

Informe Anual: Contenido de Humedad de Suelo 2025

PSAB Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama

Región de Antofagasta

**GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE
NOVA ANDINO LITIO SpA
Mayo 2026**

Informe anual de contenido de humedad del suelo 2025

PSAB Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama

Área de Análisis de Gestión de la Información Ambiental		
Elaborado	Revisado	Aprueba
Evelin Quilarque	Anaysa Elgueta Ismael Aracena Martín Vatter Antonio Mamani	Ismael Aracena
Fecha: 30/04/2025	Fecha: 19/05/2025	Fecha: 25/05/2025

Tabla de contenidos

Resumen.....	1
1 Introducción.....	2
2 Objetivos	3
3 Materiales y métodos.....	4
3.1 Descripción del área de estudio	4
3.2 Ubicación de los puntos de muestreo.....	5
3.3 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales ..	6
3.4 Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	7
3.4.1 Análisis de laboratorio.....	7
3.4.2 Método utilizado por ETF (ALS Life Sciences Chile).....	7
3.4.3 Método utilizado por el Laboratorio Metalúrgico de Nova Andino Litio SpA	8
3.5 Profundidad de la napa subterránea	9
3.6 Evaluación de la vitalidad de la vegetación	10
3.7 Relación entre las variables monitoreadas	13
3.8 Materiales implementados en monitoreo de contenido de humedad gravimétrico del suelo, profundidad de la napa subterránea y vitalidad de la vegetación	13
3.9 Fechas de muestreo, medición análisis y control de cada parámetro.....	14
3.10 Incertidumbres asociadas a la ejecución de las metodologías en terreno	14
3.10.1 Contenido de humedad gravimétrico del suelo	15
3.10.2 Profundidad de la napa subterránea.....	15
3.10.3 Estado vital de la vegetación	15
4 Resultados	16
4.1 Contenido de humedad de suelo	16
4.1.1 Laboratorio ALS Life Sciences Chile (ETF)	16
4.1.2 Laboratorio Metalúrgico Nova andino Litio.....	17
4.1.3 Relación de los valores reportados entre los laboratorios.....	19
4.2 Profundidad de la napa freática.....	20
4.3 Relación Contenido de humedad y profundidad de la napa freática.....	22
4.3.1 Laboratorio ALS Life Sciences Chile.....	22
4.3.2 Laboratorio Metalúrgico Nova Andino Litio.....	23
4.4 Estado vital de la vegetación.....	24

4.4.1	Fenología de la vegetación	25
4.4.2	Porcentaje de copa viva	30
4.4.3	Vitalidad	35
5	Discusión.....	40
5.1	Variación de la profundidad de la napa en el tiempo	56
5.2	Comportamiento histórico de la napa subterránea y la humedad de suelo (2007-2025)	67
5.3	Variación interanual de la vegetación	69
5.3.1	Antecedentes relevantes en la adquisición de datos en terreno	69
5.3.2	Análisis general de la vitalidad.....	69
5.3.3	Análisis por especie	70
5.4	Relación de la vitalidad de la vegetación y el contenido de humedad	93
5.4.1	Análisis satelital y dinámica espacial de la vegetación	98
6	Conclusiones	101
7	Bibliografía.....	102

Índice de Tablas

Tabla 1-1 Variables monitoreadas, frecuencia de medición y periodicidad de informes. PSA del Salar de Atacama (RCA N°226/2006).	2
Tabla 3-1. Coordenadas de los vértices del área de estudio, Borde Este del Salar de Atacama (UTM Datum WGS84 Huso 19S).....	4
Tabla 3-2. Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, nivel napa y estado vital de la vegetación. Corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006, numeral 10.3.1.1. Coordenadas (UTM Datum WGS84 Huso 19S)	5
Tabla 3-3. Componente, subcomponente, variable y parámetros considerados en el monitoreo biológico del Borde Este del Salar de Atacama, conforme a RCA N°226/2006.....	6
Tabla 3-4. Profundidad del estrato radicular por parcela de monitoreo	7
Tabla 3-5. Fases fenológicas evaluadas durante el monitoreo.....	11
Tabla 3-6. Categorías del porcentaje de copa viva	11
Tabla 3-7. Categorías de vitalidad.....	11
Tabla 3-8. Materiales utilizados para medir contenido el de humedad de suelo, profundidad de la napa subterránea y vitalidad de la vegetación.....	13
Tabla 3-9. Fechas de muestreo y actividades realizadas por parámetro ambiental durante 2025	14
Tabla 4-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por ALS (ETFA) en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas 2025. Los pozos están ordenados de oeste (L7-7) a este (L4-3).....	16
Tabla 4-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por el Laboratorio Metalúrgico Nova Andino Litio en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2025	18
Tabla 4-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2025	21
Tabla 4-4. Principales especies de flora monitoreadas durante la campaña 2025	24
Tabla 4-5. Resumen de individuos por categoría de fenología.....	25
Tabla 4-6. Número y proporción de individuos por clase de copa viva	31
Tabla 4-7. Resumen de individuos por categoría de vitalidad.....	36
Tabla 5-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de Novandino Litio. Mes de enero, período 2007–2025	42
Tabla 5-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de Novandino Litio. Mes de abril, período 2007 – 2025	43
Tabla 5-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de Novandino Litio. Mes de julio, período 2007 – 2025	44
Tabla 5-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de Novandino Litio. Mes de octubre, período 2007 – 2025.....	45

Tabla 5-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de Novandino Litio. Promedio anual, período 2007-2025	46
Tabla 5-6. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017), Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022) y ALS Life Sciences Chile (2024). Enero 2025	47
Tabla 5-7. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017), Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022) y ALS Life Sciences Chile (2024). Abril 2025	48
Tabla 5-8. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017) Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022) y ALS Life Sciences Chile (2023). Julio 2025	49
Tabla 5-9. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017), Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022) y ALS Life Sciences Chile (2023). Octubre 2025.....	50
Tabla 5-10. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA SGS (2016-2017), Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022) y ALS Life Sciences Chile (2023). Promedio anual, período 2016 – 2025	51
Tabla 5-11. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de enero durante el periodo 2007 a 2025	58
Tabla 5-12. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de abril durante el periodo 2007 a 2025	59
Tabla 5-13. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2025	60
Tabla 5-14. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2025.....	61
Tabla 5-15. Profundidad promedio anual (m) de la napa por pozo de monitoreo durante el período 2007 a 2025	62
Tabla 5-16. Coeficientes de correlación de Pearson (r) y valores de p entre CHS y profundidad de la napa freática para cada pozo monitoreado (2007–2025)	68
Tabla 5-17. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (g/g) por categoría de vitalidad para el 2025.....	93
Tabla 5-18. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (g/g) por categoría de vitalidad para el periodo 2007-2023.....	94
Tabla 5-19. Resumen de la variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad de 2025	96

Índice de Figuras

Figura 3.1 Ubicación de los pozos, parcelas de monitoreo de contenido gravimétrico de CHS y vegetación.....	6
Figura 3.2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo.....	9
Figura 3.3. Esquema del proceso de medición en un pozo	10
Figura 3.4. Medición del estado vital de la vegetación (a=individuo monitoreado, b=copa viva).....	12
Figura 4.1.Variación promedio anual del contenido de humedad gravimétrico del suelo, según ALS Life Sciences Chile, para el año 2025	17
Figura 4.2.Variación promedio anual del contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar, para el año 2025	19
Figura 4.3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrico obtenido por el Laboratorio Metalúrgico Nova Andino Litio y Laboratorio ALS Life Sciences Chile para el año 2025.....	20
Figura 4.4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2025	22
Figura 4.5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por ALS Life Sciences Chile y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2025	23
Figura 4.6. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Nova Andino Litio y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2025	24
Figura 4.7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas 2025.....	26
Figura 4.8. Fenología de los individuos de Atriplex atacamensis monitoreados en las campañas 2025	27
Figura 4.9. Fenología de los individuos de Distichlis spicata monitoreados en las campañas 2025	28
Figura 4.10. Fenología de los individuos de Nitrophila atacamensis monitoreados en las campañas 2025.....	29
Figura 4.11. Fenología de los individuos de Tessaria absinthioides monitoreados en las campañas de 2025.....	30
Figura 4.12. Porcentaje de copa viva de los individuos monitoreados en 2025	31
Figura 4.13. Porcentaje de copa viva de los individuos de Atriplex atacamensis monitoreados en las campañas 2025	32
Figura 4.14. Porcentaje de copa viva de los individuos de Distichlis spicata monitoreados en las campañas de 2025	33
Figura 4.15. Porcentaje de copa viva de los individuos de Nitrophila atacamensis monitoreados en las campañas 2025	34
Figura 4.16. Porcentaje de copa viva de los individuos de Tessaria absinthioides monitoreados en las campañas de 2025	35
Figura 4.17. Vitalidad de los individuos monitoreados en las campañas de 2025.....	36
Figura 4.18. Vitalidad de los individuos de Atriplex atacamensis monitoreados en la campaña 2025	37
Figura 4.19. Vitalidad de los individuos de Distichlis spicata monitoreados en las campañas de 2025.....	38

Figura 4.20. Vitalidad de los individuos de <i>Nitrophila atacamensis</i> monitoreados en las campañas de 2025	39
Figura 4.21 Vitalidad de los individuos de <i>Tessaria absinthioides</i> monitoreados en las campañas de 2025	39
Figura 5.1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2025	41
Figura 5.2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2025	53
Figura 5.3. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2025	54
Figura 5.4. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2025	55
Figura 5.5. Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2025), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados	57
Figura 5.6. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2025	64
Figura 5.7. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2025	65
Figura 5.8. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2025	66
Figura 5.9 Relación entre la concentración de CHS y la profundidad de la napa en distintos pozos de monitoreo durante las campañas 2007-2025	68
Figura 5.10. Variación del número de individuos por categoría de vitalidad, según trimestre de monitoreo desde el año 2007 a 2025	70
Figura 5.11. <i>Atriplex atacamensis</i> : Número de individuos por categoría de fenología, campañas 2007 a 2025	73
Figura 5.12. <i>Atriplex atacamensis</i> : Número de individuos por categoría de copa viva, campañas 2007 a 2025	74
Figura 5.13. <i>Atriplex atacamensis</i> : Número de individuos por clase de vitalidad, campañas 2007 a 2025	75
Figura 5.14. <i>Distichlis spicata</i> : Número de individuos por categoría de fenología, campañas 2007 a 2025	78
Figura 5.15. <i>Distichlis spicata</i> : Número de individuos por clase de copa viva, campañas 2007 a 2025	79
Figura 5.16. <i>Distichlis spicata</i> : Número de individuos por categoría de vitalidad, campañas 2007 a 2025	80
Figura 5.17. <i>Nitrophila atacamensis</i> : Número de individuos por categoría de fenología, campañas 2007 a 2025	84
Figura 5.18. <i>Nitrophila atacamensis</i> : Número de por categoría por clase de copa viva, campañas 2007 a 2025	85
Figura 5.19. <i>Nitrophila atacamensis</i> : Número de individuos por categoría de vitalidad, campañas 2007 a 2025	86
Figura 5.20. <i>Tessaria absinthioides</i> : Número de individuos por categoría de fenología, campañas 2007 a 2025	90
Figura 5.21. <i>Tessaria absinthioides</i> : Número de individuos por clase de copa viva, campañas 2007 a 2025	91
Figura 5.22. <i>Tessaria absinthioides</i> : Número de individuos por categoría de vitalidad, campañas 2007 a 2025	92
Figura 5.23. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad 2025	93

Figura 5.24. Relación entre el contenido de humedad del suelo (CHS) y la proporción de individuos por categoría de vigor (periodo 2007-2025)	95
Figura 5.25. Variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad 2025	96
Figura 5.26. Relación entre la profundidad de la napa freática y la proporción de individuos por categoría de vigor (periodo 2007–2025).....	97

Anexos

Anexo 1. Estado vital de la vegetación

Anexo 2. Informe de toma de muestras, análisis CHS y documentos de certificación ETF A ALS Life Sciences Chile S.A.

Anexo 3. Registro de Precipitaciones mensuales del periodo comprendido entre 2007-2025

Anexo 4. Responsables y participantes del seguimiento ambiental

Anexo 5. Resultados del modelo estadístico

Anexo 6. Registro de la Napa subterránea

Anexo 7. Medio de verificación de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF)

Resumen

El presente informe expone los resultados del monitoreo ambiental realizado durante el año 2025 en el Borde Este del Salar de Atacama, en el marco del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico de Vegetación y Flora del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, aprobado mediante la RCA N°226/2006. El seguimiento tiene por objetivo evaluar posibles variaciones en la vegetación asociadas a la extracción de agua subterránea, mediante el análisis integrado de tres variables ambientales: contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS), profundidad de la napa freática y estado vital de la vegetación.

El monitoreo se realiza sobre 18 parcelas permanentes asociadas a pozos de observación hidrogeológica, mediante una metodología mantenida de forma consistente desde el año 2007, basada en el seguimiento de individuos vegetales fijos. Este diseño ha permitido construir una serie temporal robusta y evaluar tendencias de largo plazo, aunque también implica limitaciones inherentes a la representatividad de individuos longevos y senescentes.

Durante 2025, el contenido de humedad gravimétrico del suelo mantuvo un patrón espacial consistente con años anteriores, con mayores valores en las parcelas ubicadas en el sector occidental del área de estudio, donde la napa freática se encuentra más próxima a la superficie, y valores persistentemente bajos en las parcelas orientales. La profundidad de la napa freática mostró variaciones interanuales entre pozos, sin superar los rangos históricos observados desde el inicio del monitoreo.

En cuanto a la vegetación, se registró una alta proporción de individuos clasificados en categorías de vitalidad baja (seco, muy débil y débil), especialmente durante los trimestres de otoño e invierno. No obstante, este patrón se interpreta en el contexto de la marcada estacionalidad del sistema y del seguimiento de individuos fijos con más de 16 años de monitoreo. La especie *Tessaria absinthioides*, dominante en número de ejemplares, presentó una fenología conservativa y una alta frecuencia de estados senescentes, lo que influye significativamente en los indicadores agregados. En contraste, *Atriplex atacamensis*, *Distichlis spicata* y *Nitrophila atacamensis* mostraron respuestas diferenciadas, con episodios de actividad vegetativa y recuperación asociados a condiciones estacionales más favorables.

El análisis estadístico multivariado indica la existencia de asociaciones significativas entre el contenido de humedad del suelo y la distribución de las categorías de vitalidad vegetal, particularmente en las categorías de crecimiento normal y seco. En cambio, la profundidad de la napa freática presenta una relación menos consistente con el estado vital, lo que refuerza que la vitalidad vegetal responde a la interacción de múltiples factores, incluyendo la humedad edáfica superficial, las características del suelo, la estacionalidad climática y las estrategias funcionales de cada especie.

En conjunto, los resultados del monitoreo 2025 son coherentes con las tendencias observadas desde 2007 y refuerzan la interpretación de una dinámica vegetal estable a escala de sistema, modulada por la variabilidad ambiental natural y por el diseño histórico del seguimiento. Se destaca la importancia de interpretar los indicadores de vitalidad en este marco integrado y considerar, a futuro, ajustes metodológicos que permitan mejorar la sensibilidad del monitoreo frente a procesos de reclutamiento y regeneración vegetal.

1 Introducción

El presente informe forma parte del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico de Vegetación y Flora del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, aprobado mediante Resolución Exenta N°226/2006, específicamente en su numeral 10.3.1. Dicho plan tiene como propósito evaluar los posibles efectos ambientales derivados de la operación minera, con énfasis en las extracciones de agua subterránea desde los pozos Mulla-1, Allana-1 y Camar-2 ¹.

El monitoreo se focaliza en tres variables ambientales clave: el contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS), la profundidad de la napa freática y el estado vital de la vegetación. Estas variables se evalúan sistemáticamente en 18 parcelas permanentes ubicadas en el Borde Este del Salar de Atacama, área que representa la zona de influencia directa de los pozos de extracción.

Desde el año 2008, se han desarrollado campañas de monitoreo trimestrales que permiten caracterizar la dinámica espacio-temporal de dichas variables (Tabla 1-1), aportando una base robusta para el análisis de tendencias y variabilidad interanual. El presente documento corresponde al décimo séptimo Informe Anual Operacional, consolidando los resultados obtenidos durante las cuatro campañas realizadas en enero, abril, julio y octubre del año 2025.

La zona de estudio se encuentra en un ecosistema frágil y de alta relevancia ecológica, abarcando sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos, como Soncor y Aguas de Quelana, los cuales albergan vegetación nativa adaptada a condiciones ambientales extremas. Por ello, el monitoreo adquiere un valor estratégico para la gestión sostenible del recurso hídrico y la conservación de la flora del salar.

Este informe tiene como objetivo entregar una evaluación técnica integral del comportamiento de las variables monitoreadas durante el año 2025, integrando análisis estadísticos comparativos con las tendencias históricas del período 2008–2025. Además, se profundiza en la comprensión de las interacciones entre el CHS, la napa freática y la vitalidad de la vegetación, incorporando modelos estadísticos multivariados que fortalecen la interpretación ecológica y permiten detectar patrones relevantes para la toma de decisiones ambientales.

Tabla 1-1 *Variables monitoreadas, frecuencia de medición y periodicidad de informes. PSA del Salar de Atacama (RCA N°226/2006).*

Componente	Subcomponente	Variable	Frecuencia de medición	Frecuencia de reportes	Entidad responsable
Biota terrestre	Suelo	Contenido de humedad del suelo	Trimestral	Anual	Novandino Litio / ETFA
Biota terrestre	Vegetación	Estado vital y sanitario	4 mediciones al año	Anual	Novandino Litio
Hídrico	Agua subterránea	Nivel freático	Diario/Mensual*	Anual	Novandino Litio / ETFA

(*) El nivel de la napa subterránea es medido con una frecuencia mensual en el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico. Para efectos del presente informe sólo se utiliza la información de los meses de enero, abril, julio y octubre. Fuente: RCA N°226/2006. El Programa de Cumplimiento (PdC) establece que para los pozos que son parte del Plan de Contingencias (PC) la frecuencia de medición es diaria.

Fuente: elaboración propia

¹ El pozo Camar-2 dejó de operar el año 2018 y fue desmantelado en junio 2021

2 Objetivos

La RCA N°226/2006, numeral 10.3.1 indica que *“La medición del contenido de humedad del suelo tiene por objeto detectar eventuales cambios en dicha variable relacionados con un potencial descenso del nivel freático ocasionado por la extracción de agua dulce de los pozos Mullay-1, Allana-1 y Camar-2², que pudieran alterar el desarrollo de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama”*.

En este contexto, el presente informe tiene como objetivo evaluar el comportamiento de la vegetación, el contenido de humedad gravimétrica del suelo y el nivel de la napa freática en el Borde Este del Salar de Atacama durante el año 2025, con el fin de identificar posibles efectos asociados a la operación de los pozos mencionados, en el marco del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico de Vegetación y Flora.

² Pozo inoperativo desde el 2018 e infraestructura desmantelada en el 2021, de acuerdo con lo acordado con la Comunidad Atacameña de Camar

3 Materiales y métodos

3.1 Descripción del área de estudio

El Salar de Atacama se localiza en el sector oriental de la Región de Antofagasta, constituyendo la mayor cuenca salina del país. Este sistema se inserta dentro de una cuenca endorreica caracterizada por condiciones climáticas extremas, y se sitúa a unos 55 km de San Pedro de Atacama y 316 km al noreste de la ciudad de Antofagasta.

La operación de Nova Andino Litio SpA en este territorio contempla la explotación de salmuera desde el núcleo del salar y la extracción de agua subterránea desde el borde oriental, a través de pozos ubicados en la unidad aluvial, para la producción de sales potásicas y concentrados de litio.

El presente monitoreo se enmarca en el Plan de Seguimiento Ambiental Biótico de Vegetación y Flora, asociado a la Resolución de Calificación Ambiental N°226/2006. Este plan considera como área de estudio una franja vegetal continua localizada en el borde este del salar, donde se emplazan 18 parcelas permanentes de monitoreo. En estas se evalúan de forma sistemática tres variables ecológicas: el contenido de humedad del suelo (CHS), la profundidad de la napa freática y el estado vital de la vegetación.

Las coordenadas geográficas que delimitan el polígono de estudio se encuentran detalladas en la Tabla 3-1, mientras que su localización y contexto geográfico se visualizan en Figura 3.1. Esta última también muestra la distribución de los pozos de bombeo y la red de monitoreo implementada.

Cabe destacar que la zona monitoreada se superpone con áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Silvestres del Estado (SNASPE), específicamente en los sectores denominados Soncor y Aguas de Quelana de la Reserva Nacional Los Flamencos (RNLF). Esta superposición refuerza la necesidad de un seguimiento ambiental riguroso, dada la sensibilidad ecológica del ecosistema.

