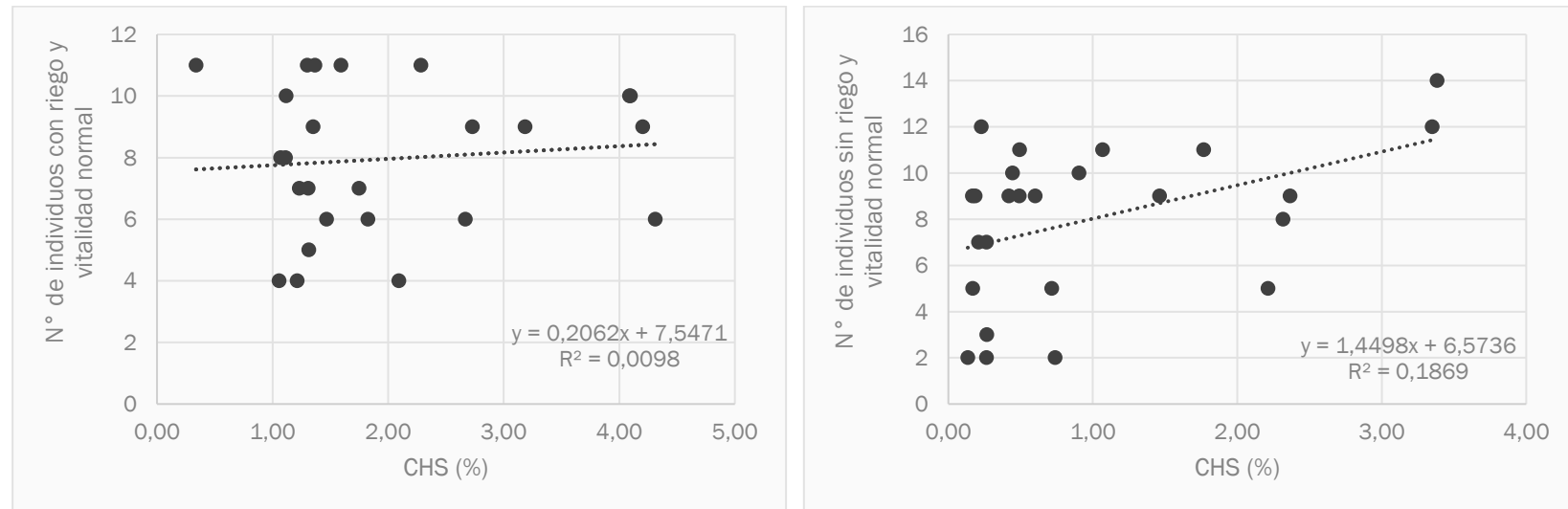
Figura 6-38. Contenido de humedad del suelo mensual versus proporción de individuos de *Neltuma alba* con vitalidad normal, periodo diciembre 2022 – diciembre 2024



*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 6-39. 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 fuertemente salinos, mientras que en las zonas media y alta del cono aluvial predominan suelos no 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 6-40 se muestra la variación trimestral en el contenido de humedad del suelo desde julio 2022 hasta la fecha (octubre 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%.

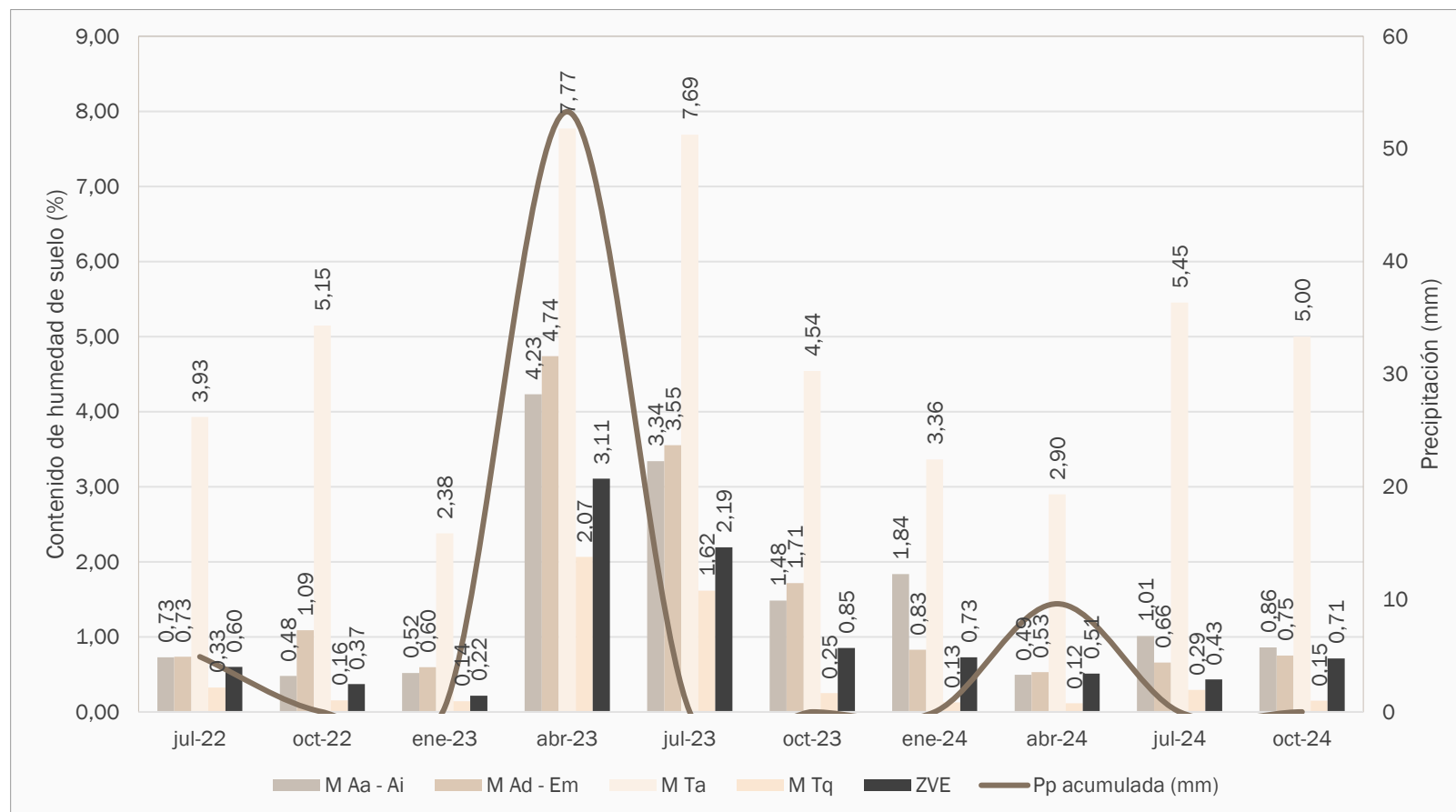
Al comparar los resultados de octubre de 2024 con el reporte de julio 2024, se observa una disminución en el CHS en el 27,91% de los puntos (12 estaciones de muestreo). Esto podría estar relacionado con la baja disponibilidad hídrica debido a la estacionalidad. El promedio de contenido de humedad de suelo en los puntos del borde este del salar pasó de 3,37% (julio de 2024) a 3,27 (octubre de 2024), es decir, hubo una disminución de 0,10%. Por otra parte, el promedio de contenido de humedad de suelo en los puntos del cono aluvial pasó de 0,28% (julio de 2024) a 0,36% (octubre de 2024), es decir, aumentó en un 0,08%. La escasa

variación del CHS promedio podría estar relacionada con la ausencia de precipitaciones desde mayo de 2024 hasta la fecha³³.