Tabla 3-1. Coordenadas de los vértices del área de estudio, Borde Este del Salar de Atacama (UTM Datum WGS84 Huso 19S)

Vertice	Este	Norte
1	582.785	7.425.844
2	596.493	7.425.844
3	596.493	7.385.584
4	591.391	7.372.190
5	584.430	7.372.190
6	584.437	7.384.442
7	589.784	7.384.440
8	589.789	7.413.543
9	582.785	7.413.543

Fuente: Elaboración propia en base a RCA N°226/2006

3.2 Ubicación de los puntos de muestreo

El monitoreo de las variables ambientales se lleva a cabo en 18 parcelas permanentes, las cuales se mantienen fijas en el tiempo para garantizar la comparabilidad de los resultados. Cada parcela corresponde a una unidad de muestreo de forma circular con un radio de 5 metros, establecida en las proximidades de pozos de observación piezométrica que forman parte del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico, en cumplimiento de lo dispuesto en la RCA N°226/2006.

En estas parcelas se ejecutan tres mediciones principales: el contenido gravimétrico de humedad del suelo, la profundidad de la napa freática y el estado vital de la vegetación. Las coordenadas UTM (Datum WGS84, Huso 19S) de cada sitio de monitoreo se presentan en la Tabla 3-2. La ubicación geoespacial de los puntos ha sido organizada de norte a sur, lo que permite una mejor interpretación espacial en conjunto con la Figura 3.1.

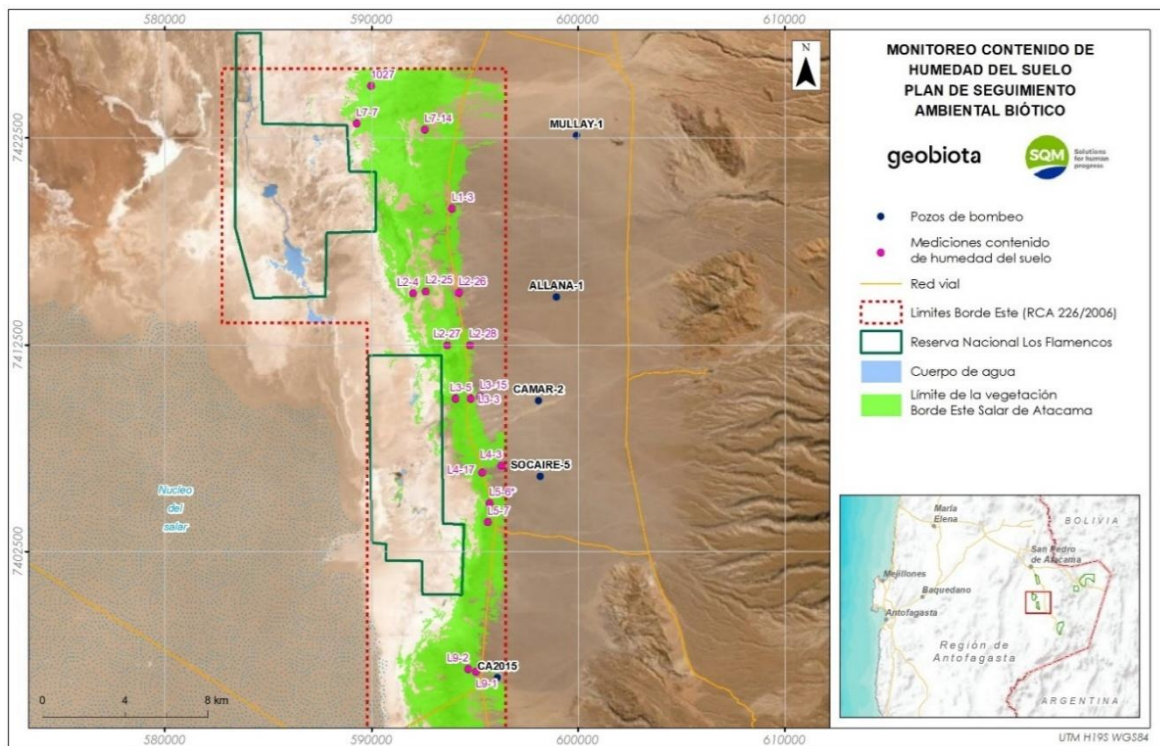
Tabla 3-2. Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, nivel napa y estado vital de la vegetación. Corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006, numeral 10.3.1.1. Coordenadas (UTM Datum WGS84 Huso 19S)

Nº	Pozo	Este	Norte	Vegetación existente
1	1027	589.996	7.425.017	Pradera muy abierta Grama Salada
2	L7-7	589.303	7.423.190	Pradera rala de Grama Salada
3	L7-14	592.600	7.422.900	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
4	L1-3	593.909	7.419.080	Matorral ralo de Cachiyuyo
5	L2-26	594.250	7.415.000	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
6	L2-25	592.645	7.415.077	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
7	L2-4	592.031	7.414.984	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo
8	L2-28	594.770	7.412.480	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo
9	L2-27	593.670	7.412.480	Matorral muy abierto de Brea-Cachiyuyo
10	L3-15	595.270	7.410.000	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
11	L3-5	594.086	7.409.890	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
12	L3-3	594.816	7.409.882	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo
13	L4-3	596.294	7.406.648	Matorral ralo de Rica rica-Pingo pingo
14	L4-17	595.380	7.406.312	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
15	L5-6 ³	595.737	7.404.824	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
16	L5-7	595.653	7.403.910	Matorral semidenso de Brea-Cachiyuyo
17	L9-2	594.684	7.396.800	Matorral muy abierto de Brea-Cachiyuyo
18	L9-1	595.067	7.396.685	Matorral muy abierto de Cachiyuyo

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

³ El pozo L5-6 reemplaza al pozo L4-7, ya que este último se encontraba fuera de la formación vegetacional matorral ralo Brea – Cachiyuyo. La modificación fue informada en el primer informe de monitoreo.

Figura 3.1 Ubicación de los pozos, parcelas de monitoreo de contenido gravimétrico de CHS y vegetación



Fuente: Geobiota, Informe anual de suelo 2023

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

De acuerdo con lo establecido en la RCA N°226/2006, el seguimiento ambiental contempla la medición de una serie de parámetros específicos asociados al componente Biota Terrestre, subcomponente Plantas. Las variables evaluadas corresponden al contenido de humedad gravimétrica del suelo (%), la profundidad de la napa freática (m) y el estado vital de la vegetación.

Este último se caracteriza mediante tres indicadores: vitalidad, porcentaje de copa viva y fenología. La Tabla 3-3 resume la relación entre componente, subcomponente, variable y los parámetros utilizados para su evaluación.

Tabla 3-3. Componente, subcomponente, variable y parámetros considerados en el monitoreo biológico del Borde Este del Salar de Atacama, conforme a RCA N°226/2006

Componente	Subcomponente	Variable	Parámetro
Biota Terrestre	Plantas	Vegetación	Contenido humedad del suelo (CHS) Profundidad de la napa Estado vital de la vegetación - Vitalidad - Copa viva - Fenología

3.4 Contenido de humedad gravimétrico del suelo

Para la medición del contenido de humedad gravimétrico del suelo, se extrajeron tres muestras por parcela desde una calicata, a una profundidad definida por la presencia radicular de la vegetación. Esta profundidad fue establecida en la campaña de abril de 2007 y se mantiene como referencia para cada punto de monitoreo (ver Tabla 3-4).

Tabla 3-4. Profundidad del estrato radicular por parcela de monitoreo

N°	Parcela de monitoreo	Profundidad del estrato (cm)	N°	Parcela de monitoreo	Profundidad del estrato (cm)
1	1027	17–35	10	L3-15	70–80
2	L7-7	25–35	11	L3-5	35–60
3	L7-14	25–45	12	L3-3	53–70
4	L1-3	57–67	13	L4-3	40–50
5	L2-26	40–50	14	L4-17	25–35
6	L2-25	25–30	15	L5-6	55–60
7	L2-4	40–50	16	L5-7	70–90
8	L2-28	30	17	L9-2	48–70
9	L2-27	10–45	18	L9-1	37–60

Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Análisis de laboratorio

Las muestras de suelo fueron analizadas por dos laboratorios:

- ALS Life Sciences Chile, Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA), autorizada por la Resolución Exenta N°178/2017 SMA, N°37/2019 SMA y N°63/2019 SMA. A excepción de los años 2016-2017, donde los análisis fueron realizados por SGS Chile Ltda, que contaba con acreditación ETFA en dicho periodo.
- Laboratorio Metalúrgico de Nova Andino Litio SpA, el cual no cuenta con acreditación como ETFA, pero ha realizado históricamente las mediciones del monitoreo, razón por la cual se continúa utilizando de forma complementaria para asegurar la trazabilidad de los datos.

Esta doble medición busca mantener la continuidad en la serie de datos, considerando que hasta el año 2016 no era exigible la participación de entidades acreditadas por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), de acuerdo con lo establecido en la Resolución Exenta N°986/2016, posteriormente derogada por la Resolución Exenta N°573/2022 del Ministerio del Medio Ambiente.

3.4.2 Método utilizado por ETFA (ALS Life Sciences Chile)

La determinación del contenido de humedad gravimétrico se realizó mediante el método de ensayo MLAB-S-01, basado en la norma NCh 1515 Of.79, aprobada por el Instituto Nacional de Normalización (INN).

El procedimiento consiste en el secado de las muestras de suelo en una estufa a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta obtener un peso constante. La humedad se calcula mediante la siguiente fórmula:

Fórmula 1. Cálculo del contenido de humedad (ALS)

$$w = \frac{mh - ms}{ms - mr} \times 100$$

Donde:

- w : humedad (%)
- mh : masa del recipiente + muestra húmeda (g)
- ms : masa del recipiente + muestra seca (g)
- mr : masa del recipiente vacío (g)

3.4.3 Método utilizado por el Laboratorio Metalúrgico de Nova Andino Litio SpA

Este método busca dar continuidad a las series de datos generadas antes del año 2016. Dicho laboratorio se ubica en el sector MOP de las operaciones de la empresa en el Salar de Atacama. El procedimiento comprende las siguientes etapas y se ilustra en la Figura 3.2:

1. Pesaje previo de las bolsas vacías con balanza de precisión (0,1 g).
2. Extracción en terreno de aproximadamente 500 g de suelo por muestra.
3. Pesaje del suelo húmedo (PH), descontando el peso de la bolsa.
4. Secado del suelo en estufa de circulación de aire durante 48 horas a 105 ± 5 °C.
5. Pesaje del suelo seco (PS), descontando el peso de la bandeja.
6. Cálculo del contenido de humedad mediante la siguiente fórmula:

Fórmula 2. Cálculo del contenido de humedad (Novandino Litio)

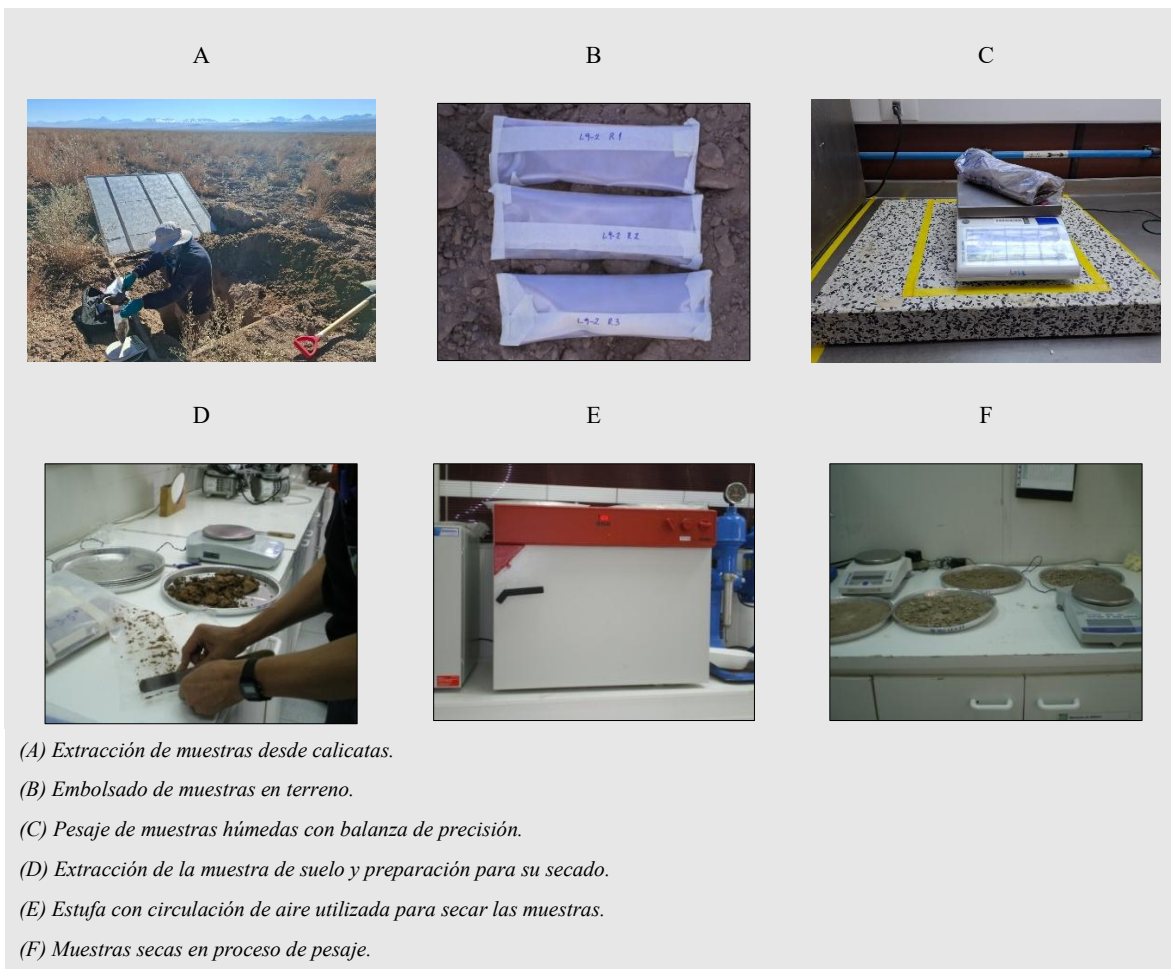
$$CHg = \frac{PH - PS}{PS}$$

Donde:

- CHg : Contenido de humedad gravimétrico (g/g)
- PH : Peso húmedo de la muestra menos el peso de la bolsa (g)
- PS : Peso seco de la muestra menos el peso de la bandeja (g)

El contenido de humedad se calcula individualmente para las tres muestras extraídas en cada calicata, y se reporta como el promedio de dichas mediciones.

Figura 3.2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo



Fuente: Registro fotográfico SQM Salar SpA -actualizado de Informe CHS 2023, Geobiota

3.5 Profundidad de la napa subterránea

Cada una de las 18 parcelas permanentes de monitoreo se encuentra ubicada junto a un pozo de observación de nivel freático, los cuales integran la red de pozos del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH), en el marco de lo dispuesto en la RCA N°226/2006.

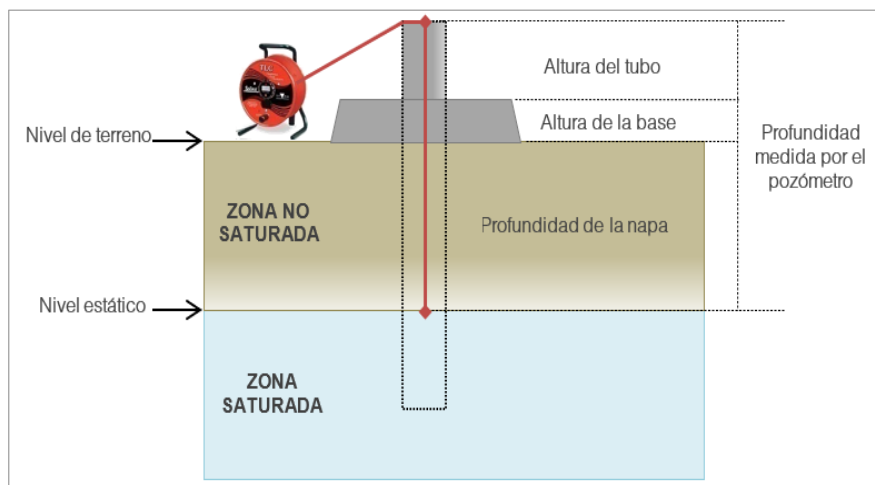
La medición de la profundidad de la napa es realizada por Novandino Litio y por la Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) SEGEA Ltda., aplicando el procedimiento PE04-GP-PT. A continuación, se resumen los principales pasos del proceso de medición:

- Encender el pozómetro y efectuar la medición de nivel de acuerdo con las instrucciones del protocolo IT-GP-PE04-01.
- Introducir la cinta graduada por el centro del pozo, procurando que no haga contacto con las paredes internas.

- c. Registrar la profundidad en la que se detecta el contacto con el nivel de agua subterránea. Esta lectura se realiza sobre la huincha del cable del pozómetro y corresponde a metros bajo el borde del tubo o brocal. En el caso de pozos con aguas someras (menos de 10 m), o donde se requiere una mayor precisión (0,5 mm), se recomienda utilizar un vástago como punto de referencia sobre la boca del pozo para estandarizar la lectura en el centro.
- d. Enrollar nuevamente la cinta del pozómetro, limpiar el cable y la sonda, y almacenar el equipo de manera adecuada.
- e. Finalmente, se descuenta de la lectura obtenida la altura del tubo y la base del pozo, a fin de obtener la profundidad real de la napa subterránea (Figura 3.3).

La figura ilustra la diferencia entre la profundidad registrada por el instrumento y la profundidad corregida, considerando las estructuras del pozo.

Figura 3.3. Esquema del proceso de medición en un pozo



Fuente: PSAH, 2024

Los datos reportados en esta sección corresponden a los resultados del monitoreo hidrogeológico realizado durante el año 2025, según lo informado en los Informes del PSAH 2025, en el contexto de cumplimiento de la RCA N°226/2006.

De acuerdo con los lineamientos establecidos por la Resolución Exenta N°223/2015 de la Superintendencia del Medio Ambiente, no se han definido límites normativos específicos para esta variable ambiental, por lo que su análisis se enmarca en una evaluación de tendencias y estado relativo.

3.6 Evaluación de la vitalidad de la vegetación

De acuerdo con los lineamientos establecidos en la RCA N°226/2006, la evaluación del estado vital y sanitario de la vegetación debe realizarse durante el periodo de mayor actividad fotosintética, el cual, en el ecosistema del Bordo Este, se extiende aproximadamente entre noviembre y mayo. Para mantener una continuidad en el seguimiento conjunto de vegetación, nivel freático y contenido de humedad del suelo (CHS), el monitoreo se lleva a cabo de forma trimestral, en los meses de enero, abril, julio y octubre.

Este componente es evaluado en 18 parcelas permanentes de forma circular (5 metros de radio), establecidas desde abril de 2007. Cada una de estas parcelas cuenta con 10 individuos arbustivos seleccionados para seguimiento, los cuales fueron rotulados al inicio del monitoreo (Figura 3.4). En aquellos sitios con menor densidad de individuos, se marcó la totalidad de los ejemplares disponibles. Para el caso de la vegetación herbácea, se realiza un conteo y registro por especie de todos los individuos presentes.

La vitalidad de la vegetación arbustiva se determina a partir de tres indicadores complementarios:

a. Estado fenológico:

Se refiere al estadio de desarrollo observable en cada planta, el cual se clasifica en las siguientes fases (Tabla 3-5):

Tabla 3-5. Fases fenológicas evaluadas durante el monitoreo

Categoría	Fase fenológica
1	Senescente o recesiva
2	Crecimiento vegetativo
3	Floración
4	Fructificación

Fuente: elaboración propia

b. Porcentaje de copa viva:

Este indicador representa la proporción de biomasa aérea con capacidad fotosintética (follaje verde), y se clasifica según los rangos porcentuales indicados en la Tabla 3-6:

Tabla 3-6. Categorías del porcentaje de copa viva

Categoría	Porcentaje (%)
0	0
1	< 5
2	5 – 25
3	25 – 50
4	50 – 75
5	75 – 100

Fuente: elaboración propia basado en RCA226/2006

c. Vitalidad general:

Corresponde a una evaluación cualitativa del estado del ejemplar, considerando la presencia de follaje verde, signos de patógenos y actividad reproductiva. Las categorías utilizadas se detallan en la Tabla 3-7:

Tabla 3-7. Categorías de vitalidad

Categoría	Descripción
0	Ejemplar seco, sin follaje verde ni estructuras reproductivas
1	Muy débil, escaso follaje verde, sin frutos, presencia de patógenos severa

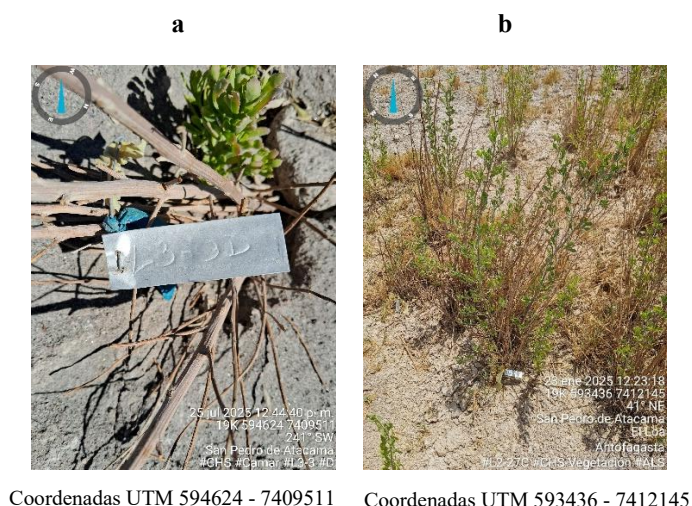
2	Débil, con algo de follaje verde, signos leves de deterioro, pocos frutos
3	Estado normal, follaje verde predominante, fructificación, sin patógenos
4	Vigor excepcional, abundante follaje y estructuras reproductivas

Fuente: elaboración propia basado en RCA 226/2006

Altura del ejemplar:

Además de los parámetros anteriores, se registró la altura (en centímetros) de cada individuo arbustivo, desde la base hasta el punto más alto con follaje activo. En los casos donde no se evidenció copa viva, esta variable no fue registrada.

Figura 3.4. Medición del estado vital de la vegetación (a=individuo monitoreado, b=copa viva)



Coordenadas UTM 594624 - 7409511 Coordenadas UTM 593436 - 7412145

Fuente: registro de terreno 2025

En las situaciones donde no fue posible evaluar un ejemplar (por pérdida de biomasa aérea o desaparición debido a condiciones extremas), se asignó la categoría "No Aplica = NA" a los tres parámetros mencionados. Esta condición se verificó mediante registro fotográfico en terreno y se detallan en el Anexo 1 - Estado vital de la vegetación.

Desde 2019, se incluyeron las categorías “Desaparecidos por aluvión” (por eventos en la Quebrada de Camar) y “Sin información – S/I”, esta última utilizada cuando no se contó con autorización para ingresar al área⁴.

Según lo establecido en la Res. Ex. N°223/2015 de la Superintendencia del Medio Ambiente, no existen umbrales específicos para esta variable ambiental, por lo que su monitoreo se realiza de forma descriptiva y continua.

⁴ Debido a las restricciones de acceso se dieron desde abril del 2019, cuando la Resolución N°56/2019 aprueba el Protocolo de Ingreso a los sectores 4, 5 y 7 de la RNLF; y en el marco de la situación de emergencia sanitaria que enfrentaba el país, mediante Res. N°160 y 162 de 2020, CONAF dispuso el cierre de las áreas silvestres protegidas bajo su administración, incluyendo la RNLF, que se mantuvo cerrada durante el año 2020.

3.7 Relación entre las variables monitoreadas

Con el objetivo de evaluar la relación entre el contenido de humedad del suelo (CHS), la profundidad de la napa freática y la vitalidad de la vegetación, se aplicó un análisis multivariado de varianza (MANOVA), utilizando como variables dependientes las proporciones anuales de individuos en distintas categorías de vigor (Seco, Muy débil, Débil, Crecimiento normal y Excepcionalmente vigoroso).

Posteriormente, se ajustaron modelos lineales generalizados (GLM) de forma individual para cada categoría de vitalidad, con el fin de analizar el efecto específico de las variables explicativas (CHS y profundidad de la napa) sobre dichas proporciones. Los modelos fueron ajustados utilizando una familia quasibinomial, adecuada para variables de tipo proporcional, permitiendo considerar posibles efectos de sobredispersión.

El análisis se basó en datos históricos de monitoreo entre los años 2007 y 2025. Las variables ambientales (CHS y profundidad de la napa) fueron calculadas como promedios anuales entre los puntos de monitoreo, mientras que la vitalidad vegetal se expresó como proporciones anuales agregadas a nivel. Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software RStudio.

3.8 Materiales implementados en monitoreo de contenido de humedad gravimétrico del suelo, profundidad de la napa subterránea y vitalidad de la vegetación

Para la medición de las tres variables ambientales consideradas en este monitoreo (contenido de humedad gravimétrico del suelo, profundidad de la napa subterránea y vitalidad de la vegetación) se utilizaron distintos instrumentos y materiales de apoyo, que aseguran la precisión y estandarización del procedimiento en terreno y laboratorio. La Tabla 3-8 resume los principales elementos empleados para cada componente monitoreada.

Tabla 3-8. Materiales utilizados para medir contenido el de humedad de suelo, profundidad de la napa subterránea y vitalidad de la vegetación

Contenido de Humedad de Suelo	
Materiales	Pala
	Guantes
	Bolsas herméticas plásticas
	Balanza de precisión 0,1 g para el pesaje de las muestras
	Estufa de circulación de aire para el secado de las muestras
Profundidad de la napa subterránea	
Materiales	Pozómetro Solinst Model 101 Punta P2 de 30, 60 o 150 metros
	Vástago para proyectar medición del punto de referencia al eje central del pozo
	Piseta con agua destilada
	Flexómetro

	Tablet y/o planilla de pozos a monitorear
Vitalidad de la vegetación	
Materiales	GPS
	Cámara fotográfica
	Flexómetro

Fuente: elaboración propia

3.9 Fechas de muestreo, medición análisis y control de cada parámetro

A continuación, se presenta un resumen consolidado de las fechas de muestreo, medición y/o control de cada uno de los parámetros evaluados durante el año 2025. Este monitoreo se realizó conforme a la planificación trimestral establecida en el Programa de Seguimiento Ambiental, incluyendo el contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS), la profundidad de la napa subterránea y el estado vital de la vegetación. La Tabla 3-9 detalla las fechas y actividades realizadas en cada campaña.

Tabla 3-9. Fechas de muestreo y actividades realizadas por parámetro ambiental durante 2025

Parámetro	Fechas de muestreo	Actividad
CHS	23–24 (enero y octubre) 24–25 (abril y julio)	Monitoreo del contenido de humedad del suelo en 17 puntos (enero) y 18 puntos (abril, julio y octubre)
Vitalidad de la vegetación	23–24 (enero y octubre) 24–25 (abril y julio)	Evaluación del estado vital de la vegetación en 17 puntos (enero) y 18 puntos (abril, julio y octubre)
Profundidad de la napa	24 (enero, abril, julio y octubre)	Se utilizó el valor registrado el día del monitoreo o el más cercano a cada campaña

Fuente: elaboración propia

Desde diciembre de 2018, la frecuencia de medición de la profundidad de la napa subterránea es diaria, conforme al Programa de Cumplimiento (PdC) presentado por Novandino Litio a la SMA. Para el presente informe (2025), se utilizaron los valores registrados el día del monitoreo de los meses de enero, abril, julio y octubre de 2025, o la fecha más próxima disponible, según lo indicado en la ficha técnica de seguimiento (ver Anexo 6).

3.10 Incertidumbres asociadas a la ejecución de las metodologías en terreno

Respecto a las posibles incertidumbres asociadas a la implementación de las metodologías descritas en este informe, cabe señalar que una de las principales limitaciones radica en la ausencia de ciertos registros de campo en algunos periodos históricos, lo cual puede afectar la continuidad y comparabilidad de los análisis realizados.

3.10.1 Contenido de humedad gravimétrico del suelo

Las principales fuentes de incertidumbre en la obtención del contenido de humedad gravimétrico del suelo están relacionadas con las condiciones del sitio al momento del muestreo, incluyendo factores como el clima y el tiempo transcurrido entre la excavación de la calicata y la recolección de las muestras. Además, aspectos como el tipo de envase utilizado para el almacenamiento y la experiencia del personal encargado del muestreo también pueden influir en la calidad y representatividad de los resultados.

En cuanto al análisis de laboratorio, se identifican posibles variaciones derivadas del hecho de que las muestras son procesadas por dos entidades distintas. En el caso del Laboratorio Metalúrgico de Novandino Litio, las incertidumbres están asociadas a la precisión de los equipos utilizados (balanza con precisión de 0,1 g y estufa de circulación de aire), así como a la experiencia del operador. Para las muestras analizadas por la ETFA Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA, las fuentes de incertidumbre pueden incluir el protocolo de muestreo, los procedimientos analíticos y la precisión de los equipos empleados.

3.10.2 Profundidad de la napa subterránea

Las incertidumbres en la medición de la profundidad de la napa freática están vinculadas principalmente a la precisión del pozómetro (± 5 mm), a la lectura visual realizada por el monitor (± 1 mm) y a la exactitud con la que se haya determinado la cota del punto de referencia (± 1 cm), la cual depende del equipo topográfico utilizado. Adicionalmente, factores como las condiciones climáticas, el tiempo transcurrido durante la medición y la distancia a la estación base también pueden influir, aunque en general, el margen de error se encuentra dentro del orden de los centímetros.

3.10.3 Estado vital de la vegetación

Las principales fuentes de incertidumbre en la evaluación del estado vital de la vegetación están asociadas a la experiencia y el criterio del personal que realiza el muestreo, dado que se trata de una evaluación basada en parámetros cualitativos.

Adicionalmente, existen incertidumbres vinculadas al marcaje de los individuos monitoreados, las cuales pueden verse afectadas por eventos climáticos extremos, como precipitaciones intensas o aluviones, que pueden provocar la pérdida de las marcas o incluso de los propios individuos.

Asimismo, dado que el monitoreo se realiza sobre individuos fijos, es esperable que el ciclo de vida natural de cada planta afecte progresivamente su condición, independiente de otros factores. La ausencia de un análisis del estado de la vegetación circundante implica que este envejecimiento natural no es compensado en el análisis, lo cual podría generar una tendencia aparente al deterioro del estado vital con el paso de los años.

4 Resultados

4.1 Contenido de humedad de suelo

En esta sección se presentan los resultados correspondientes a las mediciones de humedad gravimétrica del suelo realizadas durante el año 2025. Las muestras de suelo fueron extraídas por el laboratorio ETFA ALS Life Sciences Chile. Sin embargo, el análisis de las muestras de suelo, específicamente humedad de suelo, fueron desarrolladas en paralelo por los laboratorios ALS Life Sciences Chile y el Laboratorio Metalúrgico de Novandino, esto para dar continuidad y consistencia a los resultados históricos de la variable humedad de suelo.

Cabe destacar que el Plan de Seguimiento Biótico no contempla límites específicos para los parámetros de humedad del suelo evaluados. Por esta razón, los datos se exponen de manera descriptiva, tanto en formato gráfico como numérico, sin ser contrastados con umbrales de referencia. No obstante, el monitoreo continuo de esta variable a lo largo del tiempo permite identificar tendencias y variaciones relevantes, las cuales pueden ser correlacionadas con la evolución de otras variables ambientales incluidas en este informe.

4.1.1 Laboratorio ALS Life Sciences Chile (ETFA)

Durante el año 2025 se realizaron cuatro campañas de monitoreo del contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en 18 parcelas distribuidas de oeste a este del Salar de Atacama, abarcando desde la zona marginal (oeste) hasta la zona aluvial (este).

Los valores promedio anuales y sus desviaciones estándar obtenidos por el laboratorio ALS Life Sciences Chile se presentan en la Se observa un claro gradiente espacial en los valores de CHS, con mayores contenidos de humedad en las parcelas ubicadas hacia el sector oeste y menores valores hacia el sector este. Las parcelas 1027 y L7-7 presentaron los valores promedio más altos, con 0,427 g/g y 0,364 g/g, respectivamente. En contraste, la parcela L4-3 presentó el valor promedio más bajo, con 0,007 g/g.

En términos de variabilidad, las desviaciones estándar fueron mayores en las parcelas con mayores valores de CHS, mientras que en las parcelas con menor contenido de humedad las variaciones anuales fueron más bajas.

Tabla 4-1 y la Figura 4.1.

Se observa un claro gradiente espacial en los valores de CHS, con mayores contenidos de humedad en las parcelas ubicadas hacia el sector oeste y menores valores hacia el sector este. Las parcelas 1027 y L7-7 presentaron los valores promedio más altos, con 0,427 g/g y 0,364 g/g, respectivamente. En contraste, la parcela L4-3 presentó el valor promedio más bajo, con 0,007 g/g.

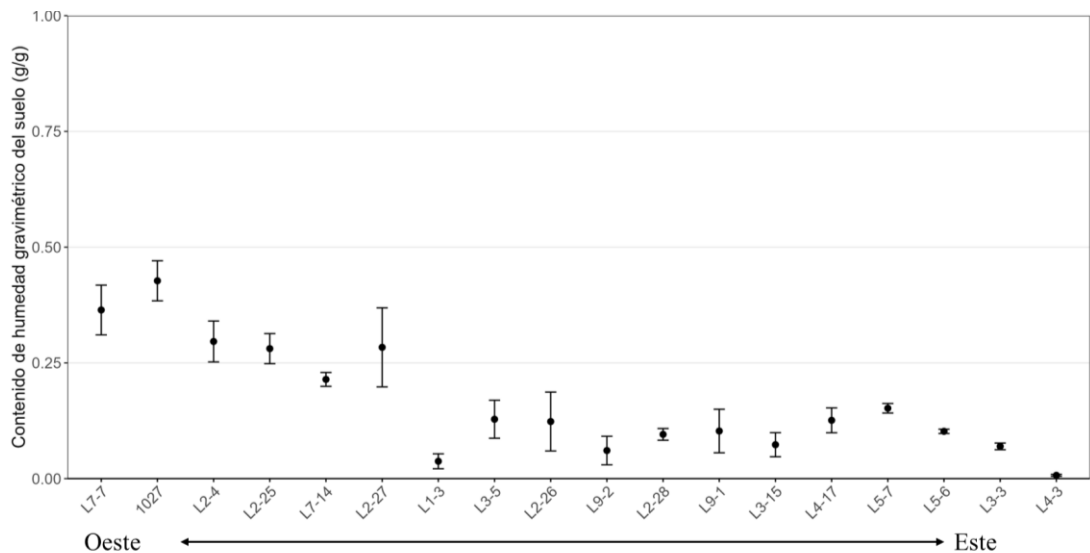
En términos de variabilidad, las desviaciones estándar fueron mayores en las parcelas con mayores valores de CHS, mientras que en las parcelas con menor contenido de humedad las variaciones anuales fueron más bajas.

Tabla 4-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por ALS (ETFA) en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas 2025. Los pozos están ordenados de oeste (L7-7) a este (L4-3)

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g) por campaña de monitoreo				Promedio (g/g)	Desv. Est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L7-7	-	0,440	0,325	0,328	0,364	0,054
1027	0,498	0,398	0,425	0,388	0,427	0,043
L2-4	0,296	0,359	0,234	0,296	0,296	0,044
L2-25	0,296	0,225	0,308	0,293	0,281	0,032
L7-14	0,194	0,232	0,207	0,225	0,214	0,015
L2-27	0,221	0,429	0,223	0,261	0,284	0,085
L1-3	0,033	0,028	0,065	0,024	0,038	0,016
L3-5	0,136	0,064	0,135	0,178	0,128	0,041
L2-26	0,087	0,233	0,089	0,084	0,123	0,064
L9-2	0,038	0,113	0,050	0,041	0,061	0,031
L2-28	0,084	0,086	0,097	0,116	0,096	0,013
L9-1	0,081	0,184	0,078	0,068	0,103	0,047
L3-15	0,045	0,116	0,069	0,064	0,073	0,026
L4-17	0,150	0,125	0,146	0,083	0,126	0,027
L5-7	0,157	0,165	0,148	0,138	0,152	0,010
L5-6	0,100	0,098	0,110	0,100	0,102	0,005
L3-3	0,066	0,072	0,080	0,061	0,070	0,007
L4-3	0,010	0,008	0,007	0,004	0,007	0,002

S/I no se pudo ingresar para tomar muestras

Figura 4.1. Variación promedio anual del contenido de humedad gravimétrico del suelo, según ALS Life Sciences Chile, para el año 2025



Fuente: elaboración propia

4.1.2 Laboratorio Metalúrgico Nova andino Litio

La

Al igual que en los resultados obtenidos por ALS Life Sciences Chile, se observa un gradiente espacial en los valores de CHS, con mayores contenidos de humedad en las parcelas ubicadas hacia el sector oeste y menores valores hacia el sector este. Las parcelas 1027, L7-7 y L2-25 presentaron los valores promedio más altos, con 0,805 g/g, 0,527 g/g y 0,460 g/g, respectivamente. En contraste, la parcela L4-3 presentó el valor promedio más bajo, con 0,016 g/g.

Los valores de CHS variaron entre 0,007 g/g y 0,840 g/g a nivel de campañas individuales. El valor máximo se registró en la parcela 1027 durante el mes de enero (0,840 g/g), mientras que los valores mínimos se observaron en la parcela L4-3 durante abril (0,007 g/g).

En términos de variabilidad, las desviaciones estándar fueron mayores en las parcelas con mayores valores de CHS, como L2-27 (0,059) y L3-5 (0,046), mientras que las parcelas con menor contenido de humedad presentaron variaciones más bajas a lo largo del año.

Tabla 4-2 y la Figura 4.2 presentan los resultados de las mediciones de contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) obtenidos durante las cuatro campañas de monitoreo correspondientes al año 2025, de acuerdo con los análisis realizados por el Laboratorio Metalúrgico de Nova Andino Litio. Los puntos de monitoreo se disponen de oeste a este a lo largo del área de estudio.

Al igual que en los resultados obtenidos por ALS Life Sciences Chile, se observa un gradiente espacial en los valores de CHS, con mayores contenidos de humedad en las parcelas ubicadas hacia el sector oeste y menores valores hacia el sector este. Las parcelas 1027, L7-7 y L2-25 presentaron los valores promedio más altos, con 0,805 g/g, 0,527 g/g y 0,460 g/g, respectivamente. En contraste, la parcela L4-3 presentó el valor promedio más bajo, con 0,016 g/g.

Los valores de CHS variaron entre 0,007 g/g y 0,840 g/g a nivel de campañas individuales. El valor máximo se registró en la parcela 1027 durante el mes de enero (0,840 g/g), mientras que los valores mínimos se observaron en la parcela L4-3 durante abril (0,007 g/g).

En términos de variabilidad, las desviaciones estándar fueron mayores en las parcelas con mayores valores de CHS, como L2-27 (0,059) y L3-5 (0,046), mientras que las parcelas con menor contenido de humedad presentaron variaciones más bajas a lo largo del año.