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 5-10 y Figura 6-40), y se trata de una planta pequeña que no genera mucha sombra.

³³ SQM en línea <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology> y Red Agrometeorológica de INIA. Estación Camar, San Pedro de Atacama. <https://www.agrometeorologia.cl>

Figura 6-40. 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

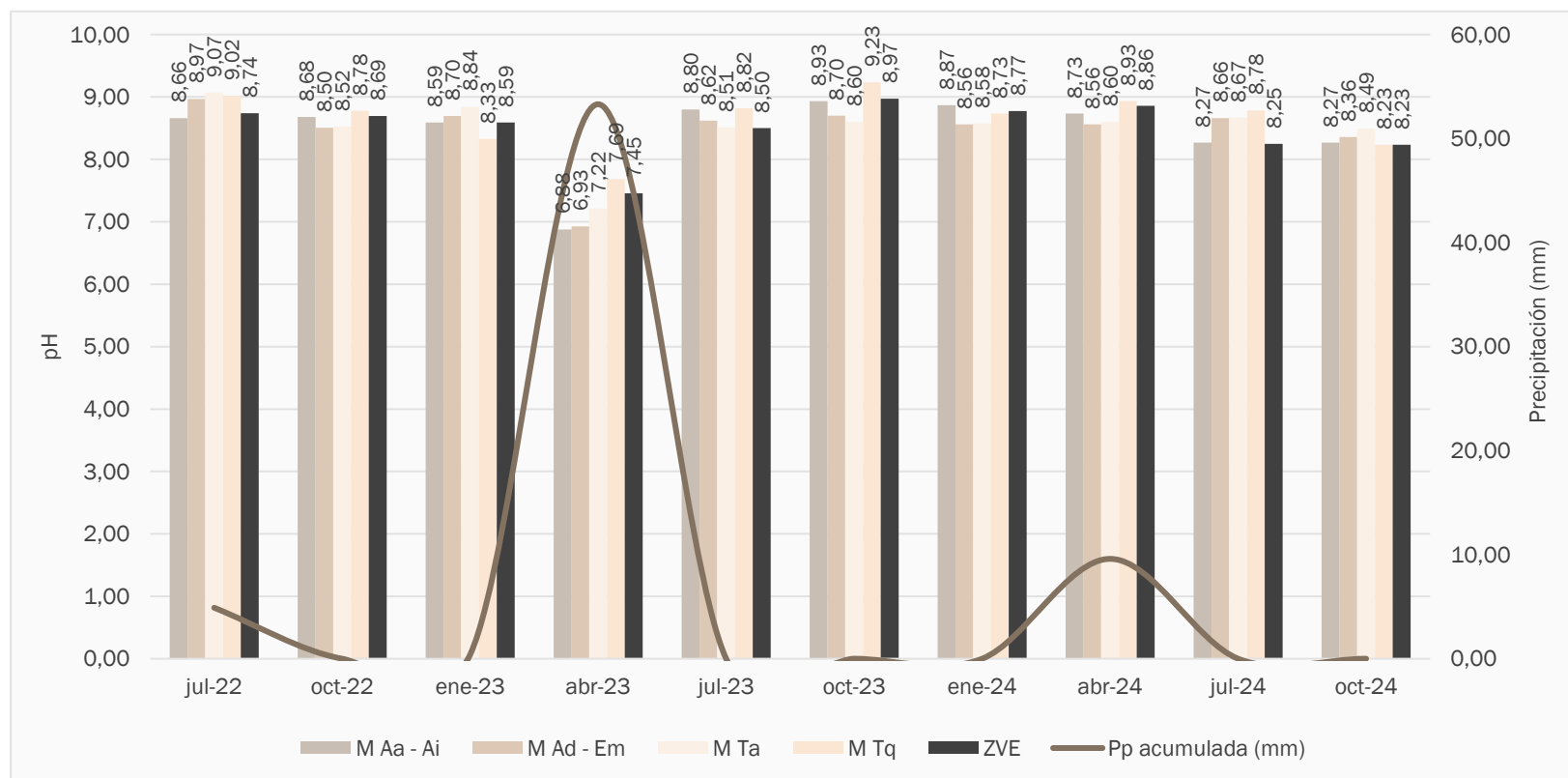
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-41 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 (julio 2024), el pH promedio disminuyó en un 0,16. Esta disminución se debe a que en todos los tipos a excepción del matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata* redujeron su pH promedio.

En cuanto a la variación por tipo vegetacional del pH en la quebrada Camar, se observa que, en 6 de los 10 monitoreos registrados a la fecha, el matorral de *Aloysia deserticola* – *Ephedra multiflora* o las zonas de vegetación escasa presentaron los menores valores de pH, con un promedio histórico de 8,46 y 8,51 unidades de pH, respectivamente (suelos fuertemente alcalinos). Por otro lado, el matorral de *Tiquilia atacamensis* presentó los mayores valores promedio de pH en 6 de los 10 monitoreos, presentando un promedio histórico de 8,65 unidades de pH (suelos fuertemente alcalinos). A nivel histórico, la mayor diferencia entre promedios de pH por tipo vegetacional se da en abril de 2023, donde el matorral de *Atriplex atacamensis* – *Atriplex imbricata* registró un pH promedio de 6,88 (neutro), mientras que el matorral de *Tiquilia atacamensis* presentó 7,69 (ligeramente alcalino). 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 6-41. 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

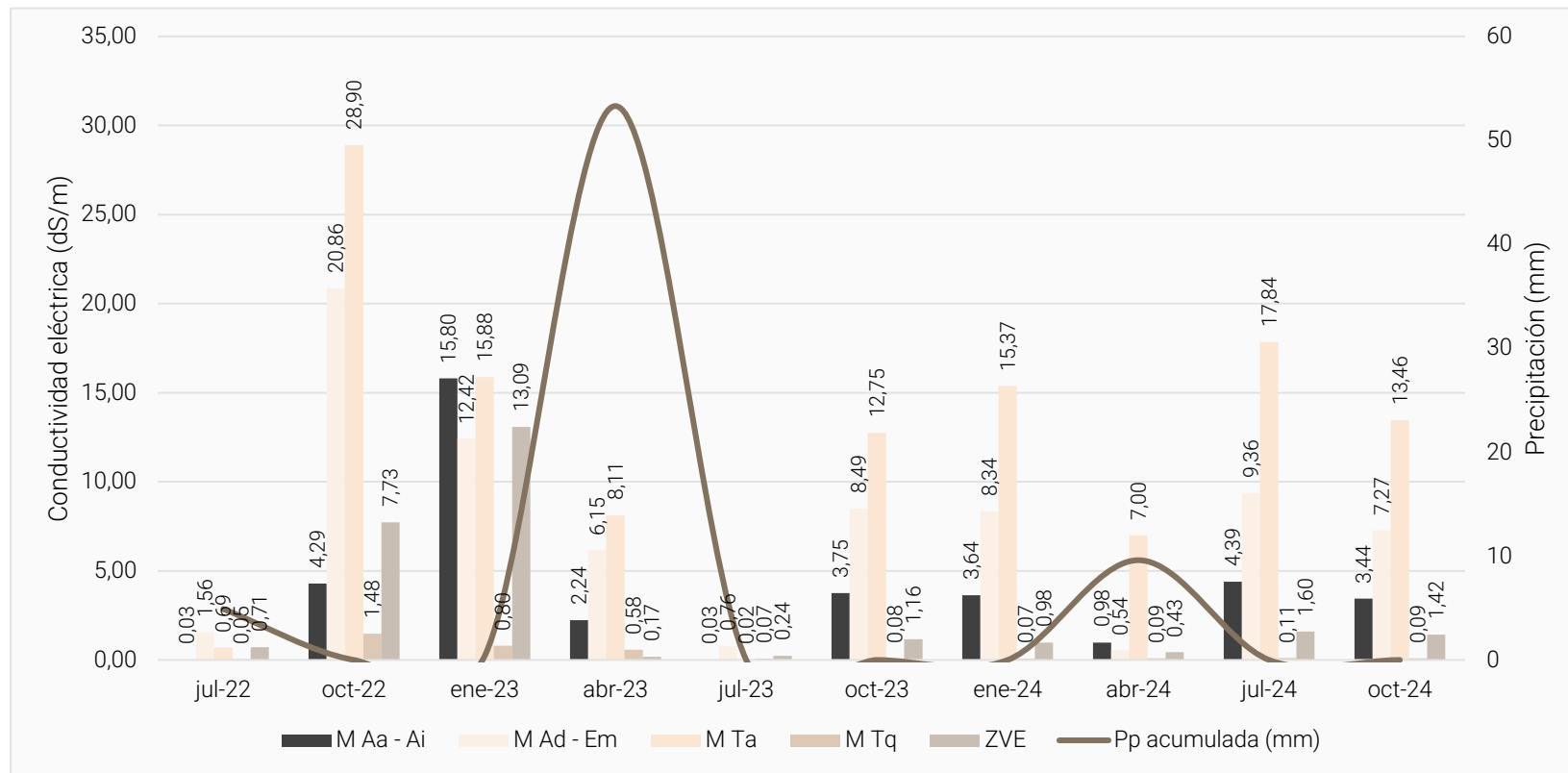
Fuente: elaboración propia

En la Figura 6-42 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 hasta octubre de 2024. Con respecto al monitoreo pasado (julio 2024), se observa una disminución en la totalidad de los tipos vegetacionales evaluados, aunque sin variaciones en las categorías, 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*, 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 muestran 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, indicando 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 6-42. 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

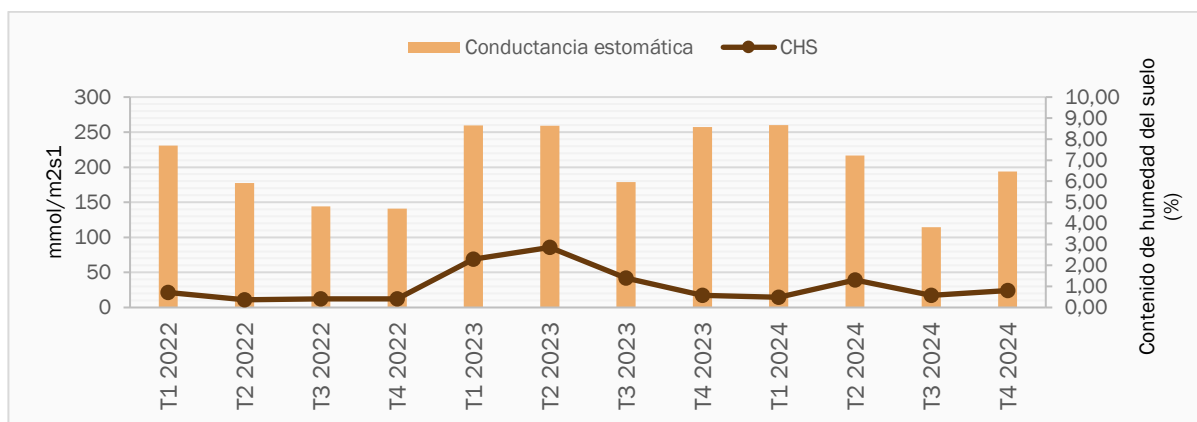
En esta sección se analizarán de forma conjunta las variables más relevantes medidas sobre la población de Algarrobos presente en la quebrada de Camar. Los parámetros vitalidad, fisiología de algarrobos, biomasa y parámetros del suelo, se consideran variables clave de la dinámica de la población de algarrobos 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 otra parte, los parámetros fisiológicos aportan información cuantitativa sobre los procesos vitales que ocurren en las plantas. Para evaluarlos se mide conductancia estomática, así como el potencial hídrico en pre-alba y mediodía. Respecto a la biomasa, esta se refiere 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, los datos de fotosíntesis (conductancia estomática - $\text{mmol/m}^2 \text{s}^{-1}$), muestran fluctuaciones estacionales claras (Figura 6-43). 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 o cuartos trimestres, alcanzando su punto mínimo en el tercer trimestre de 2024 ($114,31 \text{ mmol/m}^2 \text{s}^{-1}$). Por su parte, el potencial hídrico pre-alba y mediodía siguen una tendencia similar (Figura 6-44), indicando estrés hídrico más pronunciado en el tercer trimestre de cada año. Mientras que, en el cuarto trimestre, mejora de manera considerable y presentan los valores menos negativos de potencial hídrico en cada año, indicando un menor estrés hídrico en las plantas. Estos comportamientos parecen estar relacionados con el CHS, el cual se incrementa principalmente debido a las precipitaciones estivales (Figura 6-45), concordando así con las mejoras en la conductancia estomática y el potencial hídrico cuando se presenta una mayor disponibilidad de agua.