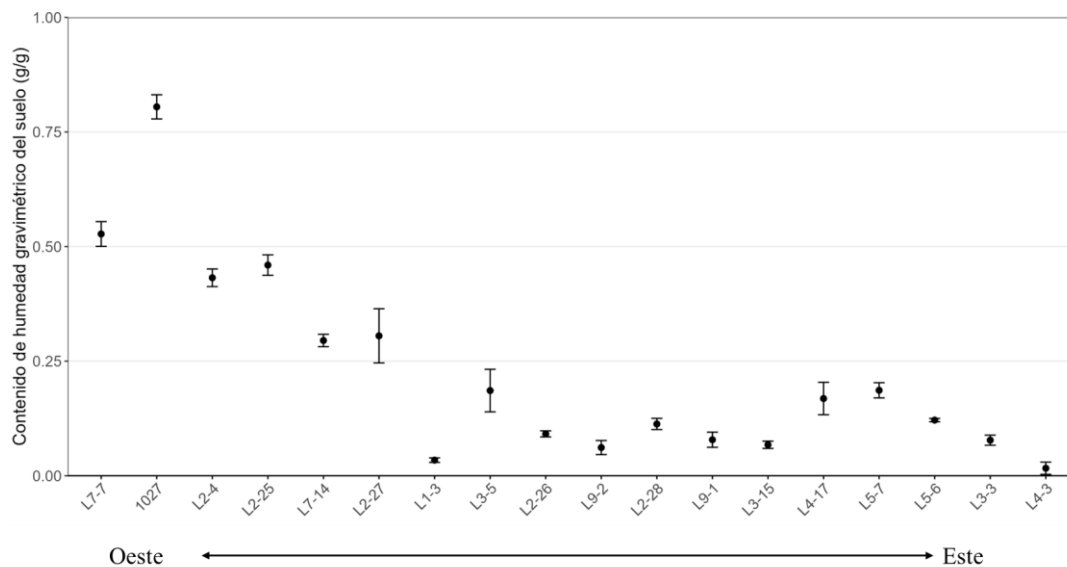
Tabla 4-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por el Laboratorio Metalúrgico Nova Andino Litio en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2025

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g) por campaña de monitoreo				Promedio (g/g)	Desv. Est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L7-7	S/I	0,519	0,500	0,564	0,527	0,027
1027	0,840	0,800	0,814	0,766	0,805	0,026
L2-4	0,424	0,438	0,459	0,407	0,432	0,019
L2-25	0,468	0,483	0,465	0,423	0,460	0,022

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g) por campaña de monitoreo				Promedio (g/g)	Desv. Est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L7-14	0,293	0,277	0,295	0,315	0,295	0,014
L2-27	0,227	0,284	0,321	0,390	0,305	0,059
L1-3	0,040	0,030	0,038	0,028	0,034	0,005
L3-5	0,181	0,141	0,159	0,262	0,186	0,046
L2-26	0,097	0,080	0,093	0,095	0,091	0,007
L9-2	0,045	0,058	0,057	0,087	0,062	0,015
L2-28	0,105	0,098	0,120	0,129	0,113	0,012
L9-1	0,093	0,081	0,089	0,051	0,079	0,017
L3-15	0,054	0,074	0,073	0,069	0,068	0,008
L4-17	0,191	0,180	0,194	0,108	0,169	0,035
L5-7	0,187	0,167	0,179	0,212	0,187	0,017
L5-6	0,123	0,117	0,126	0,120	0,121	0,004
L3-3	0,075	0,083	0,091	0,061	0,078	0,011
L4-3	0,010	0,007	0,009	0,040	0,016	0,013

S/I no se pudo ingresar a la reserva para tomar las muestras

Figura 4.2. Variación promedio anual del contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Laboratorio Metalúrgico de Novandino, para el año 2025



Fuente: elaboración propia

4.1.3 Relación de los valores reportados entre los laboratorios

La

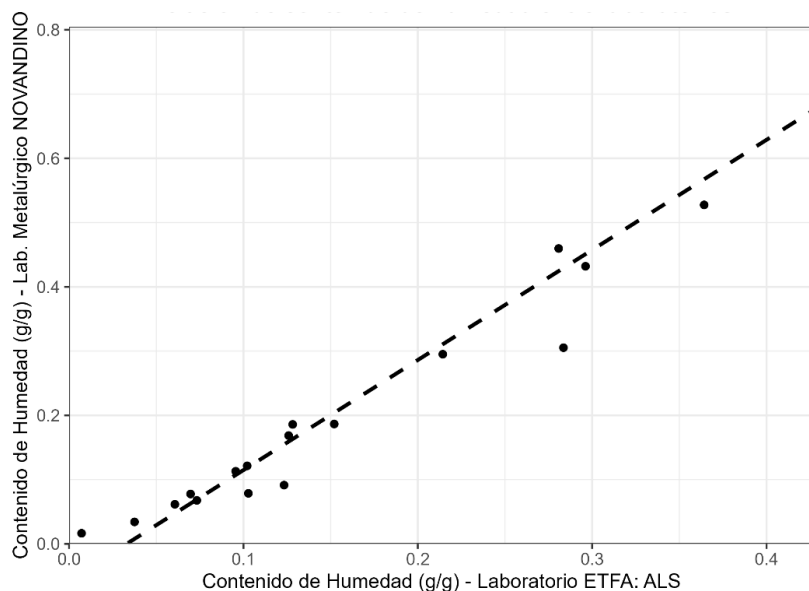
Figura 4.3 muestra la comparación entre los valores de contenido de humedad gravimétrica del suelo reportados por el Laboratorio Metalúrgico Novan Andino Litio y el laboratorio ETFA ALS Life Sciences Chile, correspondientes al año 2025. Al igual que en el año anterior (2024), se observa una alta consistencia entre ambos laboratorios en cuanto a la tendencia de los datos, aunque con diferencias en la magnitud de los valores reportados.

En el panel A, se muestra la relación entre ambos laboratorios, donde el eje X representa los valores entregados por ALS y el eje Y los valores entregados por Novandino. La tendencia general indica que los valores obtenidos por ALS tienden a ser menores que los reportados por el laboratorio de Novandino, especialmente en los puntos con mayor contenido de humedad.

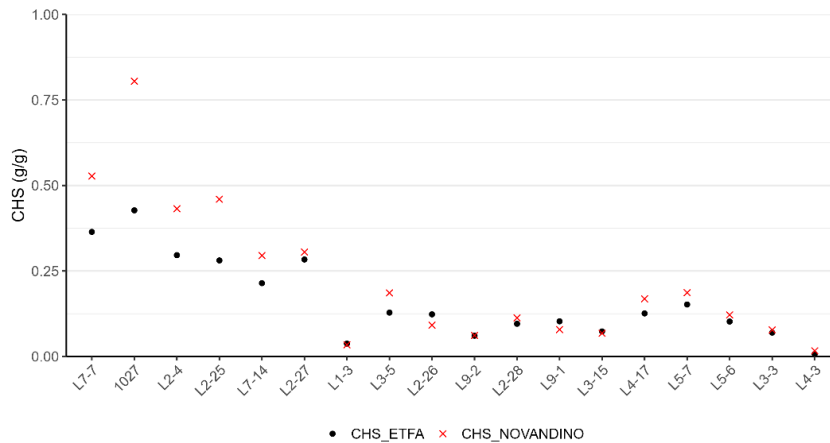
Esta relación fue confirmada mediante un análisis de correlación de Spearman, el cual arrojó un coeficiente $\rho = 0.975$ (valor- $p < 0.001$), lo que indica una correlación positiva muy fuerte entre ambas series de datos, a pesar de las diferencias sistemáticas en magnitud.

El panel B complementa esta observación al mostrar los promedios anuales por sitio de muestreo. En él, se puede apreciar que los valores del laboratorio ALS (puntos negros) son consistentemente más bajos que los reportados por el laboratorio de Novandino (cruces rojas), especialmente en sitios con mayor contenido de humedad. Esta diferencia podría atribuirse, nuevamente, al tiempo transcurrido entre la colecta y el análisis en el caso de las muestras enviadas a ALS, lo que puede provocar pérdida de humedad en el proceso de transporte y almacenamiento, así como también las diferencias metodológicas en la estimación del CHS.

Figura 4.3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrico obtenido por el Laboratorio Metalúrgico Nova Andino Litio y Laboratorio ALS Life Sciences Chile para el año 2025.



A



B

- A) Relación entre el contenido de humedad del suelo entre ambos laboratorios, en el eje X (horizontal) los datos entregados por la ETFA ALS Life Sciences Chile, en Y (vertical) datos proporcionados por el laboratorio de Novandino.
- B) En puntos negros datos proporcionados por la ETFA ALS Life Sciences Chile, en X y color rojo datos proporcionados por el laboratorio de Novandino.

Fuente: elaboración propia

4.2 Profundidad de la napa freática

La En términos de variabilidad estacional, la mayoría de los pozos presentan una baja desviación estándar. Algunos puntos presentaron mayor variabilidad intra-anual, como L2-27 (0,217 m) y L2-28 (0,092 m), mientras que otros pozos mostraron menor variabilidad, como L2-25, L7-14 y L1-3, con desviaciones estándar inferiores a 0,03 m.

Tabla 4-3 y la Figura 4.4 presentan los valores de profundidad de la napa freática registrados en las cuatro campañas de monitoreo realizadas durante el año 2025, así como su promedio anual y desviación estándar por parcela.

Se observa un gradiente espacial en la profundidad de la napa freática, con valores más someros en los pozos ubicados hacia el sector oeste y mayores profundidades hacia el sector este. Los pozos L7-7 y 1027 presentaron las menores profundidades promedio, con 0,496 m y 0,536 m, respectivamente. En contraste, los mayores valores se registraron en los pozos L4-3 (13,085 m), L1-3 (7,165 m) y L9-1 (5,801 m).

En el caso del pozo L3-5, los valores nulos presentados en la tabla correspondiente a los trimestres reportados se deben a la obtención de niveles freáticos negativos, situación que podría estar asociada a una modificación en la topografía del entorno del pozo, tras el aluvión de 2019, lo que habría alterado la cota de referencia utilizada para las mediciones. En este contexto, el PSAH N° 38 indica que, a partir de dicho evento, el pozo comenzó a evidenciar un ascenso sostenido y oscilatorio del nivel freático, con una tasa promedio de incremento cercana a 3,5 cm/año hasta el segundo semestre 2025, generando máximos estacionales consecutivos. Este comportamiento se ha vinculado tanto a la reducción de extracciones en el acuífero como al impacto directo del aluvión, que habría favorecido el ascenso del agua en sectores previamente desprovistos de suelo, lo que explicaría que los registros aparezcan como negativos incluso cuando la napa se encuentra más próxima a la superficie.

En términos de variabilidad estacional, la mayoría de los pozos presentan una baja desviación estándar. Algunos puntos presentaron mayor variabilidad intra-anual, como L2-27 (0,217 m) y L2-28 (0,092 m), mientras que otros pozos mostraron menor variabilidad, como L2-25, L7-14 y L1-3, con desviaciones estándar inferiores a 0,03 m.

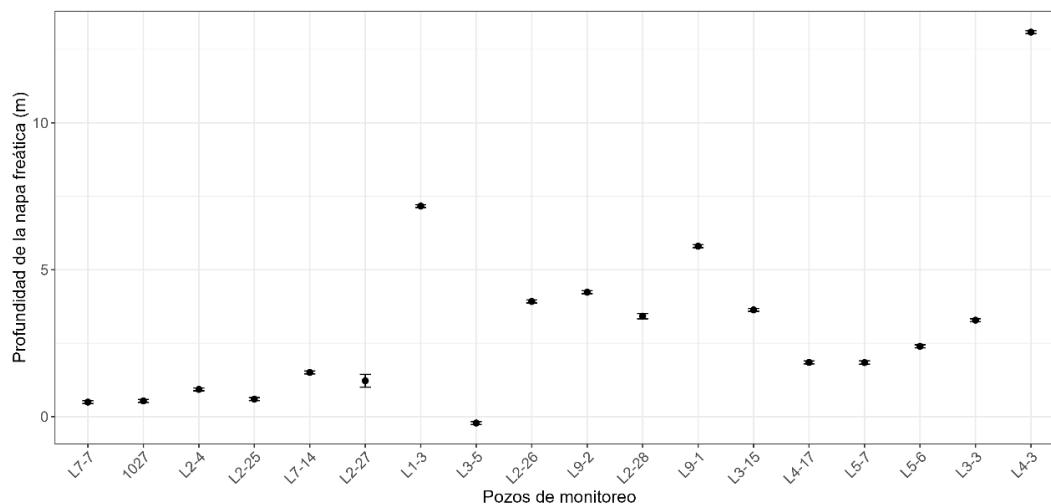
Tabla 4-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2025

Pozos (1) (oeste a este)	Profundidad napa (m) por campaña de monitoreo				Promedio (m)	Desv. Est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L7-7	S/I	0,572	0,423	0,493	0,496	0,035
1027	0,569	0,577	0,514	0,483	0,536	0,039
L2-4	0,972	0,953	0,889	0,899	0,928	0,035
L2-25	0,609	0,607	0,588	0,584	0,597	0,011
L7-14	1,529	1,52	1,499	1,469	1,504	0,023
L2-27	1,208	1,547	1,19	0,938	1,221	0,217
L1-3	7,184	7,179	7,157	7,141	7,165	0,017
L3-5*	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
L2-26	3,928	3,943	3,922	3,891	3,921	0,019
L9-2	4,235	4,29	4,223	4,193	4,235	0,035
L2-28	3,463	3,546	3,369	3,304	3,421	0,092
L9-1	5,807	5,846	5,781	5,768	5,801	0,030
L3-15	3,651	3,665	3,617	3,603	3,634	0,025
L4-17	1,866	1,879	1,829	1,809	1,846	0,028
L5-7	1,894	1,902	1,794	1,775	1,841	0,057
L5-6	2,422	2,434	2,364	2,353	2,393	0,035
L3-3	3,346	3,317	3,242	3,229	3,284	0,049
L4-3	13,098	13,105	13,072	13,064	13,085	0,017

*Los valores cero corresponden a valores negativos (L3-5) y S/I aquellos que no pudieron ser tomados en terreno

Fuente: elaboración propia

Figura 4.4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2025



Fuente: elaboración propia

4.3 Relación Contenido de humedad y profundidad de la napa freática

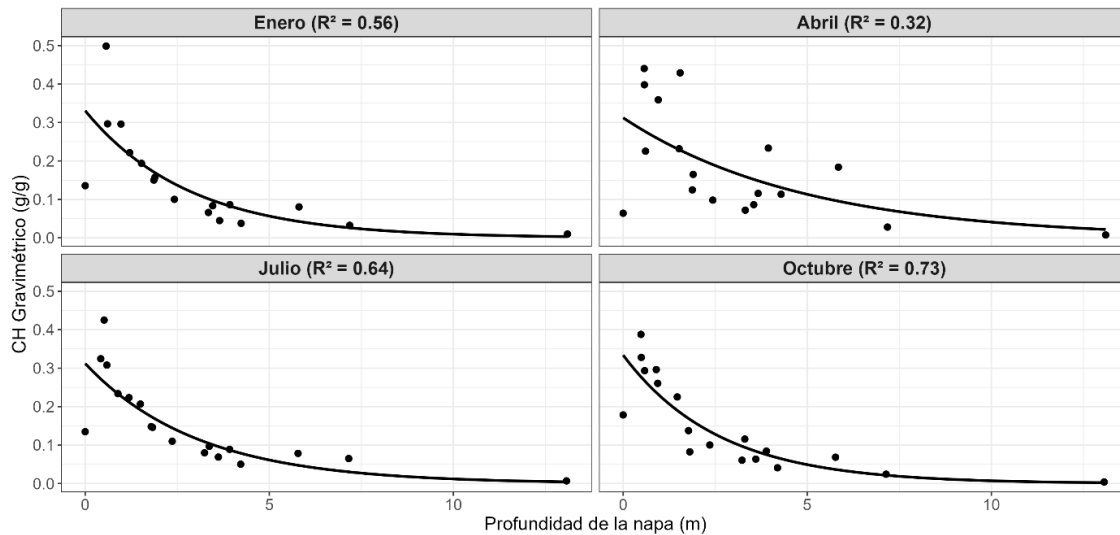
4.3.1 Laboratorio ALS Life Sciences Chile

En los cuatro monitoreos realizados durante el año 2025 por el Laboratorio ALS Life Sciences Chile, se observó una relación inversa entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) y la profundidad de la napa freática (Figura 4.5).

La bondad de ajuste de los modelos, expresada mediante el coeficiente de determinación (R^2), varió entre 0,32 y 0,73. Los meses de enero y julio presentaron valores intermedios de 0,56 y 0,64, respectivamente.

En todos los casos, se evidencia una tendencia decreciente del CHS a medida que aumenta la profundidad de la napa, con una forma de ajuste de tipo exponencial.

Figura 4.5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por ALS Life Sciences Chile y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2025



Fuente: elaboración propia

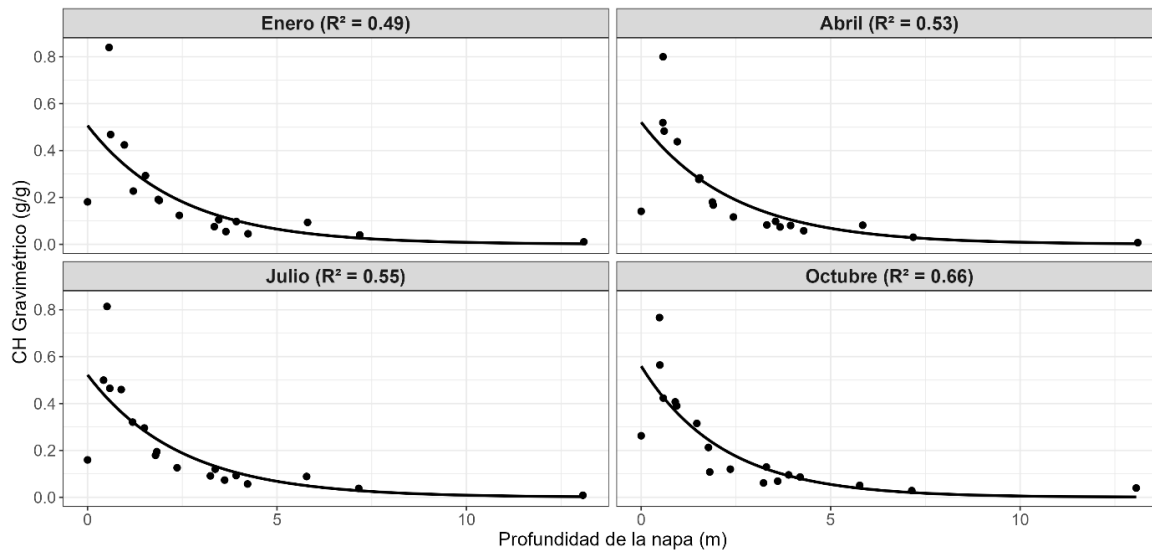
4.3.2 Laboratorio Metalúrgico Nova Andino Litio

Por su parte, los datos proporcionados por el Laboratorio Metalúrgico Nova Andino Litio muestran también una relación inversa de tipo exponencial entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) y la profundidad de la napa freática (Figura 4.6).

La bondad de ajuste de los modelos, expresada mediante el coeficiente de determinación (R^2), varió entre 0,49 y 0,66. El valor más bajo se registró en enero ($R^2 = 0,49$), mientras que el más alto se observó en octubre ($R^2 = 0,66$). Los meses de abril y julio presentaron valores intermedios de 0,53 y 0,55, respectivamente.

En todas las campañas se observa una tendencia decreciente del CHS a medida que aumenta la profundidad de la napa, manteniéndose una forma de ajuste de tipo exponencial. En comparación con los resultados obtenidos por el laboratorio ALS, se observa una mayor dispersión de los datos en algunas campañas.

Figura 4.6. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Nova Andino Litio y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2025



Fuente: elaboración propia

En conjunto, los resultados obtenidos por ambos laboratorios evidencian una relación inversa entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) y la profundidad de la napa freática, con un ajuste consistente a modelos de tipo exponencial decreciente. Este patrón indica que el contenido de humedad del suelo tiende a ser mayor cuando la napa se encuentra a menor profundidad.

No obstante, los valores de R^2 obtenidos indican una asociación de moderada a alta, lo que sugiere que la profundidad de la napa no es el único factor que controla la humedad del suelo.

En este sentido, es posible que otros factores influyan en el comportamiento observado, tales como las características del suelo, la cobertura vegetal, la evapotranspiración y las condiciones climáticas locales, los cuales pueden afectar los procesos de infiltración y retención de agua en el perfil del suelo.

4.4 Estado vital de la vegetación

Para el seguimiento del estado vital de la vegetación se han medido las siguientes variables: porcentaje de copa viva, vitalidad y estado fenológico, en las especies observadas en las parcelas de monitoreo (Tabla 4-4). Si bien la RCA N.º 226/2006 contempla la realización de dos monitoreos anuales, con el fin de aportar más información para los análisis, se ha optado por un monitoreo trimestral. Este se realiza en paralelo a las mediciones de humedad del suelo y profundidad de la napa freática.

Tabla 4-4. Principales especies de flora monitoreadas durante la campaña 2025

Especies	Nº de individuos a prospectar
<i>Atriplex atacamensis</i>	10
<i>Tessaria absinthioides</i>	123
<i>Distichlis spicata</i> *	6
<i>Nitrophila atacamensis</i> *	2
Total aproximado	141

**Según la RCA N°226/2006, los individuos de habito herbáceo monitoreados no son fijos en el tiempo, por lo que, durante los monitoreos se debe evaluar la totalidad de ejemplares herbáceos presentes en cada parcela. No obstante, los individuos registrados históricamente de *D. spicata* varían entre 5 a 6 ejemplares y los de *N. atacamensis* entre 1 a 2 ejemplares.*

Fuente: elaboración Propia

Como se ha estado mencionado en informes anteriores, que producto del aluvión ocurrido en febrero de 2019, 26 plantas ubicadas en las parcelas L3-15, L3-3 y L3-5 resultaron dañadas, perdiéndose sus placas de identificación. Por esta razón, en abril de 2020 se reetiquetaron 25 ejemplares, mientras que el individuo restante fue reetiquetado en noviembre del mismo año.