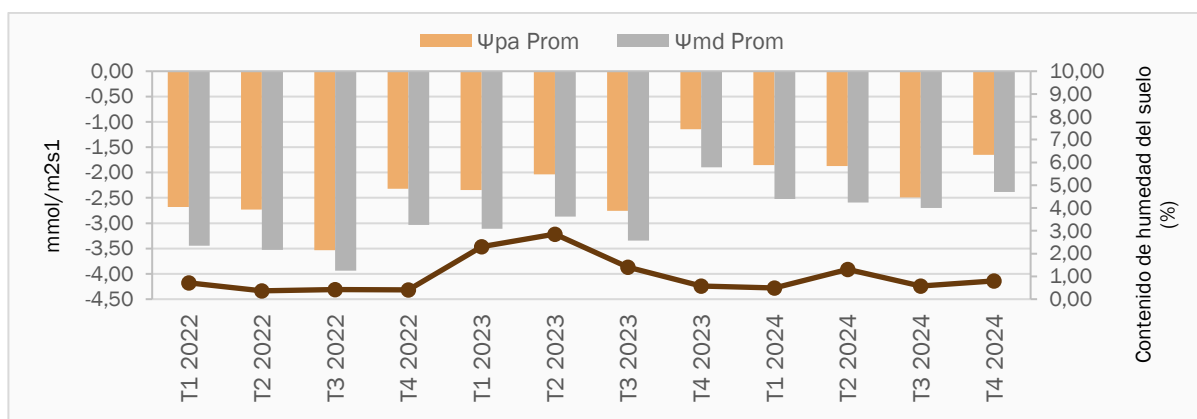
A su vez, el contenido de humedad del suelo (CHS) se muestra variable en el tiempo, pero con un valor considerablemente alto en el segundo trimestre de 2023 (2,86%), que coincide con un previo periodo de altas precipitaciones en el salar de Atacama (Figura 6-45). Indicando que los eventos de precipitaciones 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 6-43. Conductancia estomática y Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024



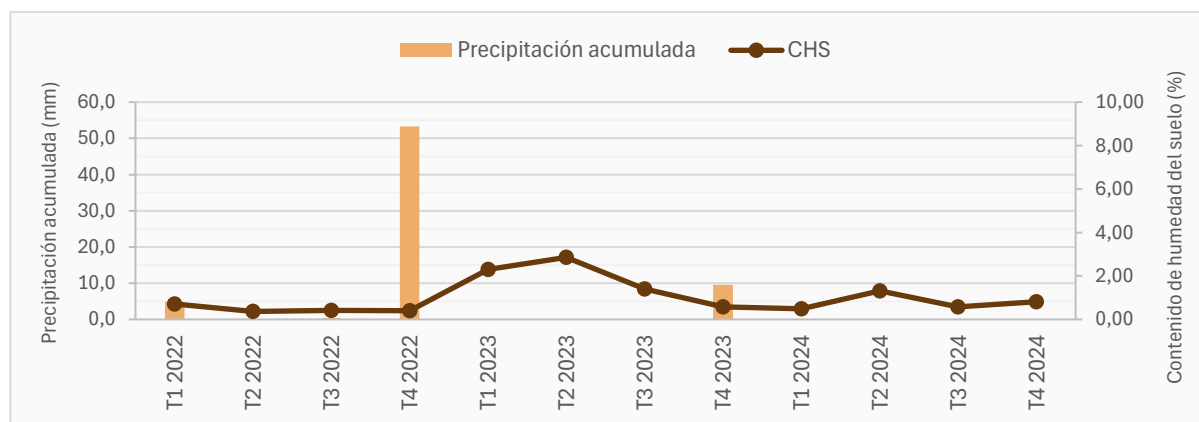
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-44. Potencial hídrico promedio en pre-alba (Ψ_{pa}) y medio día (Ψ_{md}), y su relación con el Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-45. Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre y precipitaciones acumuladas, en el periodo 2022 - 2024

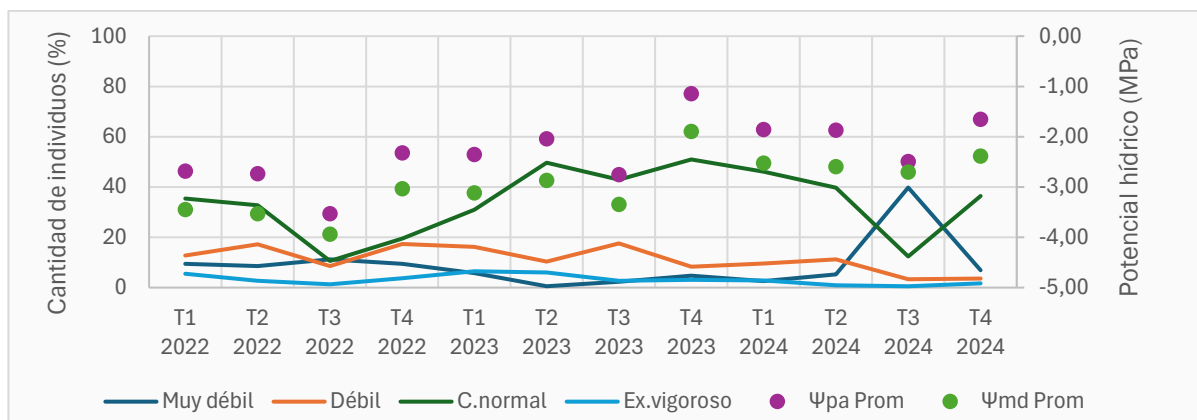


Fuente: Elaboración propia

Respecto a la clasificación del vigor de los individuos (Figura 6-46, Figura 6-47, Figura 6-46 y Figura 6-48), se aprecia que a través de los monitoreos la categoría de Crecimiento normal aumenta considerablemente en 2023 y primer semestre de 2024, respecto de los valores registrados en 2022. Alcanzando un máximo de 50,96% de individuos el último trimestre de 2023. Lo anterior concuerda con el periodo en que debido a eventos de precipitaciones aumentó considerablemente CHS (Figura 6-48), el cual posteriormente fue decreciendo en los trimestres siguientes. Por su parte, los individuos muy débiles muestran cierta variabilidad, pero sin un incremento o decremento pronunciado. Los ejemplares débiles presentan una tendencia a la baja, lo que podría indicar una transición hacia estados de mejor vigor. Mientras que la categoría Ex. vigoroso se mantiene relativamente baja pero estable durante todo el periodo analizado, siendo el 2023 el año que presenta una mayor proporción de individuos en esta categoría. Estos resultados, en especial los relacionados a la predominancia y estabilidad de la categoría Crecimiento normal y la disminución general de las categorías Débil y Muy débil, 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.

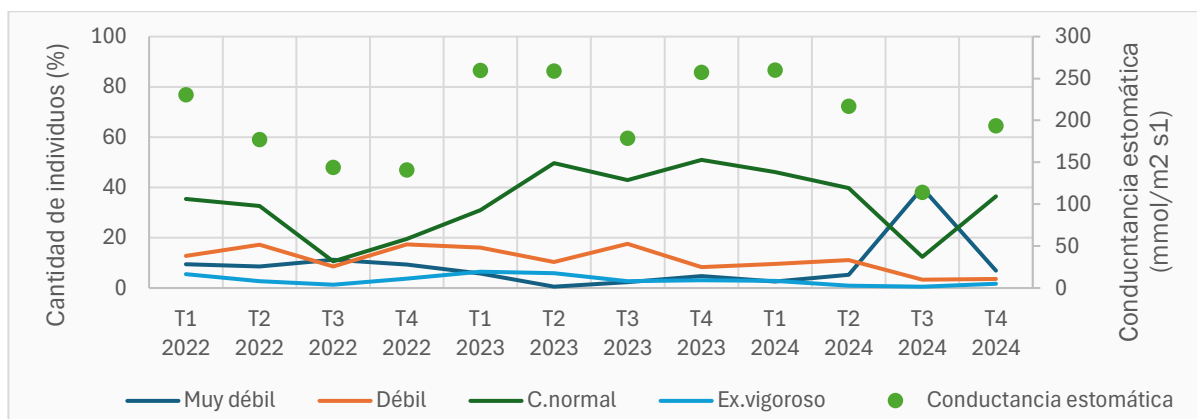
Al relacionar estos resultados con otras variables, se observa que en los periodos donde el potencial hídrico en pre-alba y mediodía son menos negativos, la conductancia estomática aumenta. Esto indica que, a medida que disminuye el estrés hídrico en los individuos, son capaces de mejorar su tasa fotosintética, logrando generar un mayor crecimiento vegetativo que se verá reflejado en un mayor vigor (Figura 6-46 y Figura 6-47).

Figura 6-46. Potencial hídrico promedio en pre-alba (Ψ_{pa}) y medio día (Ψ_{md}), y su relación con el vigor de los algarrobos por trimestre, en el periodo 2022 - 2024



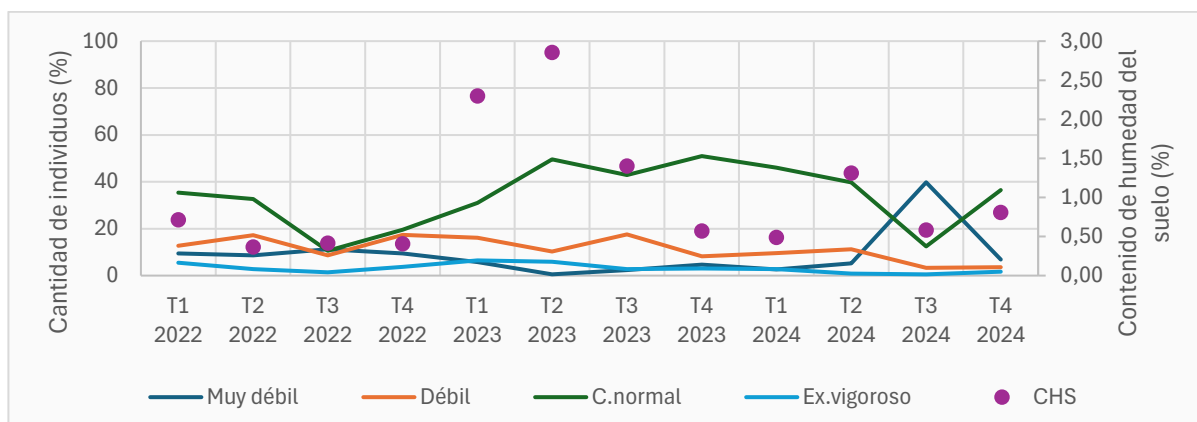
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-47. Conductancia estomática (g_s) y su relación con el vigor de los algarrobos por trimestre, en el periodo 2022 - 2024



Fuente: Elaboración propia

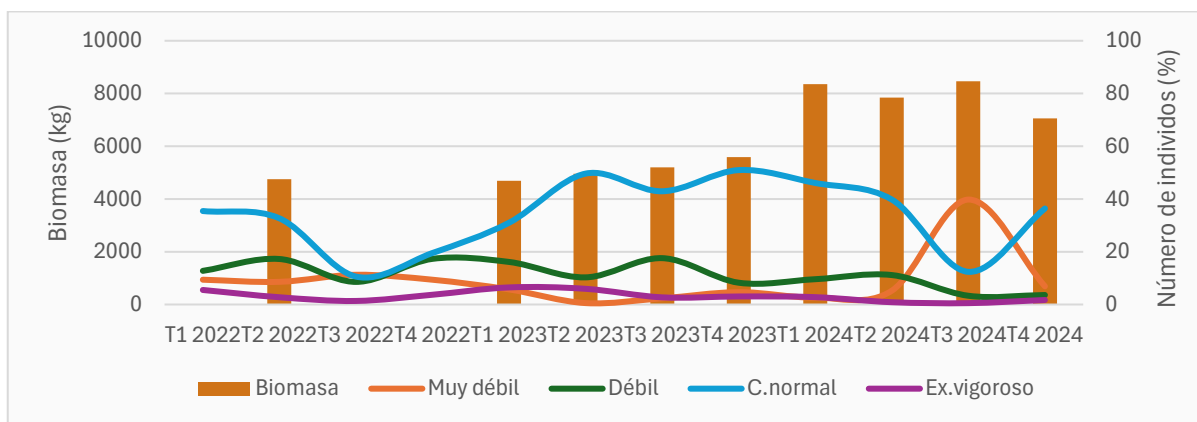
Figura 6-48. Vitalidad de los Algarrobos y su relación con el Contenido de humedad del suelo (CHS) por trimestre, en el periodo 2022 - 2024



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 la cantidad de individuos con Crecimiento normal aumenta. 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 rama, respecto del que almacenan las hojas. Durante el periodo estudiado, la biomasa paso de 4.756,79 kg en el segundo trimestre de 2022 a un máximo de 8.458,82 kg en tercer trimestre de 2024, finalizando con 7.056,74 kg en el cuarto trimestres de 2024.