4.4.1 Fenología de la vegetación

El estado fenológico de los individuos monitoreados durante las campañas de 2025 se resume en la

La categoría fenológica predominante en todos los meses fue la senescencia, con valores de 62,14 % en enero, 58,87 % en abril, 86,52 % en julio y 66,67 % en octubre. Este patrón se acentúa durante el invierno, donde se registra la mayor proporción de individuos en estado senescente. La fase de crecimiento vegetativo presentó mayores proporciones en abril (24,82 %) y octubre (22,70 %), seguida de enero (16,43 %), mientras que en julio se registró el menor valor (13,48 %).

La floración se observó principalmente en enero (19,29 %) y en menor proporción en abril (12,77 %) y octubre (2,13 %), estando ausente en julio. Por su parte, la fructificación presentó valores bajos en general, registrándose en enero (1,43 %), abril (1,42 %) y octubre (8,51 %), sin presencia en julio.

En conjunto, los resultados evidencian una marcada dominancia de estados senescentes durante el año, con una mayor actividad fenológica en los meses de verano y primavera.

Tabla 4-5 y se representa gráficamente en la Figura 4.7.

La categoría fenológica predominante en todos los meses fue la senescencia, con valores de 62,14 % en enero, 58,87 % en abril, 86,52 % en julio y 66,67 % en octubre. Este patrón se acentúa durante el invierno, donde se registra la mayor proporción de individuos en estado senescente. La fase de crecimiento vegetativo presentó mayores proporciones en abril (24,82 %) y octubre (22,70 %), seguida de enero (16,43 %), mientras que en julio se registró el menor valor (13,48 %).

La floración se observó principalmente en enero (19,29 %) y en menor proporción en abril (12,77 %) y octubre (2,13 %), estando ausente en julio. Por su parte, la fructificación presentó valores bajos en general, registrándose en enero (1,43 %), abril (1,42 %) y octubre (8,51 %), sin presencia en julio.

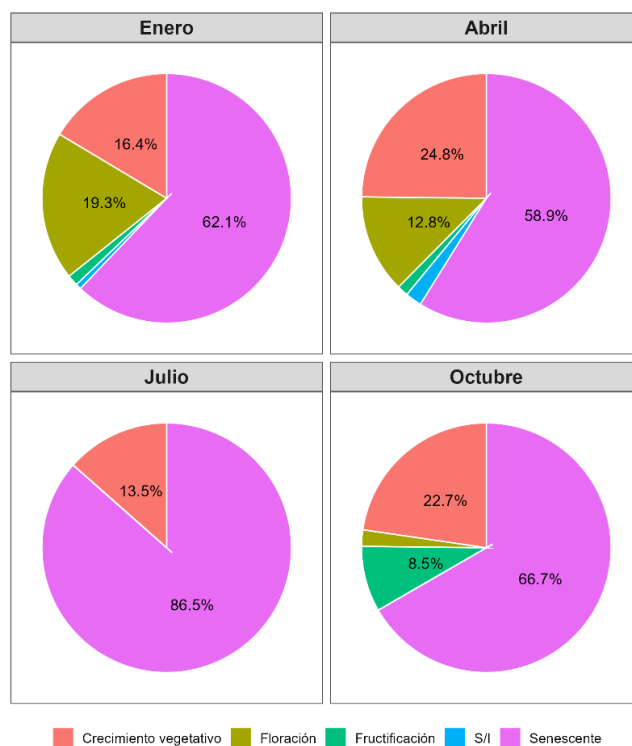
En conjunto, los resultados evidencian una marcada dominancia de estados senescentes durante el año, con una mayor actividad fenológica en los meses de verano y primavera.

Tabla 4-5. Resumen de individuos por categoría de fenología

Categoría	Número de Individuos por clase de fenología				Proporción (%) del número de individuos por clase de fenología			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
Senescente	87	83	122	94	62,14	58,87	86,52	66,67
Crecimiento vegetativo	23	35	19	32	16,43	24,82	13,48	22,70
Floración	27	18	0	3	19,29	12,77	0,00	2,13
Fructificación	2	2	0	12	1,43	1,42	0,00	8,51
Sin información ⁵	1	3	0	0	0,71	2,13	0,00	0,00
Total	140	141	141	141	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: elaboración propia

Figura 4.7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas 2025



Fuente: elaboración propia

5.4.1.1. Fenología según especie

⁵ Los individuos Sin información corresponden a aquellos que no pudieron ser monitoreados por falta de acceso a la parcela o no ser localizados en terreno debido a las condiciones del sitio, por lo que no cuentan con información para ser incluidos en el análisis

A continuación, se analiza la evolución de la fenología en forma diferenciada para los individuos de *Atriplex atacamensis*, *Distichlis spicata*, *Nitrophila atacamensis* y *Tessaria absinthioides*, monitoreados para los trimestres del 2025: enero (verano), abril (otoño), julio (invierno) y octubre (primavera).

a. *Atriplex atacamensis*

En la Figura 4.8 se observa que, durante las campañas de monitoreo realizadas en 2025, los individuos de *A. atacamensis* presentaran una variación estacional marcadas en sus estados fenológicos.

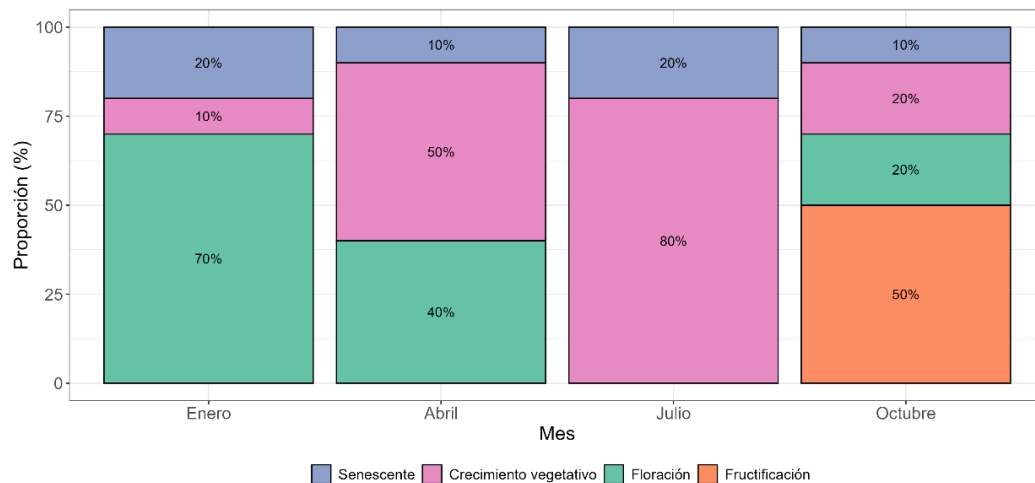
En enero, predomina la floración (70%), acompañada de una menor proporción de individuos en estado de senescencia (20%) y en crecimiento vegetativo (10%).

En abril, se observa un cambio en la distribución fenológica, con una mayor proporción de individuos en crecimiento vegetativo (50 %) y una presencia relevante de floración (40 %), mientras que la senescencia se mantiene en valores bajos (10 %).

Durante julio, la totalidad de los individuos se concentra en estados no reproductivos, predominando el crecimiento vegetativo (80 %) y, en menor proporción, la senescencia (20 %), sin presencia de floración ni fructificación. Por su parte, en octubre, se registra un cambio en la dinámica fenológica, destacando la fructificación como la fase predominante (50 %), seguida por la floración (20 %) y el crecimiento vegetativo (20 %), mientras que la senescencia se mantiene en niveles bajos (10 %).

Para esta especie, los resultados evidencian un patrón estacional, con fases reproductivas concentradas en verano y primavera, y predominio de estados vegetativos durante el invierno.

Figura 4.8. Fenología de los individuos de *Atriplex atacamensis* monitoreados en las campañas 2025



Fuente: elaboración propia

b. *Distichlis spicata*

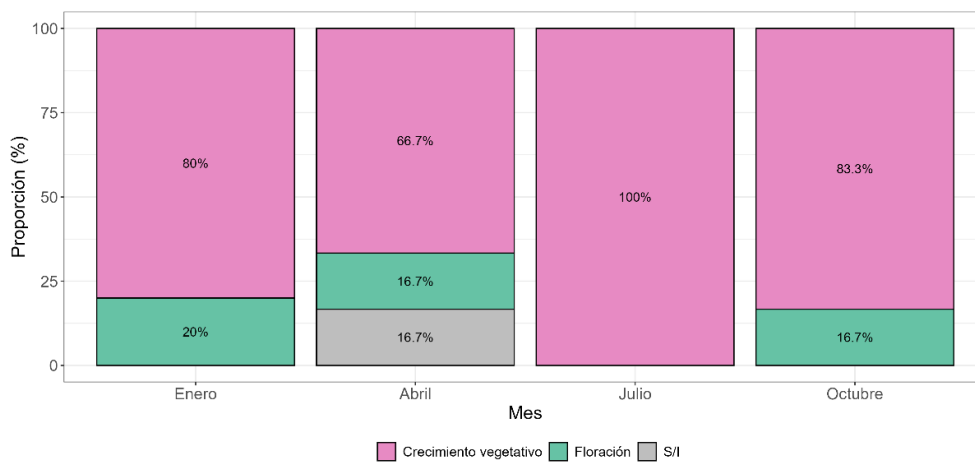
En la Figura 4.9 se observa que, durante las campañas de monitoreo realizadas en 2025, los individuos de *D. spicata* presentan una marcada dominancia del estado de crecimiento vegetativo a lo largo de todo el año.

En enero, el crecimiento vegetativo alcanza un 80 % de los individuos, acompañado de un 20 % en estado de floración. En abril, el crecimiento vegetativo se mantiene como la fase predominante (66,7 %), registrándose además un 16,7 % de individuos en floración y un 16,7 % sin información.

Durante julio, la totalidad de los individuos se encuentra en estado de crecimiento vegetativo. Y en octubre, el crecimiento vegetativo continúa siendo dominante (83,3 %), acompañado de una proporción menor de individuos en floración (16,7 %).

En general, la floración se presenta en proporciones bajas y restringida a ciertos periodos del año, mientras que, para la especie, el crecimiento vegetativo se mantiene como el estado fenológico predominante en todas las campañas.

Figura 4.9. Fenología de los individuos de *Distichlis spicata* monitoreados en las campañas 2025



S/I Individuos que no pudieron ser monitoreados por falta de acceso a la parcela o no ser localizados en terreno.

Fuente: elaboración propia

c. *Nitrophila atacamensis*

En la

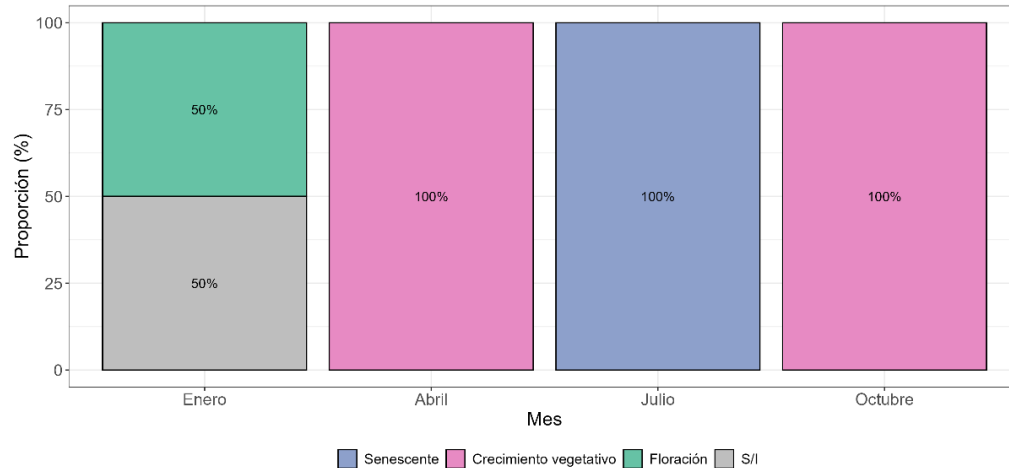
En enero, los registros se distribuyen entre individuos en floración (50 %) y casos sin información (50 %), debido a limitaciones en el monitoreo. En abril y octubre, la totalidad de los individuos se encuentra en estado de crecimiento vegetativo (100 %), evidenciando una condición homogénea en estos periodos. Mientras que, durante julio, todos los individuos se registraron en estado de senescencia (100 %), sin presencia de fases vegetativas ni reproductivas.

Figura 4.10 se observa que, durante las campañas de monitoreo realizadas en 2025, los individuos de *Nitrophila atacamensis* presentan un comportamiento fenológico variable entre campañas.

En enero, los registros se distribuyen entre individuos en floración (50 %) y casos sin información (50 %), debido a limitaciones en el monitoreo. En abril y octubre, la totalidad de los individuos se encuentra en estado de crecimiento vegetativo (100 %), evidenciando una condición homogénea en estos periodos. Mientras que,

durante julio, todos los individuos se registraron en estado de senescencia (100 %), sin presencia de fases vegetativas ni reproductivas.

Figura 4.10. Fenología de los individuos de *Nitrophila atacamensis* monitoreados en las campañas 2025



S/I Individuos que no pudieron ser monitoreados por falta de acceso a la parcela o no ser localizados en terreno.

Fuente: elaboración propia

d. *Tessaria absinthioides*

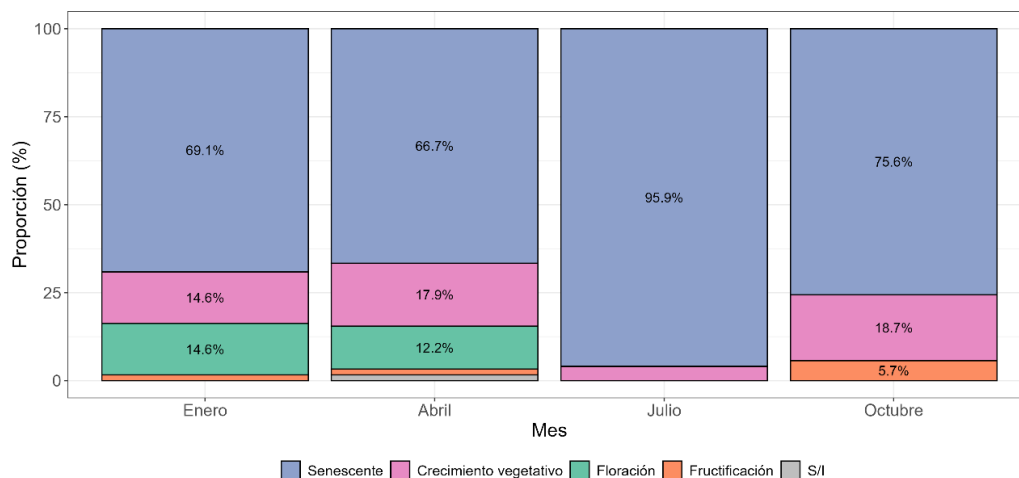
En la Figura 4.11 se observa que los individuos de *T. absinthioides* presentaron una alta proporción de senescencia a lo largo de todas las campañas de monitoreo realizadas en 2025, con valores que fluctúan entre 66,7 % en abril y 95,9 % en julio.

El crecimiento vegetativo se mantiene en proporciones menores durante el año, con valores de 14,6 % en enero, 17,9 % en abril y 18,7 % en octubre, mientras que en julio se registra una proporción baja.

La floración se observa en enero (14,6 %) y abril (12,2 %), sin registros en julio ni octubre. Por su parte, la fructificación presenta valores bajos, estando presente en enero, abril y octubre.

En general, la especie muestra un predominio del estado senescente en todas las campañas, con presencia de actividad vegetativa y reproductiva en menor proporción durante algunos periodos del año. Sin embargo, es importante señalar que el monitoreo se ha realizado sobre ejemplares fijos a lo largo del tiempo, y parte de los individuos catalogados como senescentes en todas las campañas corresponderían a plantas que ya habrían completado su ciclo vital.

Figura 4.11. Fenología de los individuos de *Tessaria absinthioides* monitoreados en las campañas de 2025



S/I Individuos que no pudieron ser monitoreados por falta de acceso a la parcela o no ser localizados en terreno.

Fuente: elaboración propia

4.4.2 Porcentaje de copa viva

El porcentaje de copa viva representa la proporción de biomasa aérea vegetal con follaje fotosintéticamente activo, conforme a lo indicado en la RCA N°226/2006. Los resultados del monitoreo anual de 2025 evidencian una clara variación estacional en este indicador, con un predominio de individuos sin copa viva durante todas las campañas (Tabla 4-6, Figura 4.12).

En todos los meses evaluados, la categoría 0 % presenta la mayor proporción de individuos, con valores de 62,1 % en enero, 58,9 % en abril, 86,5 % en julio y 66,7 % en octubre. En particular, durante julio se observa el mayor predominio de esta condición, lo que coincide con el periodo invernal.

Las clases intermedias de copa viva (5–25 % y 25–50 %) se registran principalmente en enero y abril, disminuyendo significativamente en julio y presentando una recuperación parcial en octubre. Por su parte, las clases de mayor cobertura (>50 %) se mantienen en proporciones bajas durante todo el año, con ausencia en algunos periodos.

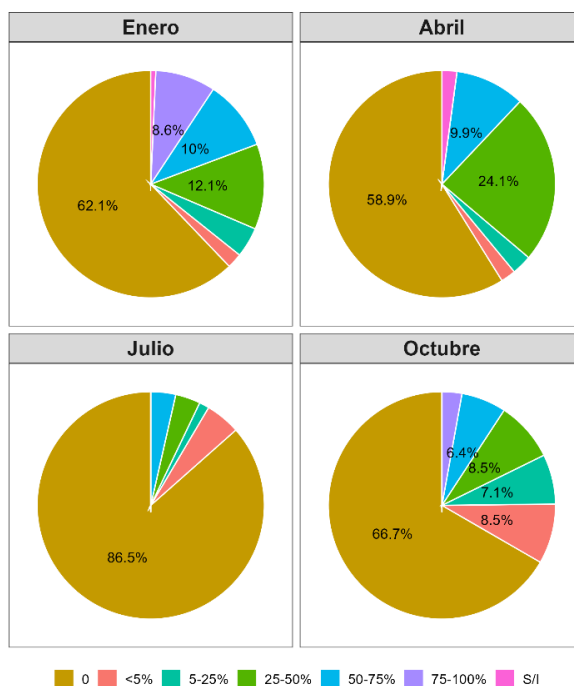
En conjunto, los resultados evidencian una baja proporción de individuos con follaje activo a lo largo del año, con variaciones asociadas a la estacionalidad de las campañas de monitoreo. Sin embargo, se debe mencionar que la alta proporción de individuos sin follaje en todos los periodos también podría estar influida por la permanencia de ejemplares senescentes de *T. absinthioides* dentro de las parcelas de monitoreo, aspecto que debe considerarse al interpretar las fluctuaciones en la cobertura foliar activa. En particular, cabe destacar que *T. absinthioides* representa el 87 % de los individuos monitoreados (123 de un total de 141), por lo que su comportamiento fenológico tiene un peso determinante en las tendencias generales observadas.

Tabla 4-6. Número y proporción de individuos por clase de copa viva

Clase de copa viva	Número de individuos por clase de copa viva				Proporción (%) del número de individuos por clase de copa viva			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
0%	87	83	122	94	62,14	58,87	86,52	66,67
<5%	3	3	7	12	2,14	2,13	4,96	8,51
5-25%	6	4	2	10	4,29	2,84	1,42	7,09
25-50%	17	34	5	12	12,14	24,11	3,55	8,51
50-75%	14	14	5	9	10,00	9,93	3,55	6,38
75-100%	12	0	0	4	8,57	0,00	0,00	2,84
Sin información	1	3	0	0	0,71	2,13	0,00	0,00
Total	140	141	141	141	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: elaboración propia

Figura 4.12. Porcentaje de copa viva de los individuos monitoreados en 2025



Fuente: elaboración propia

4.4.2.1 Porcentaje de copa viva según especie

En la siguiente sección, se muestra la evolución de la categoría de copa viva para las cuatro especies objeto de seguimiento *Atriplex atacamensis*, *Distichlis spicata*, *Nitrophila atacamensis* y *Tessaria absinthioides*, monitoreados para los trimestres del 2025: enero (verano), abril (otoño), julio (invierno) y octubre (primavera).

a. *Atriplex atacamensis*

La especie *A. atacamensis* presentó una alta proporción de individuos con copa viva durante las campañas de monitoreo 2025, evidenciando una condición relativamente activa en comparación con otras especies monitoreadas (En conjunto, los resultados muestran una alta proporción de individuos con copa viva a lo largo del año, con variaciones en la distribución de las clases de cobertura foliar entre campañas).

Figura 4.13).