Figura 6-49. 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

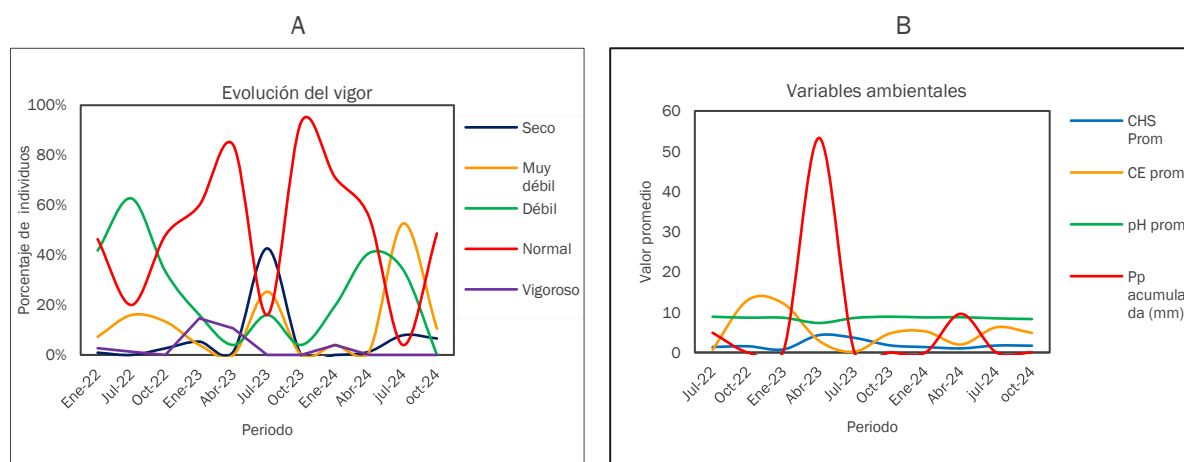
con los resultados de las mediciones de pH, conductividad eléctrica y contenido de humedad del suelo, así como también, con datos de precipitaciones.

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 6-50 A), el cual parece estar relacionado con un incremento en las precipitaciones acumuladas, así como también, con un mayor contenido de humedad del suelo (Figura 6-50 B).

En contraste, se destaca la baja significativa del vigor en julio del año 2023 (Figura 6-50 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 6-50. 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).

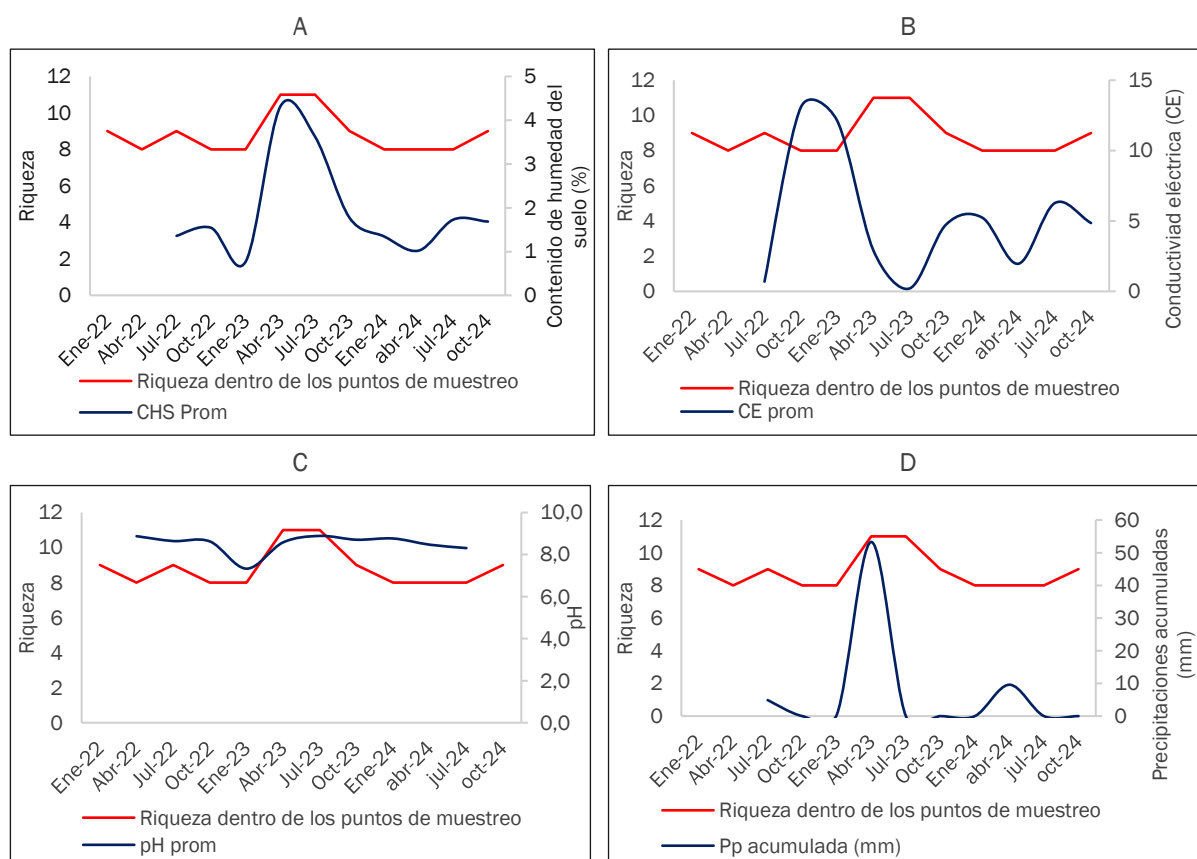
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la riqueza de especies en la quebrada de Camar, se observa que varía entre 8, 9 y 11 taxas (Figura 6-51). La mayor riqueza está asociada a valores más altos de CHS (Figura 6-51 A) y a valores más bajos de conductividad eléctrica ($\leq 0,7$ CE) (Figura 6-51 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 6-51 D).

El pH por su lado, disminuye ligeramente, sin embargo, este se mantiene relativamente estable con respecto a los niveles históricos (entre 8,3 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 6-51 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 6-51. 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 segundo semestre de 2024, se concluye lo siguiente:

Respecto a la vitalidad de los individuos censados, se observa que en la serie A, B y E el Crecimiento normal destaca como el estado de vigor predominante de los individuos con algún grado de vitalidad. Mientras que en las series C y D predominan los individuos en estado Muy débil al comienzo del semestre, y el Crecimiento normal a finales de este (octubre a diciembre). A nivel histórico, en todas las series esta categoría se mantiene con valores altos, los que se acentúan durante los meses más cálidos y húmedos (primavera y verano). La serie E destaca por tener máximos importantes en noviembre de 2023 (82,19%) y abril de 2024 (82,78%).

Respecto a la representación de la categoría Ex. vigoroso, en el segundo semestre se observan valores bajos en todas las series, a excepción de la serie B que presentó un promedio de 13,89% de individuos en esta categoría. A su vez es posible identificar una tendencia a aumentar los individuos en este estado hacia el final del año. Por su parte, las categorías Muy débil y Débil tienden a disminuir hacia el final del segundo semestre en todas las series, particularmente en respuesta a condiciones ambientales más favorables. Es importante considerar que, a pesar de las mejoras en la vitalidad, un porcentaje importante de individuos permanece en estado Seco, siendo el estado predominante en las series A, C y D con un promedio semestral de 55,56%, 57,93% y 36,94% respectivamente.