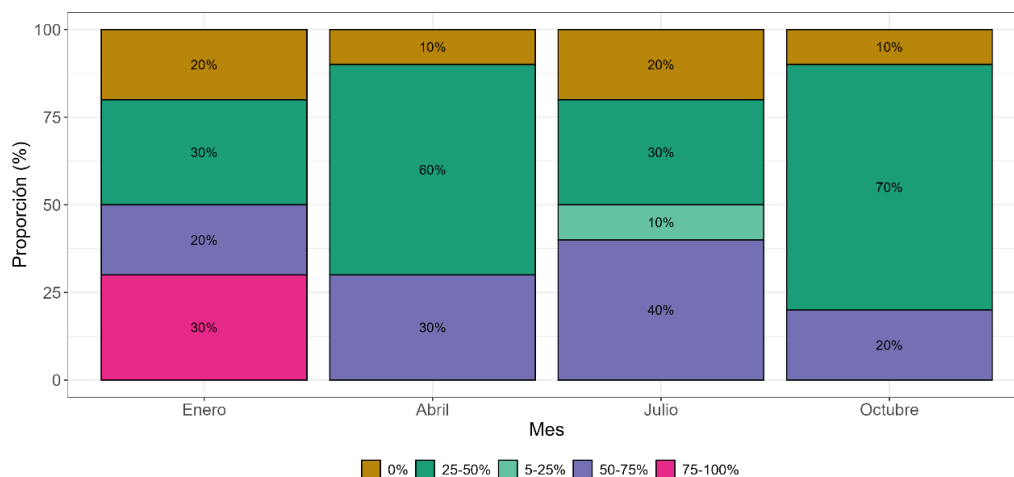
En enero, el 80 % de los individuos presentó follaje activo, distribuido principalmente en las clases 25–50 % (30 %) y 50–75 % (20 %), además de un 30 % en la clase 75–100 %. El 20 % restante correspondió a individuos sin copa viva (0 %).

En abril, se observó un aumento en la proporción de individuos con follaje, alcanzando un 90 %, con predominio de la clase 25–50 % (60 %), seguida de la clase 50–75 % (30 %). Solo un 10 % de los individuos se clasificó en la categoría 0 %.

Durante julio, el 80 % de los individuos presentó algún grado de copa viva, con una distribución entre las clases 50–75 % (40 %), 25–50 % (30 %) y 5–25 % (10 %), mientras que el 20 % restante correspondió a individuos sin follaje. Mientras que, en octubre, se registró nuevamente un 90 % de individuos con copa viva, concentrándose principalmente en la clase 25–50 % (70 %) y en menor proporción en 50–75 % (20 %). El 10 % de los individuos no presentó follaje activo.

En conjunto, los resultados muestran una alta proporción de individuos con copa viva a lo largo del año, con variaciones en la distribución de las clases de cobertura foliar entre campañas.

Figura 4.13. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Atriplex atacamensis* monitoreados en las campañas 2025



Fuente: elaboración propia

b. *Distichlis spicata*

La especie *D. spicata* presentó variaciones en la distribución de las categorías de copa viva a lo largo de las campañas de monitoreo realizadas en 2025, manteniendo en todos los casos presencia de individuos con follaje activo (Figura 4.14).

En enero, el 100 % de los individuos presentó copa viva, con predominio de la clase 25–50 % (80 %) y en menor proporción de la clase 5–25 % (20 %).

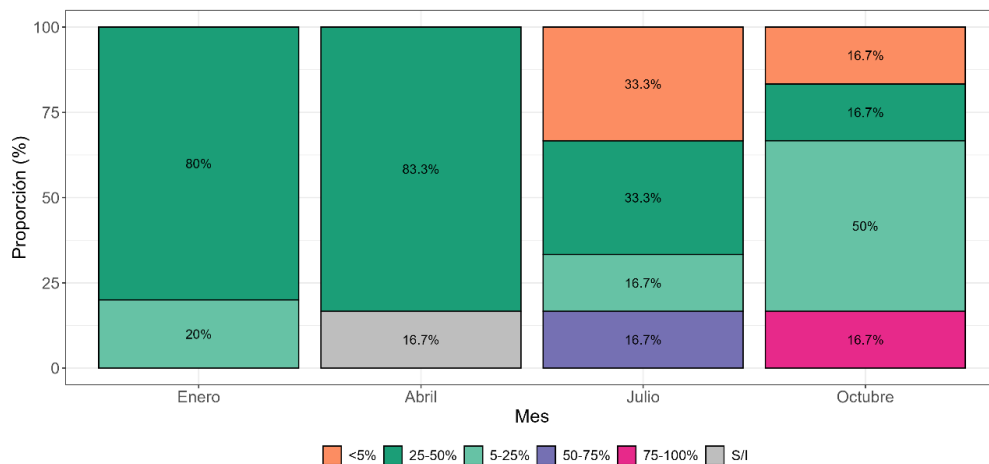
En abril, se mantuvo una alta proporción de individuos con follaje, concentrándose en la clase 25–50 % (83,3 %), mientras que un 16,7 % de los registros correspondió a individuos sin información (S/I).

Durante julio, se observó una mayor dispersión en las clases de cobertura foliar, con individuos distribuidos en las categorías <5 % (33,3 %), 25–50 % (33,3 %), 5–25 % (16,7 %) y 50–75 % (16,7 %), sin registros en la categoría 0 %.

En octubre, el 100 % de los individuos presentó algún grado de copa viva, con predominio de la clase 5–25 % (50 %), seguida por las clases 25–50 % (16,7 %), <5 % (16,7 %) y 75–100 % (16,7 %).

En conjunto, los resultados muestran la presencia continua de follaje activo en los individuos monitoreados, con variaciones en la proporción de cobertura foliar entre campañas.

Figura 4.14. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Distichlis spicata* monitoreados en las campañas de 2025



S/I Individuos que no pudieron ser monitoreados por falta de acceso a la parcela o no ser localizados en terreno.

Fuente: elaboración propia

c. *Nitrophila atacamensis*

La especie *N. atacamensis* presentó una marcada variabilidad estacional en la proporción de copa viva entre las campañas de monitoreo realizadas en 2025 (Figura 4.15).

En los meses de verano (enero), los individuos se distribuyeron equitativamente entre las categorías de cobertura 5–25 % y 25–50 %, con un 50 % de los ejemplares en cada clase, lo que sugiere una actividad fotosintética moderada. Durante abril, esta tendencia se mantuvo para la mitad de los individuos (25–50 %), mientras que la otra mitad presentó un aumento en la cobertura foliar, alcanzando la categoría 50–75 %.

La especie *Nitrophila atacamensis* presentó una marcada variación en la proporción de copa viva entre las campañas de monitoreo realizadas en 2025 (Figura 4.15).

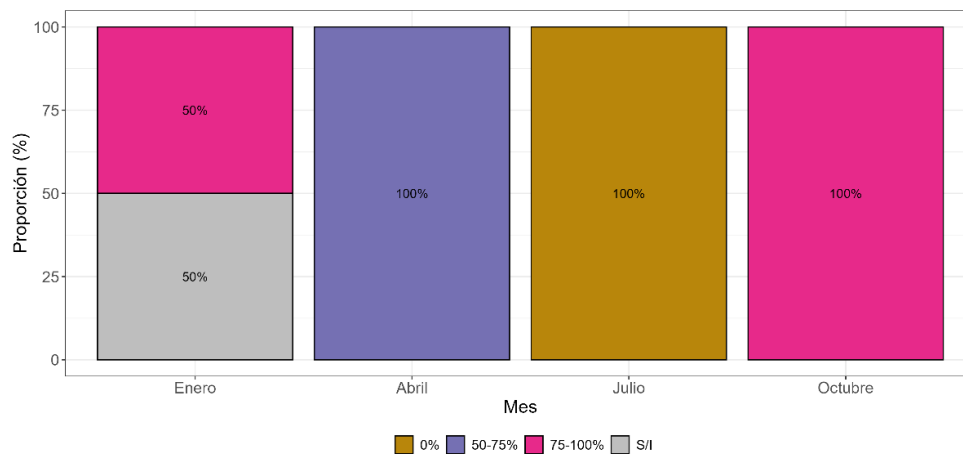
En enero, los registros se distribuyen entre individuos con alta cobertura foliar (75–100 %, 50 %) y casos sin información (50 %), sin presencia de clases intermedias de copa viva.

En abril, el 100 % de los individuos presentó una cobertura de copa viva en la categoría 50–75 %, evidenciando una condición homogénea en este periodo. Mientras que, durante julio, todos los individuos se registraron en la categoría 0 %, sin presencia de follaje activo.

En octubre, se observó una recuperación, con el 100 % de los individuos en la categoría 75–100 %, correspondiente a una alta cobertura de copa viva.

En conjunto, los resultados muestran cambios marcados en la cobertura foliar entre campañas, con presencia de periodos sin follaje activo y otros con alta cobertura. Sin embargo, debido al bajo número de individuos monitoreados ($n = 2$), estos resultados deben interpretarse con cautela.

Figura 4.15. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Nitrophila atacamensis* monitoreados en las campañas 2025



S/I Individuos que no pudieron ser monitoreados por falta de acceso a la parcela o no ser localizados en terreno.

Fuente: elaboración propia

d. *Tessaria absinthioides*

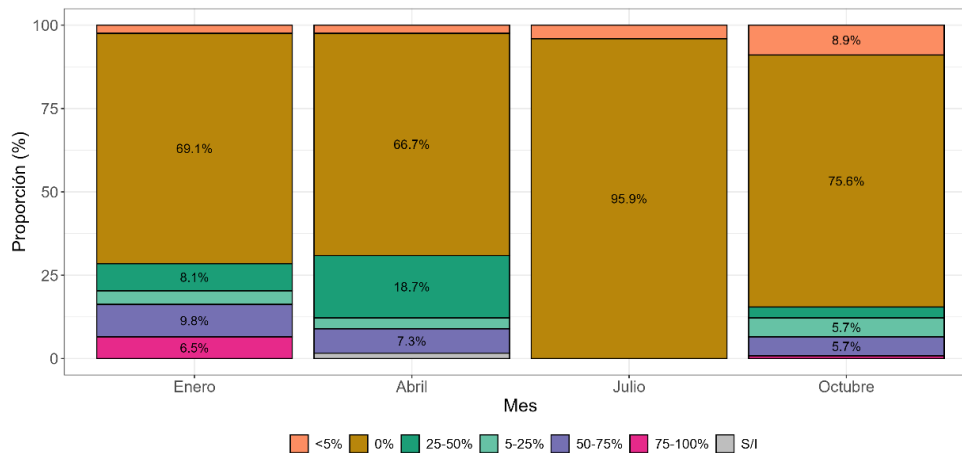
La especie *T. absinthioides* presentó una baja proporción de cobertura foliar activa a lo largo de todas las campañas de monitoreo realizadas en 2025 (Figura 4.16), con una alta dominancia de individuos en la categoría 0 % (sin copa viva).

En enero, el 69,1 % de los individuos se registró sin follaje, mientras que el resto se distribuyó en proporciones menores entre las clases 25–50 % (8,1 %), 50–75 % (9,8 %) y 75–100 % (6,5 %). Por su parte, en abril, el 66,7 % de los individuos permaneció en la categoría 0 %, mientras que un 18,7 % presentó cobertura entre 25–50 % y un 7,3 % entre 50–75 %.

Durante julio, se observó el mayor predominio de individuos sin follaje, alcanzando un 95,9 % en la categoría 0 %. Y para octubre, el 75,6 % de los individuos se mantuvo sin copa viva, mientras que el resto se distribuyó en proporciones menores entre las categorías <5 % (8,9 %), 25–50 % (5,7 %) y 50–75 % (5,7 %).

En conjunto, los resultados muestran un predominio de individuos sin follaje activo durante todas las campañas, con presencia de cobertura foliar en proporciones bajas y variables entre periodos. Este patrón podría estar asociado a condiciones ambientales restrictivas para los individuos monitoreados o como hemos señalado previamente el número de individuos que permanecen senescente o muertos durante el año.

Figura 4.16. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Tessaria absinthioides* monitoreados en las campañas de 2025



S/I Individuos que no pudieron ser monitoreados por falta de acceso a la parcela o no ser localizados en terreno.

Fuente: elaboración propia

4.4.3 Vitalidad

Durante las campañas de monitoreo realizadas a lo largo del año 2025, se observó una alta proporción de individuos en condición seca, siendo esta la categoría predominante en todos los periodos evaluados (Tabla 4-7, Figura 4.17).

En enero, el 62,14 % de los individuos fue clasificado como Seco, mientras que un 17,86 % presentó Crecimiento normal y un 15,00 % se registró como Excepcionalmente vigoroso. Las categorías de menor vitalidad estuvieron representadas por un 4,29 % de individuos en condición débil.

En abril, la proporción de individuos secos alcanzó el 58,87 %, acompañada por un aumento en las categorías de menor vitalidad, con un 13,48 % de individuos muy débiles y un 12,06 % débiles. El crecimiento normal se registró en un 12,77 % de los individuos, mientras que la categoría Excepcionalmente vigoroso presentó una baja representación (0,71 %).

Durante julio, se observó el mayor predominio de individuos secos, con un 86,52 %, mientras que las categorías de Crecimiento normal (7,80 %), Débil (4,96 %) y Muy débil (0,71 %) presentaron valores bajos.

En octubre, el 66,67 % de los individuos se mantuvo en condición seca, mientras que un 13,48 % presentó crecimiento normal, un 11,35 % condición débil y un 8,51 % muy débil, sin registros en la categoría excepcionalmente vigoroso.

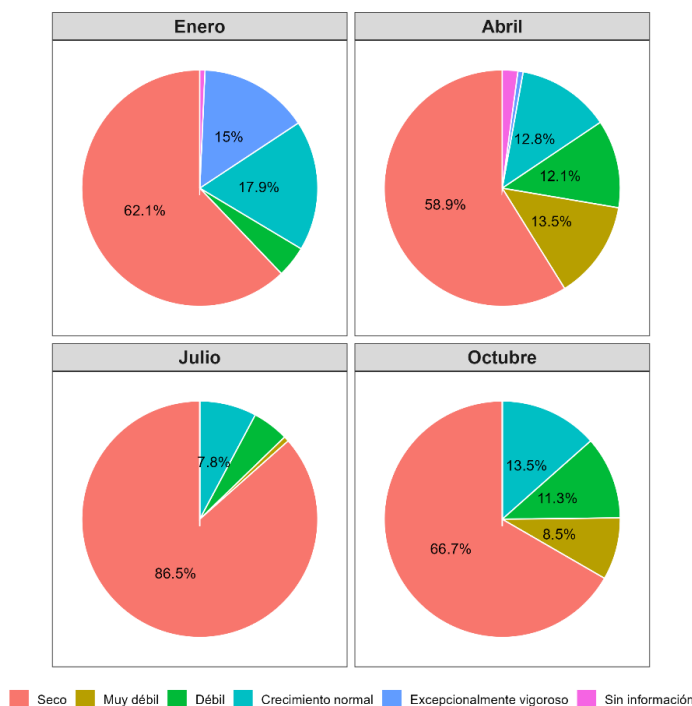
En conjunto, los resultados muestran un predominio de individuos en condición seca a lo largo del año, con variaciones en la distribución de las categorías de vitalidad entre campañas.

Tabla 4-7. Resumen de individuos por categoría de vitalidad

Categoría	Número de Individuos por categoría de vitalidad				Proporción (%) del número de individuos por categoría de vitalidad			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
Seco	87	83	122	94	62,14	58,87	86,52	66,67
Muy débil	0	19	1	12	0,00	13,48	0,71	8,51
Débil	6	17	7	16	4,29	12,06	4,96	11,35
Crecimiento normal	25	18	11	19	17,86	12,77	7,80	13,48
Excepcionalmente vigoroso	21	1	0	0	15,00	0,71	0,00	0,00
Sin información	1	3	0	0	0,71	2,13	0,00	0,00
Total	140	141	141	141	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: elaboración propia

Figura 4.17. Vitalidad de los individuos monitoreados en las campañas de 2025



Fuente: elaboración propia

4.4.3.1 Vitalidad según especies

En la siguiente sección, se muestra la evolución de la categoría de vitalidad para las cuatro especies objeto de seguimiento *A. atacamensis*, *D. spicata*, *N. atacamensis* y *T. absinthioides*, monitoreados para los trimestres del 2025: enero (verano), abril (otoño), julio (invierno) y octubre (primavera).

a. *Atriplex atacamensis*

La especie *Atriplex atacamensis* presentó variaciones en las categorías de vitalidad a lo largo de las campañas de monitoreo realizadas en 2025, con predominio del estado de Crecimiento normal en la mayoría de los periodos (Figura 4.18).

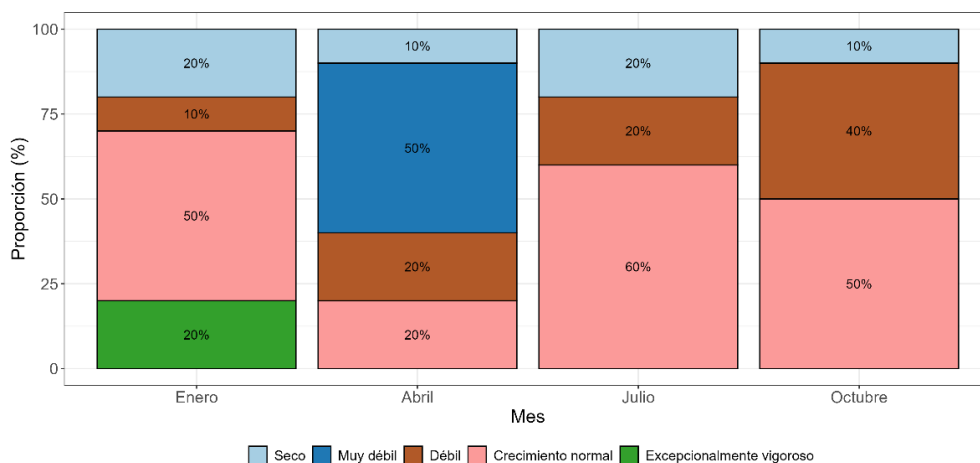
En enero, el 50 % de los individuos se clasificó en Crecimiento normal, seguido por un 20 % en condición Excepcionalmente vigorosa, un 10 % en estado débil y un 20 % en condición seca.

En abril, se observó un predominio de individuos en condición Muy débil (50 %), acompañado por un 20 % en estado débil y un 20 % en Crecimiento normal, mientras que un 10 % se clasificó como Seco.

Durante julio, el 60 % de los individuos presentó crecimiento normal, seguido por un 20 % en condición débil y un 20 % en estado seco. Para octubre, el 50 % de los individuos se mantuvo en crecimiento normal, mientras que un 40 % se clasificó en condición débil y un 10 % en estado seco.

Los resultados muestran variaciones en las categorías de vitalidad entre campañas, con predominio del crecimiento normal en varios periodos del año.

Figura 4.18. Vitalidad de los individuos de *Atriplex atacamensis* monitoreados en la campaña 2025



Fuente: elaboración propia

b. *Distichlis spicata*

La especie *D. spicata* presentó variaciones en las categorías de vitalidad a lo largo de las campañas de monitoreo realizadas en 2025, con predominio de estados intermedios de vitalidad (Figura 4.19).

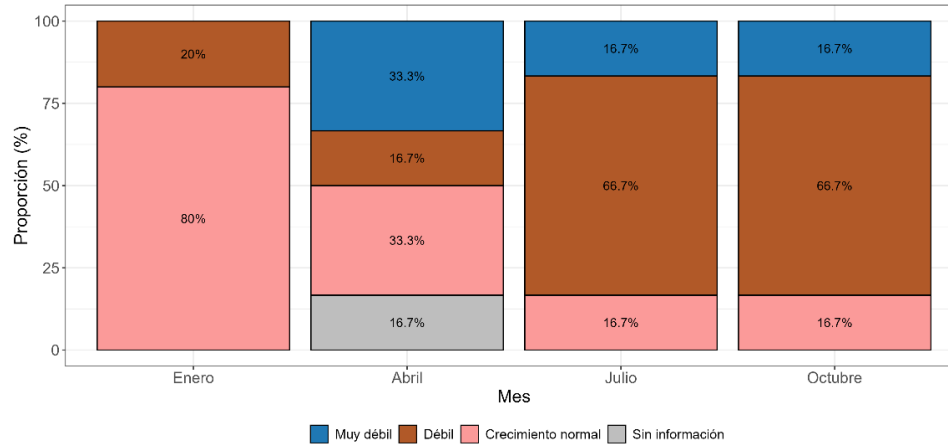
En enero, el 80 % de los individuos se clasificó en crecimiento normal, mientras que el 20 % restante se registró en condición débil. Para abril, se observó una mayor dispersión en las categorías de vitalidad, con un 33,3 % de los individuos en condición muy débil, un 33,3 % en crecimiento normal y un 16,7 % en condición débil.

Durante julio, predominó la categoría débil (66,7 %), seguida por crecimiento normal (16,7 %) y muy débil (16,7 %), sin registros en las categorías seco ni excepcionalmente vigoroso.

En octubre, se mantuvo una distribución similar a la observada en julio, con un 66,7 % de los individuos en condición débil, un 16,7 % en crecimiento normal y un 16,7 % en condición muy débil.

En conjunto, los resultados muestran una predominancia de categorías intermedias de vitalidad, con variaciones en la distribución de los estados entre campañas.

Figura 4.19. Vitalidad de los individuos de *Distichlis spicata* monitoreados en las campañas de 2025



S/I Individuos que no pudieron ser monitoreados por falta de acceso a la parcela o no ser localizados en terreno.

Fuente: elaboración propia

c. *Nitrophila atacamensis*

La especie *N. atacamensis* presentó variaciones marcadas en las categorías de vitalidad entre las campañas de monitoreo realizadas en 2025 (

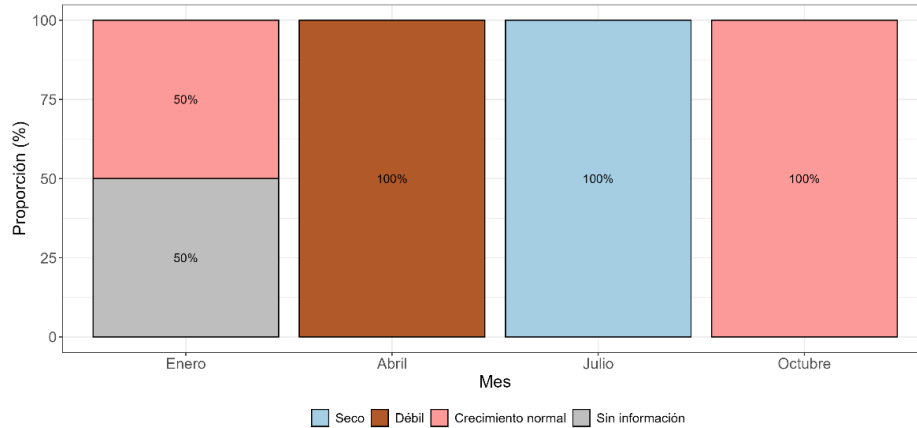
Figura 4.20).

En enero, los registros se distribuyen entre individuos en crecimiento normal (50 %) y casos sin información (50 %), sin presencia de otras categorías de vitalidad. Durante abril, el 100 % de los individuos se clasificó en condición débil, evidenciando una condición homogénea en este periodo.

En julio, se observó un cambio hacia la categoría seco, con el 100 % de los individuos sin vitalidad aparente. Sin embargo, en octubre, se registró una condición opuesta, con el 100 % de los individuos en crecimiento normal.

En conjunto, los resultados muestran cambios marcados en el estado de vitalidad entre campañas, con alternancia entre categorías dominantes. Este patrón sugiere que *N. atacamensis* responde de forma marcadamente estacional, alternando entre fases de receso total y fases de recuperación de vitalidad.

Figura 4.20. Vitalidad de los individuos de *Nitrophila atacamensis* monitoreados en las campañas de 2025



S/I Individuos que no pudieron ser monitoreados por falta de acceso a la parcela o no ser localizados en terreno.

Fuente: elaboración propia

d. *Tessaria absinthioides*

La especie *T. absinthioides* presentó una condición de vitalidad dominada por la categoría seco durante todas las campañas de monitoreo realizadas en 2025 (

Figura 4.21).

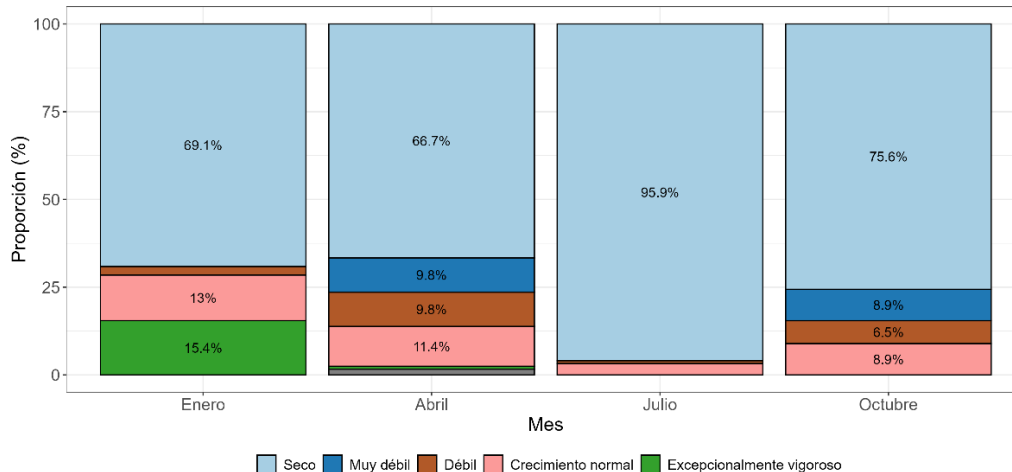
En enero, el 69,1 % de los individuos se clasificó como seco, mientras que un 13,0 % presentó crecimiento normal y un 15,4 % se registró como excepcionalmente vigoroso, con valores bajos en otras categorías.

En abril, el 66,7 % de los individuos se mantuvo en condición seca, acompañado por un 9,8 % en condición muy débil, un 9,8 % en estado débil y un 11,4 % en crecimiento normal.

Durante julio, se observó el mayor predominio de individuos secos, alcanzando un 95,9 %, con una proporción mínima de individuos en crecimiento normal. Para octubre, el 75,6 % de los individuos permaneció en la categoría seco, mientras que el resto se distribuyó entre muy débil (8,9 %), débil (6,5 %) y crecimiento normal (8,9 %).

En conjunto, los resultados muestran un predominio de la categoría seco a lo largo del año, con presencia de otras categorías de vitalidad en proporciones menores y variables entre campañas. Aunque se observan señales puntuales de recuperación, la tendencia general podría estar indicando una elevada sensibilidad a condiciones ambientales restrictivas o un proceso de disminución gradual asociado al ciclo de vida de esta especie.

Figura 4.21 Vitalidad de los individuos de *Tessaria absinthioides* monitoreados en las campañas de 2025



Fuente: elaboración propia

5 Discusión

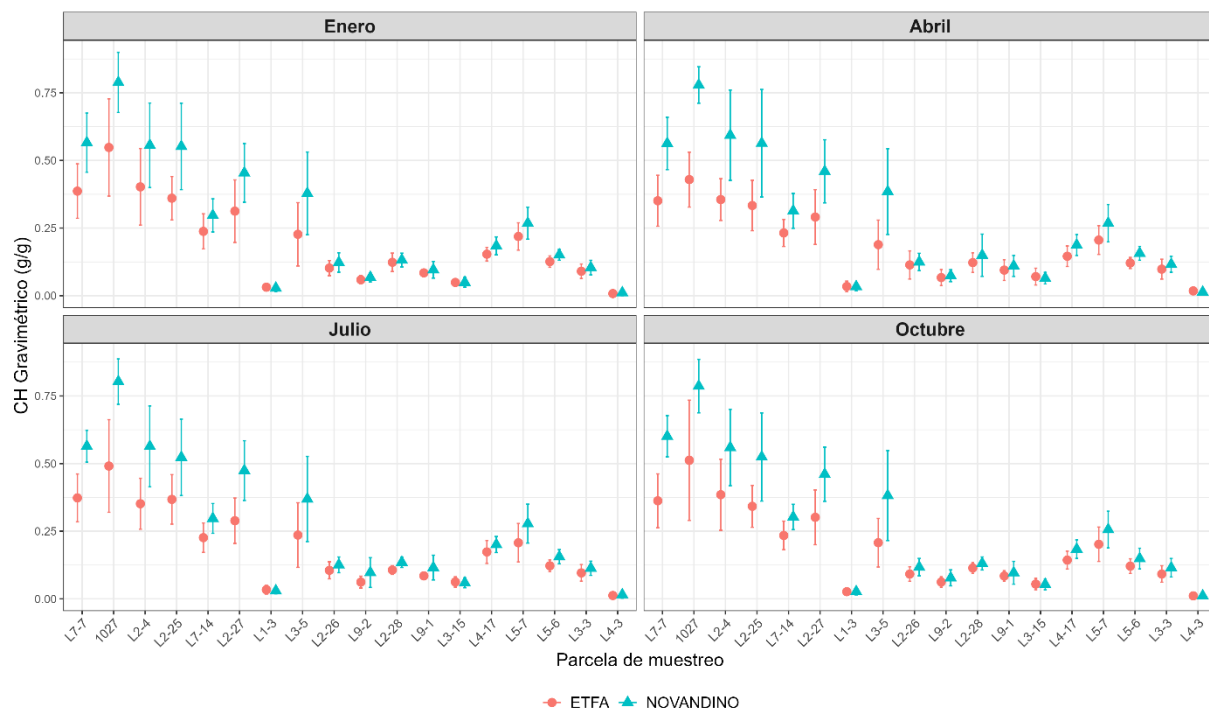
En la siguiente sección se presenta un análisis del período histórico disponible para los parámetros ambientales evaluados, incluyendo el contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS), la profundidad de la napa freática y el estado vital de la vegetación (fenología, cobertura de follaje verde y vitalidad de las plantas). Este análisis abarca desde el año 2007 hasta 2025, permitiendo observar tendencias temporales y posibles relaciones entre estas variables.

En la Figura 5.1 se observa la variación estacional del contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) para el período 2007-2025, complementada con los datos presentados desde la Tabla 5-1 a Tabla 5-10, que corresponden a valores promedio por parcela de monitoreo y trimestre. En términos espaciales, se mantiene el patrón previamente documentado con mayores contenidos de humedad en las parcelas ubicadas al oeste del área de estudio (por ejemplo, L7-7 y 1027), mientras que las parcelas orientales (como L4-3 y L3-3) presentan consistentemente los valores más bajos de CHS, con registros cercanos a cero en todos los periodos evaluados. Esta diferencia ha sido reportada en estudios previos, y podría estar asociada a factores como la exposición, pendiente y características edáficas propias de los sectores orientales.

A nivel temporal, se mantiene el patrón de mayor contenido de humedad en los meses de enero y abril, lo que podría estar relacionado con eventos de precipitación o recarga puntual, de acuerdo con los antecedentes de precipitación histórica (Anexo 3). Este comportamiento sugiere que la variabilidad intra-anual continúa siendo un factor relevante en la disponibilidad hídrica del suelo, aspecto clave al analizar su relación con el estado vital de la vegetación.

En cuanto a la comparación entre laboratorios, se observa de manera consistente a nivel histórico que el laboratorio ETFa reporta valores ligeramente inferiores a los obtenidos por el Laboratorio Metalúrgico de Novandino, especialmente en parcelas con mayores contenidos de humedad. No obstante, ambos conjuntos de datos presentan patrones espaciales y temporales concordantes, lo que indica que las tendencias generales del CHS se mantiene independientemente del laboratorio que realiza la medición. En este contexto, y con fines de consistencia en los análisis históricos, se consideran los datos correspondientes al Laboratorio Metalúrgico de Nova Andino Litio.

Figura 5.1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

Tabla 5-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de Novandino Litio. Mes de enero, período 2007–2025

Parcela de monitoreo	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2007	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
2008	0,798	0,894	0,614	0,935	0,247	0,48	0,013	0,381	0,127	0,072	0,149	0,105	0,031	0,224	0,233	0,17	0,103	0,005
2009	0,723	0,908	0,524	0,707	0,263	0,501	0,007	0,385	0,104	0,069	0,151	0,031	0,014	0,209	0,23	0,166	0,063	0,003
2010	0,499	0,731	0,997	0,625	0,384	0,622	0,024	0,603	0,202	0,092	0,177	0,17	0,023	0,225	0,356	0,16	0,116	0,008
2011	0,487	0,798	0,769	0,828	0,354	0,578	0,022	0,554	0,184	0,044	0,146	0,096	0,043	0,208	0,299	0,162	0,122	0,003
2012	0,537	0,78	0,461	0,397	0,353	0,487	0,021	0,418	0,119	0,041	0,148	0,049	0,055	0,19	0,239	0,158	0,128	0,001
2013	0,559	0,876	0,622	0,792	0,364	0,555	0,033	0,56	0,105	0,085	0,085	0,114	0,085	0,225	0,339	0,163	0,112	0,044
2014	0,512	0,7	0,631	0,505	0,3	0,469	0,03	0,553	0,114	0,065	0,121	0,087	0,061	0,162	0,213	0,163	0,135	0,005
2015	0,55	0,734	0,549	0,426	0,316	0,464	0,029	0,48	0,114	0,09	0,122	0,118	0,057	0,143	0,329	0,155	0,092	0,003
2016	0,501	0,83	0,555	0,465	0,324	0,546	0,033	0,466	0,14	0,087	0,126	0,102	0,05	0,137	0,336	0,166	0,112	0,017
2017	0,531	0,785	0,48	0,477	0,354	0,46	0,024	0,378	0,106	0,067	0,139	0,125	0,04	0,217	0,361	0,167	0,085	0,006
2018	0,51	0,806	0,483	0,48	0,291	0,491	0,025	0,436	0,122	0,091	0,124	0,098	0,048	0,185	0,221	0,167	0,126	0,01
2019	0,632	0,913	0,717	0,577	0,34	0,472	0,059	0,423	0,189	0,071	0,175	0,093	0,052	0,153	0,224	0,149	0,111	0,003
2020	0,523	0,78	0,559	0,476	0,221	0,488	0,031	0,163	0,11	0,068	0,141	0,086	0,068	0,178	0,231	0,112	0,123	0,017
2021	S/I	S/I	0,447	0,472	0,282	0,376	0,043	0,22	0,103	0,079	0,139	0,107	0,07	0,176	0,266	0,146	0,12	0,018
2022	0,39	0,641	0,336	0,406	0,137	0,247	0,004	0,127	0,064	0,048	0,108	0,065	0,025	0,122	0,174	0,114	0,043	0,004
2023	0,537	0,904	0,41	0,445	0,28	0,428	0,038	0,331	0,128	0,062	0,133	0,121	0,059	0,217	0,284	0,157	0,137	0,03
2024	0,764	0,48	0,431	0,451	0,242	0,281	0,034	0,152	0,087	0,049	0,088	0,068	0,055	0,153	0,304	0,118	0,069	0,013
2025	S/I	0,840	0,424	0,468	0,293	0,227	0,040	0,181	0,097	0,045	0,105	0,093	0,054	0,191	0,187	0,123	0,075	0,010
CHS Promedio ± Desv Stand	0,548	0,805	0,556	0,552	0,297	0,454	0,028	0,378	0,123	0,068	0,132	0,096	0,049	0,184	0,268	0,151	0,104	0,011
	0,094	0,076	0,152	0,155	0,059	0,106	0,013	0,148	0,035	0,017	0,025	0,030	0,017	0,032	0,058	0,019	0,026	0,011

S/I: Indica que no se pudieron tomar mediciones. Por ejemplo, el monitoreo de enero de 2007 no es presentado ya que los reportes del informe comenzaron en abril de ese año (en la etapa preoperacional del proyecto). Se aclara que el monitoreo (operacional) inició una vez que los pozos (tanto de extracción como de observación) fueron habilitados, comenzando en julio de 2007.

Tabla 5-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de Novandino Litio. Mes de abril, período 2007 – 2025

Parcela de monitoreo	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2007	0,453	0,753	0,838	1,079	0,217	0,496	0,04	0,524	0,183	0,097	0,183	0,115	0,066	0,242	0,338	0,198	0,133	0,004
2008	0,644	0,798	0,795	0,817	0,258	0,509	0,029	0,403	0,131	0,107	0,157	0,056	0,052	0,211	0,259	0,18	0,132	0,004
2009	0,872	0,666	0,929	1,017	0,362	0,766	0,019	0,628	0,156	0,068	0,167	0,178	0,039	0,263	0,244	0,163	0,121	0,009
2010	0,623	0,849	0,845	0,6	0,381	0,552	0,086	0,54	0,171	0,058	0,137	0,147	0,052	0,238	0,448	0,179	0,111	0,007
2011	0,533	0,858	0,529	0,554	0,491	0,502	0,017	0,626	0,104	0,037	0,104	0,051	0,067	0,163	0,238	0,187	0,106	0,01
2012	0,56	0,84	0,707	0,641	0,379	0,582	0,035	0,502	0,138	0,088	0,166	0,086	0,096	0,197	0,28	0,158	0,168	0,017
2013	0,533	0,831	0,618	0,463	0,327	0,458	0,028	0,443	0,128	0,066	0,106	0,128	0,084	0,162	0,313	0,165	0,124	0,009
2014	0,548	0,732	0,475	0,397	0,344	0,445	0,037	0,419	0,129	S/I	0,117	0,21	0,051	0,19	0,238	0,162	0,135	0,007
2015	0,551	0,718	0,628	0,4	0,331	0,451	0,027	0,424	0,114	0,091	0,143	0,118	0,054	0,177	0,242	0,202	0,157	0,033
2016	0,515	0,778	0,534	0,455	0,289	0,479	0,028	0,5	0,106	0,082	0,455	0,106	0,05	0,183	0,317	0,165	0,102	0,013
2017	0,651	0,818	0,556	0,507	0,32	0,533	0,027	0,429	0,139	0,1	0,135	0,112	0,06	0,16	0,302	0,162	0,104	0,018
2018	0,5	0,705	0,65	0,569	0,317	0,417	0,025	0,321	0,106	0,084	0,13	0,101	0,048	0,136	0,248	0,133	0,077	0,008
2019	S/I	S/I	0,612	0,512	0,324	0,398	0,05	0,434	0,175	0,104	0,161	0,112	0,086	0,234	0,325	0,138	0,161	0,033
2020	S/I	S/I	0,382	0,392	0,213	0,53	0,033	0,287	0,089	0,074	0,118	0,125	0,068	0,163	0,297	0,15	0,111	0,014
2021	0,482	0,711	0,434	0,475	0,282	0,32	0,026	0,189	0,095	0,065	0,1	0,116	0,053	0,179	0,187	0,144	0,126	0,018
2022	0,559	0,671	0,356	0,428	0,251	0,311	0,019	0,168	0,076	0,028	0,128	0,074	0,044	0,102	0,152	0,114	0,059	0,006
2023	0,539	0,848	0,515	0,475	0,287	0,418	0,053	0,195	0,149	0,065	0,134	0,102	0,128	0,188	0,297	0,14	0,123	0,024
2024	0,485	0,861	0,432	0,445	0,307	0,284	0,033	0,141	0,102	0,062	0,106	0,077	0,06	0,195	0,203	0,123	0,074	0,014
2025	0,519	0,800	0,438	0,483	0,277	0,284	0,030	0,141	0,080	0,058	0,098	0,081	0,074	0,180	0,167	0,117	0,083	0,007
CHS Promedio ± Desv Stand	0,563	0,779	0,593	0,564	0,314	0,460	0,034	0,385	0,125	0,074	0,150	0,110	0,065	0,188	0,268	0,157	0,116	0,013
	0,094	0,065	0,163	0,199	0,061	0,118	0,016	0,161	0,029	0,021	0,080	0,040	0,021	0,038	0,069	0,026	0,028	0,008

Tabla 5-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de Novandino Litio. Mes de julio, período 2007 – 2025