Respecto al porcentaje de copa viva, las categorías de mayor proporción 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. Por otra parte, en las categorías intermedias (5-25% y 25-50%) se observa una redistribución del follaje en respuesta a las condiciones ambientales, presentado aumentos en los momentos de transición entre periodos desfavorables (otoño e invierno) a otros más favorables (primavera y verano). Respecto a las categorías más bajas, un alto porcentaje se encuentra sin copa viva, principalmente representados por aquellos individuos que llevan varios meses secos, sin embargo, hay una proporción de individuos en categoría 0% que aumentan o disminuyen en proporción dependiendo de las condiciones ambientales, tendiendo a disminuir cuando estas mejoran, al igual que la categoría <5%. Estos resultados sugieren que la variabilidad en la copa viva puede estar influenciada por condiciones climáticas particulares, como temperatura, humedad ambiental o intensidad de las lluvias estivales.

Desde el punto de vista fenológico, en las series A, B y E durante la primera parte del semestre se presentan únicamente individuos en categoría Senescente y Crecimiento vegetativo. Sin embargo, desde octubre se comienzan a identificar los primeros individuos en estado de Floración, lo que da lugar a la aparición de individuos con frutos en noviembre y en mayor proporción en diciembre. Este comportamiento está estrechamente relacionado a la llegada de la primavera e inicios del verano, y representa el comportamiento histórico que se ha presentado en dichas series a lo largo del todo el periodo analizado. Por otra parte, los árboles de las series C y D, al tratarse de individuos mayoritariamente juveniles, de baja altura y fuertemente afectados por herbivoría, no han alcanzado la madurez reproductiva, por lo tanto, no han llegado a desarrollar flores ni frutos. Por ello, las variaciones se presentan únicamente entre el estado de Crecimiento vegetativo y la senescencia. En ambas series se presenta una tendencia a aumentar el Crecimiento vegetativo hacia el final

del semestre, nuevamente concordando con la llegada de la época favorable. Cabe destacar que en las series A, C y D, se presenta un alto porcentaje de individuos en estado Senescente.

El monitoreo del segundo semestre de 2024 reafirma la composición etaria de las series estudiadas, destacando la predominancia de individuos en etapa adulta 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 por parte de burros silvestres. Lo anterior ha determinado que los individuos desarrollen crecimiento vegetativo, pero sin alcanzar un desarrollo reproductivo. La estabilidad observada respecto a los monitoreos anteriores 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, en el segundo semestre se ha constatado que en todas las series se presenta este tipo de daño, con una predominancia en las series A, B y E, que presentan un mayor desarrollo de copa viva. Por otra parte, es posible identificar una tendencia a disminuir en el tiempo el número de individuos afectados. Particularmente, entre septiembre y octubre de 2024 se produjo un descenso marcado en los individuos con ramoneo.

Respecto a la afectación antrópica en el segundo semestre, en 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. Por otra parte, en las series B, C y D se presenta este tipo de daño de manera escasa en algunos meses particulares, sin presentar relaciones entre sí. Finalmente, en la serie A no se identificó este tipo de daño en todo el semestre.

A nivel general se han presentado mejorías en las variables analizadas, las cuales pueden ser explicadas por las fluctuaciones ambientales propias de cada periodo estacional, así como por las condiciones particulares de cada año (como, por ejemplo, la cantidad de lluvias anuales). Los resultados de los monitoreos muestran que, series como la B y E mantienen un estado relativamente saludable, mientras que otras series como la A, C y D registran un alto porcentaje de individuos secos o muy débiles, lo que podría ser una respuesta a las condiciones de extrema aridez del desierto, del impacto acumulado de los daños ocasionados por el ramoneo, las actividades humanas no reguladas, el cambio climático y la senescencia vegetal.

Respecto de los ejemplares que cuentan con riego, se observa un aumento de los individuos en estado Seco entre septiembre y octubre de 2024. Aumento que se debió a una serie de individuos que desde hace varios meses se encontraban en categoría Muy débil, y en el monitoreo de octubre cumplieron con las características para ser registrados como secos. En cuanto al porcentaje de copa viva, las categorías <5% y 5-25% disminuyen su participación a lo largo del semestre, mientras que la categoría 75-100% toma predominancia en la segunda mitad del semestre. Lo anterior es concordante con los cambios esperados en un periodo de transición entre el periodo de receso vegetativo y el periodo favorable de primavera.

Respecto al estado de los elementos asociados al sistema de riego, se constata que el principal desperfecto en sus mecanismos corresponde a filtraciones en las cañerías y líneas de riego. La detección de estas averías, mediante las revisiones semanales o bisemanales, ha sido de ayuda para una pronta reparación de los componentes dañados.

7.1.1 Fisiología de algarrobos

Considerando los resultados de potencial hídrico en julio y octubre de 2024, se evidencia que, en julio, no se encontraron diferencias significativas en pre-alba y al mediodía, al comparar los algarrobos de la serie A con los de las series B y C. Por su parte, en el mes de octubre se presentan diferencias estadísticamente significativas al comparar los algarrobos de la serie A, respecto a las series B y C. Lo anterior, expresado en un mejor estado hídrico, al presentar un mayor potencial hídrico en pre alba y al mediodía. En cuanto a la conductancia estomática, esta aumenta significativamente en el periodo de octubre en relación a julio, probablemente debido a la llegada de la primavera.

En los monitoreos de julio y octubre no se observaron diferencias significativas de potencial hídrico en los algarrobos en relación con su ubicación respecto de la tubería. Mientras que, respecto a la conductancia estomática, en ambos periodos se identificaron valores mayores aguas abajo en comparación con los registrado aguas arriba, pero estas diferencias solo son significativas en el mes de julio.

En relación con los algarrobos regados, en el mes de julio y con un nivel de confianza del 90%, se detectan diferencias significativas en comparación con los algarrobos no regados, particularmente en el potencial hídrico al mediodía y en la conductancia estomática. En octubre, con un nivel de confianza del 95%, se encontraron diferencias significativas en el potencial hídrico en pre-alba y al mediodía. 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 observa 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, siendo en julio cuando se presentan los valores más bajos en todas las variables. 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 respecto que la serie B, en la mayoría de las evaluaciones realizadas desde enero de 2023 hasta la actualidad.

7.1.2 Biomasa de algarrobos

La biomasa aérea total de la población a octubre de 2024 alcanza los 7.056,74 kg, donde los individuos vivos concentran la mayor proporción (95,4%), acumulándose, en cinco árboles de grandes dimensiones (>58 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 (83,5%), el fuste (13,4%) y las hojas (3,1%).

Si bien las variables medidas presentan una tendencia a disminuir, las diferencias obtenidas para el último monitoreo del 2024 (octubre), en general no superan el 35% entre medición, lo cual se encuentran dentro de la variabilidad reportada en mediciones anteriores, siendo en su mayoría una acumulación de cambios marginales (<10% entre mediciones), que pueden encontrarse dentro de los errores instrumentales propios de la prospección. La acumulación de mediciones trimestrales y los análisis estadísticos permitirán determinar tendencias temporales más precisas, con respecto al crecimiento de la población.

7.2 Caracterización de la flora y vegetación

7.2.1 Vegetación

El análisis de la superficie vegetal en la Quebrada de Camar entre julio y octubre 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 fue de 4.044,04 ha. Se observó ligero cambio en las superficies de matorral y pradera.

Las zonas de vegetación escasa, con una cobertura vegetal menor al 5%, cubren la mayor parte de la quebrada, manteniéndose constantes con una ocupación sobre al 88,59% (3.582,49 ha).

En cuanto a la vitalidad, la comparación entre los meses de julio y octubre de 2024 revela una tendencia hacia el aumento de las categorías de mejor vigor en los polígonos monitoreados. El aumento en la categoría de vitalidad normal, junto con la disminución en las categorías de crecimiento Muy débil, sugiere un aumento general de las condiciones vegetativas a medida que avanza la primavera. Estos cambios pueden estar relacionados con la finalización del invierno. La ligera reducción en los registros de vitalidad Débil y la categoría seca refuerzan la idea del comienzo de la actividad fotosintética y por lo tanto su aumento el vigor de la vegetación propio del periodo primaveral en las unidades vegetales visitadas.

En cuanto al porcentaje de copa viva, en el segundo semestre de 2024, las categorías de 25-50% tuvo un notable aumento en octubre de 2024. Al comparar los dos períodos (julio y octubre), se evidencia un aumento de las unidades con follaje sobre el 5%, y una disminución de las unidades con follaje menor a este valor. Este cambio sugiere que la vegetación en la quebrada está experimentando un aumento en la copa viva conforme avanza la primavera, 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 julio y octubre de 2024 refleja las dinámicas estacionales típicas del avance del invierno hacia la primavera. Durante este periodo, se registró un aumento en las categorías de Floración, acompañada de un ligero aumento en la categoría Senescente. Estos cambios sugieren un ajuste de las plantas a las condiciones estacionales cambiantes, con un aumento de la actividad reproductiva y un mayor énfasis en la Floración, lo que es coherente con el avance de la primavera.

El monitoreo realizado durante el segundo semestre de 2024 en la quebrada de Camar revela una afectación relativamente baja por intervención antrópica, sin embargo, tuvo un aumento en la presencia de huellas vehiculares, caminos y basura en los polígonos evaluados entre julio y octubre, además de que se detectó un nuevo tipo de intervención antrópica que se asignó en la categoría de “Otros” (Corta). A pesar de este incremento, la mayoría de las unidades vegetacionales (71,05% en octubre) 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, disminuyó en el período estudiado en un 29,74%.

7.2.2 Flora

De acuerdo con la flora vascular presente en la quebrada de Camar, se registran 26 taxa agrupados en 13 familias distintas hasta octubre 2024. Durante el segundo semestre del 2024 se registraron 11 taxa en ambos períodos, julio y octubre. 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 julio, el 70,00% de las especies eran arbustivas, mientras que, en octubre, este porcentaje disminuyó al 63,64% por el registro de *Adesmia rahmeri*. Las especies arbóreas corresponden a *Neltuma alba* y *Strombocarpa tamarugo*.

Con respecto a la abundancia, al igual que en el primer semestre del 2024, 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 periodo anterior (primer semestre 2024) son *Atriplex imbricata* y *Distichlis spicata*. *Aloysia deserticola* tuvo una representación de 1,13% en octubre, mientras que en julio fue inferior al 1% (0,68%).

7.3 Parámetros del suelo

7.3.1 Monitoreo mensual de CHS

Con relación al contenido de humedad del suelo, los monitoreos del segundo semestre de 2024 muestran una escasa variación, con valores promedios que oscilan entre 0,39% y 0,88%. En general, se observa una leve tendencia a aumentar el CHS promedio a medida que avanzan los meses, situación contraria a la registrada en el segundo semestre de 2023 donde se registró un descenso constante hacia final de año. Lo anterior guardaría relación con la magnitud de las precipitaciones que se registraron en el año 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 en altos porcentajes el número de individuos en categoría Crecimiento normal entre aquellos que cuentan con este sistema. Sin embargo, no se ha podido establecer una relación clara entre el CHS y el número de individuos con Crecimiento normal, lo que sugiere que esta variable podría estar más influenciada por 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 y 2024 respecto al reportado en el 2022.

7.3.2 Monitoreo trimestral de CHS, pH y CE

La variación del contenido de Humedad del Suelo (CHS) parece estar influenciada por las condiciones estacionales, en particular con las precipitaciones, 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.

Así mismo, se observa que durante el primer semestre de 2024 el CHS disminuyó a un 27,91% entre julio y octubre. Esta disminución podría estar asociada con una mayor disponibilidad de agua retenida en el suelo en julio, debido a las precipitaciones registradas en los meses anteriores (febrero, marzo y abril), las que presentan un acumulado de 9,6 mm en dicho trimestre. A octubre de 2024, no han vuelto a ocurrir precipitaciones, por lo que es esperable que el CHS se mantuviese en descenso.

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 julio como en octubre, los suelos son predominantemente alcalinos. La mayoría de los puntos se clasifican como fuertemente alcalinos, mientras que el resto se distribuyen entre moderadamente alcalinos, muy fuertemente alcalinos, ligeramente alcalinos, y en menor medida, neutros.

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 segundo 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, moderadamente salinos, muy ligeramente salinos y ligeramente salinos. En el cono aluvial predominan los suelos no salinos, mientras que, en el borde este predominan los suelos fuertemente salinos.

Considerando 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 de 2023, que posee los valores máximos de precipitación registrados en los monitoreos desde julio de 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 del semestre (17,84 dS/m en julio y 13,46 dS/m en octubre), mientras que el matorral de *Tiquilia atacamensis* muestra los valores más bajos (0,11 dS/M en julio y 0,09 dS/m en octubre). 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.

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.
- GEOBIOTA. 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.
- 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.
- Casanova, M., Seguel, O., Salazar, O y Luzio, W, 2013. The Soils of Chile. doi: 10.1007/978-94-007-5949-7.
- 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.
- 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.
- Gajardo, 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial universitaria. 165 p.
- Garzuglia, M. y M. Saket. 2003. Wood volume and woody biomass. *Food and Agricultural Organization of the United Nations*. Roma 13
- Gutiérrez, Jr (2008). El desierto florido de la región de atacama. *Libro rojo de la flora nativa y de los Sitios Prioritarios para su conservación: Región de atacama*, 15.
- Holmgren, C.A., J.R., Betancourt, K.A., Rylander, J. Roque, O. Toval, H. Zeballos, E. Linares y J. Quade. (2001). Holocene vegetation history from fossil rodent middens near Arequipa, Peru. *Quaternary Research* 56(2): 242-251.
- INTAGRI, 2018. Disponibilidad de Nutrientos 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.

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.

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.

Parresol, B. R. 2001. 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.

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>.

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.

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. Díaz y Wright, 1965.

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