Parcela de monitoreo	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2007	S/I	0,806	0,759	0,987	0,237	0,568	0,024	S/I	S/I	0,12	S/I	0,094	S/I	S/I	0,272	0,183	0,097	0,004
2008	0,577	0,913	0,484	0,583	0,279	0,509	0,031	0,41	0,16	0,069	0,159	0,093	0,05	0,208	0,263	0,175	0,109	0,015
2009	0,693	0,857	0,868	0,642	0,332	0,546	0,022	0,304	0,156	0,129	0,168	0,228	0,031	0,202	0,388	0,177	0,142	0,01
2010	0,601	0,767	0,864	0,74	0,365	0,637	0,024	0,691	0,19	0,122	0,149	0,169	0,044	0,262	0,377	0,186	0,15	0,008
2011	0,53	0,802	0,534	0,446	0,23	0,49	0,022	0,419	0,122	0,071	0,14	0,138	0,031	0,25	0,282	0,185	0,102	0,005
2012	0,619	0,799	0,673	0,545	0,383	S/I	0,026	0,519	0,136	0,111	0,164	0,112	0,091	0,213	0,339	0,098	0,146	0,017
2013	0,608	0,925	0,617	0,458	0,334	0,697	0,038	0,549	0,133	0,085	0,137	0,139	0,077	0,214	0,363	0,171	0,106	0,009
2014	0,563	0,694	0,551	0,457	0,337	0,519	0,033	0,39	0,119	0,071	0,129	0,09	0,064	0,183	0,222	0,178	0,109	0,005
2015	0,594	0,909	0,638	0,455	0,337	0,465	0,029	0,541	0,119	0,087	0,128	0,103	0,052	0,179	0,318	0,167	0,144	0,029
2016	0,519	0,728	0,516	0,397	0,312	0,493	0,022	0,47	0,106	0,076	0,119	0,098	0,05	0,179	0,284	0,174	0,113	0,015
2017	0,617	0,781	0,616	0,46	0,349	0,548	0,025	0,485	0,139	0,095	0,15	0,118	0,062	0,18	0,298	0,167	0,117	0,017
2018	0,496	0,799	0,448	0,488	0,328	0,506	0,03	0,39	0,151	0,084	0,116	0,094	0,056	0,163	0,267	0,161	0,09	0,005
2019	0,608	0,813	0,507	0,515	0,233	0,448	0,054	0,337	0,138	0,103	0,158	0,108	0,09	0,234	0,378	0,148	0,169	0,029
2020	S/I	S/I	0,446	0,426	0,231	0,347	0,035	0,232	0,101	0,075	0,107	0,095	0,064	0,143	0,201	0,128	0,085	0,017
2021	0,522	0,6	0,48	0,542	0,342	0,421	0,039	0,227	0,127	0,095	0,135	0,218	0,064	0,219	0,301	0,144	0,117	0,018
2022	0,508	0,712	0,299	0,392	0,188	0,314	0,008	0,178	0,074	0,031	0,121	0,074	0,037	0,211	0,151	0,137	0,081	0,059
2023	0,57	0,847	0,559	0,495	0,257	0,421	0,053	0,202	0,12	0,068	0,122	0,088	0,082	0,187	0,213	0,145	0,111	0,018
2024	0,467	0,888	0,391	0,445	0,278	0,287	0,019	0,141	0,08	0,301	0,111	0,05	0,051	0,193	0,188	0,111	0,073	0,006
2025	0,500	0,814	0,459	0,465	0,295	0,321	0,038	0,159	0,093	0,057	0,120	0,089	0,073	0,194	0,179	0,126	0,091	0,009
CHS Promedio ± Desv Stand	0,564	0,803	0,559	0,501	0,305	0,476	0,030	0,377	0,127	0,097	0,137	0,118	0,059	0,204	0,283	0,156	0,116	0,016
	0,057	0,084	0,143	0,086	0,052	0,107	0,011	0,154	0,028	0,056	0,018	0,046	0,018	0,026	0,071	0,025	0,026	0,013

Tabla 5-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de Novandino Litio. Mes de octubre, período 2007 – 2025

Parcela de monitoreo	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2007	0,713	0,776	0,731	0,974	0,275	0,515	0,012	0,525	0,142	0,141	0,131	0,075	0,078	0,208	0,349	0,215	0,166	0,005
2008	0,609	0,958	0,648	0,712	0,272	0,520	0,024	0,348	0,134	0,126	0,165	0,093	0,031	0,225	0,239	0,195	0,134	0,003
2009	0,694	0,673	0,878	0,556	0,358	0,545	0,030	0,681	0,153	0,102	0,178	0,224	0,043	0,241	0,416	0,159	0,138	0,006
2010	0,751	0,763	0,547	0,410	0,344	0,512	0,020	0,481	0,169	0,06	0,124	0,102	0,040	0,203	0,26	0,088	0,136	0,007
2011	0,664	0,826	0,527	0,386	0,337	0,540	0,018	0,498	0,146	0,053	0,134	0,124	0,035	0,222	0,251	0,183	0,098	0,003
2012	0,644	0,838	0,611	0,852	0,348	0,610	0,031	0,527	0,123	0,101	0,151	0,113	0,059	0,212	0,290	0,175	0,132	0,011
2013	0,649	0,817	0,534	0,478	0,344	0,578	0,042	0,49	0,115	0,078	0,138	0,136	0,060	0,186	0,252	0,161	0,128	0,008
2014	0,632	0,712	0,526	0,512	0,321	0,539	0,039	0,465	0,124	0,075	0,138	0,04	0,076	0,17	0,286	0,163	0,129	0,005
2015	0,529	0,856	0,748	0,482	0,332	0,481	0,025	0,471	0,134	0,086	0,14	0,098	0,048	0,186	0,258	0,171	0,151	0,022
2016	0,57	0,915	0,624	0,491	0,326	0,529	0,027	0,435	0,111	0,075	0,114	0,101	0,049	0,178	0,254	0,164	0,114	0,011
2017	0,573	0,707	0,511	0,621	0,316	0,406	0,033	0,51	0,115	0,095	0,136	0,102	0,059	0,169	0,249	0,151	0,105	0,016
2018	0,535	0,977	0,640	0,515	0,341	0,537	0,034	0,422	0,140	0,079	0,15	0,113	0,079	0,200	0,301	0,153	0,125	0,015
2019	S/I	S/I	0,643	0,455	0,248	0,411	0,047	0,344	0,136	0,083	0,148	0,107	0,085	0,211	0,307	0,154	0,168	0,026
2020	S/I	S/I	0,472	0,445	0,278	0,379	0,037	0,289	0,113	0,074	0,114	0,105	0,067	0,154	0,292	0,158	0,111	0,023
2021	0,533	0,663	0,368	0,425	0,287	0,293	0,000	0,157	0,069	0,055	0,128	0,091	0,028	0,162	0,172	0,120	0,085	-0,010
2022	0,527	0,668	0,337	0,318	0,166	0,303	0,005	0,034	0,040	0,009	0,086	0,035	0,010	0,128	0,110	0,053	0,040	0,003
2023	0,550	0,751	0,516	0,472	0,264	0,342	0,032	0,161	0,102	0,042	0,103	0,047	0,057	0,184	0,190	0,142	0,090	0,010
2024	0,479	0,70	0,360	0,436	0,281	0,319	0,025	0,156	0,069	0,058	0,083	0,077	0,045	0,147	0,181	0,105	0,073	0,008
2025	0,564	0,766	0,407	0,423	0,315	0,390	0,028	0,262	0,095	0,087	0,129	0,051	0,069	0,108	0,212	0,120	0,061	0,040
CHS Promedio ± Desv Stand	0,601	0,786	0,559	0,524	0,303	0,460	0,027	0,382	0,117	0,078	0,131	0,097	0,054	0,184	0,256	0,149	0,115	0,011
	0,074	0,096	0,137	0,158	0,046	0,097	0,012	0,162	0,031	0,029	0,023	0,041	0,019	0,033	0,066	0,037	0,033	0,010

Tabla 5-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de Novandino Litio. Promedio anual, período 2007-2025

Parcela de monitoreo	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2007	0,583	0,778	0,776	1,013	0,243	0,526	0,025	0,525	0,163	0,119	0,157	0,095	0,072	0,225	0,32	0,199	0,132	0,004
2008	0,657	0,891	0,635	0,762	0,264	0,505	0,024	0,386	0,138	0,094	0,158	0,087	0,041	0,217	0,249	0,18	0,12	0,007
2009	0,746	0,776	0,8	0,731	0,329	0,59	0,02	0,5	0,142	0,092	0,166	0,165	0,032	0,229	0,32	0,166	0,116	0,007
2010	0,619	0,778	0,813	0,594	0,369	0,581	0,039	0,579	0,183	0,083	0,147	0,147	0,04	0,232	0,36	0,153	0,128	0,008
2011	0,554	0,821	0,59	0,554	0,353	0,528	0,02	0,524	0,139	0,051	0,131	0,102	0,044	0,211	0,268	0,179	0,107	0,005
2012	0,59	0,814	0,613	0,609	0,366	0,56	0,028	0,492	0,129	0,085	0,157	0,09	0,075	0,203	0,287	0,147	0,144	0,012
2013	0,587	0,862	0,598	0,548	0,342	0,572	0,035	0,511	0,12	0,079	0,117	0,129	0,077	0,197	0,317	0,165	0,118	0,018
2014	0,564	0,71	0,546	0,468	0,326	0,493	0,035	0,457	0,122	0,07	0,126	0,107	0,063	0,176	0,24	0,167	0,127	0,006
2015	0,556	0,804	0,641	0,441	0,329	0,465	0,028	0,479	0,12	0,089	0,133	0,109	0,053	0,171	0,287	0,174	0,136	0,022
2016	0,526	0,813	0,557	0,452	0,313	0,512	0,028	0,468	0,116	0,08	0,204	0,102	0,05	0,169	0,298	0,167	0,110	0,014
2017	0,593	0,773	0,541	0,516	0,335	0,487	0,027	0,451	0,125	0,089	0,140	0,114	0,055	0,182	0,303	0,162	0,103	0,014
2018	0,510	0,822	0,555	0,513	0,319	0,488	0,029	0,392	0,13	0,085	0,130	0,102	0,058	0,171	0,259	0,154	0,105	0,010
2019	0,620	0,863	0,62	0,515	0,286	0,432	0,053	0,385	0,16	0,090	0,161	0,105	0,078	0,208	0,309	0,147	0,152	0,023
2020	0,523	0,780	0,465	0,435	0,236	0,436	0,034	0,243	0,103	0,073	0,120	0,103	0,067	0,159	0,255	0,137	0,108	0,018
2021	0,512	0,658	0,432	0,478	0,298	0,353	0,027	0,198	0,098	0,074	0,125	0,133	0,054	0,184	0,232	0,139	0,112	0,012
2022	0,496	0,673	0,332	0,386	0,185	0,294	0,009	0,127	0,064	0,029	0,111	0,062	0,029	0,141	0,147	0,104	0,056	0,018
2023	0,549	0,837	0,500	0,472	0,272	0,402	0,044	0,222	0,125	0,059	0,123	0,089	0,082	0,194	0,246	0,146	0,115	0,020
2024	0,549	0,732	0,404	0,444	0,277	0,293	0,028	0,148	0,085	0,118	0,097	0,068	0,053	0,172	0,219	0,114	0,072	0,010
2025	0,527	0,805	0,432	0,460	0,295	0,305	0,034	0,186	0,091	0,062	0,113	0,079	0,068	0,169	0,187	0,121	0,078	0,016
CHS Promedio ± Desv Stand	0,572	0,789	0,571	0,547	0,302	0,464	0,030	0,383	0,124	0,080	0,138	0,105	0,057	0,190	0,269	0,154	0,113	0,013
	0,058	0,060	0,128	0,145	0,047	0,093	0,009	0,143	0,028	0,021	0,024	0,025	0,015	0,025	0,050	0,023	0,023	0,006
Pendiente	-0,007	-0,004	-0,021	-0,022	-0,004	-0,014	0,000	-0,023	-0,004	-0,001	-0,002	-0,002	0,001	-0,004	-0,006	-0,003	-0,002	0,001
Valor-p	0,004	0,128	0,000	0,000	0,090	0,000	0,473	0,000	0,001	0,225	0,025	0,084	0,488	0,000	0,006	0,000	0,029	0,008
Resultado	S	N/S	S	S	N/S	S	N/S	S	S	N/S	N/S	N/S	N/S	S	N/S	S	N/S	S

Regresión lineal: p -valor $< 0,05$ se consideró estadísticamente significativo

S: significativo - N/S: No significativo

Tabla 5-6. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017), Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022) y ALS Life Sciences Chile (2024). Enero 2025

Parcela de monitoreo	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-32	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2017	0,328	0,439	0,325	0,32	0,256	0,233	0,018	0,283	0,098	0,053	0,18	0,104	0,034	0,168	0,256	0,14	0,075	0,003
2018	0,525	0,792	0,532	0,457	0,321	0,496	0,031	0,415	0,121	0,085	0,134	0,096	0,059	0,184	0,302	0,143	0,124	0,012
2019	0,509	0,796	0,656	0,462	0,318	0,413	0,048	0,402	0,162	0,070	0,165	0,087	0,044	0,156	0,207	0,155	0,105	0,003
2020	0,431	0,681	0,547	0,416	0,288	0,442	0,041	0,135	0,104	0,068	0,130	0,083	0,073	0,167	0,223	0,138	0,116	0,012
2021	S/I	S/I	0,408	0,437	0,245	0,363	0,038	0,204	0,094	0,069	0,131	0,091	0,063	0,154	0,269	0,138	0,107	0,015
2022	0,279	0,389	0,277	0,299	0,133	0,202	0,006	0,113	0,066	0,054	0,104	0,069	0,033	0,109	0,147	0,104	0,049	0,003
2023	0,318	0,380	0,285	0,284	0,210	0,235	0,038	0,231	0,113	0,051	0,105	0,083	0,042	0,177	0,202	0,117	0,107	0,004
2024	0,316	0,408	0,295	0,272	0,176	0,208	0,032	0,125	0,077	0,044	0,080	0,068	0,049	0,117	0,207	0,100	0,065	0,011
2025	S/I	0,498	0,296	0,296	0,194	0,221	0,033	0,136	0,087	0,038	0,084	0,081	0,045	0,150	0,157	0,100	0,066	0,010
CHS Promedio ± Desv Stand	0,387	0,548	0,402	0,360	0,238	0,313	0,032	0,227	0,102	0,059	0,124	0,085	0,049	0,154	0,219	0,126	0,090	0,008
	0,093	0,168	0,133	0,076	0,061	0,109	0,012	0,110	0,026	0,014	0,032	0,011	0,013	0,024	0,048	0,020	0,025	0,005

(*): Aunque en el 2016 comenzaron las mediciones de CHS a través de Entidades Técnicas Fiscalizadores (ETFA), se implementaron en el mes de octubre.

(**): Los datos ETFA se presentan diferenciados de los análisis del laboratorio metalúrgico de Novandino Litio, ya que las metodologías implementadas son distintas entre ambos

S/I corresponde a los puntos que no pudieron acceder a la toma de muestra

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-7. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017), Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022) y ALS Life Sciences Chile (2024). Abril 2025

Parcela de Monitoreo	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2017	0,375	0,418	0,327	0,319	0,23	0,341	0,026	0,254	0,111	0,087	0,123	0,096	0,048	0,127	0,205	0,138	0,086	0,015
2018	0,474	0,648	0,52	0,437	0,251	0,273	0,008	0,195	0,104	0,061	0,111	0,066	0,047	0,123	0,231	0,127	0,099	0,009
2019	S/I	S/I	0,414	0,494	0,342	0,356	0,052	0,372	0,156	0,1	0,15	0,1	0,097	0,212	0,282	0,156	0,183	0,037
2020	S/I	S/I	0,391	0,393	0,227	0,421	0,03	0,241	0,083	0,078	0,095	0,116	0,073	0,148	0,286	0,143	0,122	0,012
2021	0,291	0,394	0,302	0,321	0,239	0,224	0,023	0,17	0,075	0,046	0,091	0,09	0,044	0,129	0,15	0,111	0,094	0,015
2022	0,394	0,396	0,27	0,297	0,174	0,226	0,022	0,14	0,068	0,022	0,183	0,074	0,043	0,095	0,151	0,107	0,066	0,008
2023	0,246	0,423	0,323	0,21	0,169	0,136	0,046	0,15	0,109	0,042	0,169	0,061	0,117	0,2	0,218	0,105	0,096	0,047
2024	0,236	0,327	0,293	0,306	0,225	0,212	0,074	0,113	0,086	0,056	0,094	0,066	0,052	0,154	0,164	0,105	0,066	0,011
2025	0,440	0,398	0,359	0,225	0,232	0,429	0,028	0,064	0,233	0,113	0,086	0,184	0,116	0,125	0,165	0,098	0,072	0,008
CHS Promedio ± Desv Stand	0,351	0,429	0,355	0,334	0,232	0,291	0,034	0,189	0,114	0,067	0,122	0,095	0,071	0,146	0,206	0,121	0,098	0,018
	0,087	0,094	0,073	0,088	0,047	0,095	0,019	0,086	0,049	0,028	0,034	0,036	0,029	0,036	0,050	0,019	0,034	0,013

(*): Aunque en el 2016 comenzaron las mediciones de CHS a través de Entidades Técnicas Fiscalizadores (ETFA), se implementaron en el mes de octubre.

(**): Los datos ETFA se presentan diferenciados de los análisis del laboratorio metalúrgico de Novandino Litio, ya que las metodologías implementadas son distintas entre ambos

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-8. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017) Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022) y ALS Life Sciences Chile (2023). Julio 2025

Parcela de monitoreo	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2017	0,357	0,41	0,35	0,327	0,272	0,303	0,03	0,324	0,124	0,088	0,112	0,091	0,064	0,169	0,217	0,139	0,099	0,015
2018	0,502	0,8	0,499	0,486	0,345	0,416	0,023	0,457	0,167	0,078	0,108	0,097	0,061	0,177	0,281	0,159	0,107	0,006
2019	0,521	0,717	0,471	0,533	0,224	0,395	0,055	0,36	0,136	0,091	0,146	0,105	0,105	0,276	0,347	0,127	0,17	0,031
2020	S/I	S/I	0,417	0,429	0,224	0,355	0,034	0,233	0,111	0,073	0,105	0,087	0,066	0,157	0,228	0,129	0,09	0,017
2021	0,291	0,394	0,343	0,315	0,181	0,178	0,033	0,208	0,085	0,063	0,098	0,092	0,048	0,184	0,205	0,121	0,099	0,014
2022	0,356	0,413	0,249	0,272	0,163	0,238	0,016	0,151	0,077	0,036	0,108	0,07	0,039	0,174	0,131	0,128	0,073	0,004
2023	0,325	0,315	0,32	0,328	0,193	0,272	0,028	0,139	0,089	0,048	0,095	0,063	0,066	0,128	0,152	0,081	0,079	0,012
2024	0,309	0,454	0,282	0,312	0,228	0,219	0,021	0,116	0,073	0,031	0,092	0,083	0,046	0,151	0,157	0,107	0,068	0,007
2025	0,325	0,425	0,234	0,308	0,207	0,223	0,065	0,135	0,089	0,050	0,097	0,078	0,069	0,146	0,148	0,110	0,080	0,007
CHS Promedio ± Desv Stand	0,373	0,491	0,352	0,368	0,226	0,289	0,034	0,236	0,106	0,062	0,107	0,085	0,063	0,174	0,207	0,122	0,096	0,013
	0,083	0,160	0,089	0,086	0,051	0,079	0,015	0,113	0,030	0,021	0,015	0,012	0,018	0,040	0,067	0,021	0,029	0,008

(*): Aunque en el 2016 comenzaron las mediciones de CHS a través de Entidades Técnicas Fiscalizadores (ETFA), se implementaron en el mes de octubre.

(**) Los datos ETFA se presentan diferenciados de los análisis del laboratorio metalúrgico de Novandino Litio, ya que las metodologías implementadas son distintas entre ambos

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-9. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017), Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022) y ALS Life Sciences Chile (2023). Octubre 2025

Parcela de monitoreo	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2016	0,336	0,471	0,471	0,288	0,251	0,345	0,022	0,209	0,092	0,069	0,107	0,086	0,044	0,143	0,205	0,137	0,092	0,009
2017	0,33	0,397	0,319	0,29	0,239	0,187	0,029	0,325	0,111	0,084	0,12	0,094	0,049	0,131	0,211	0,128	0,099	0,014
2018	0,529	0,893	0,557	0,481	0,346	0,479	0,036	0,348	0,135	0,078	0,151	0,122	0,079	0,156	0,278	0,152	0,109	0,011
2019	S/I	S/I	0,597	0,452	0,225	0,387	0,045	0,297	0,118	0,086	0,139	0,097	0,078	0,189	0,264	0,157	0,164	0,025
2020	S/I	S/I	0,474	0,418	0,290	0,399	0,037	0,229	0,108	0,069	0,122	0,100	0,067	0,178	0,313	0,151	0,107	0,023
2021	0,292	0,399	0,26	0,278	0,221	0,153	0,012	0,117	0,069	0,066	0,106	0,083	0,041	0,123	0,148	0,110	0,074	0,004
2022	0,506	0,836	0,349	0,308	0,160	0,291	0,006	0,101	0,046	0,026	0,101	0,059	0,009	0,182	0,167	0,098	0,073	0,001
2023	0,325	0,315	0,320	0,328	0,193	0,272	0,028	0,139	0,089	0,048	0,095	0,063	0,066	0,128	0,152	0,081	0,079	0,012
2024	0,254	0,399	0,206	0,285	0,194	0,241	0,027	0,133	0,066	0,057	0,086	0,076	0,051	0,122	0,143	0,096	0,062	0,010
2025	0,328	0,388	0,296	0,293	0,225	0,261	0,024	0,178	0,084	0,041	0,116	0,068	0,064	0,083	0,138	0,100	0,061	0,004
CHS Promedio ± Desv Stand	0,362	0,512	0,385	0,342	0,234	0,301	0,027	0,208	0,092	0,062	0,114	0,085	0,055	0,143	0,202	0,121	0,092	0,011
	0,093	0,208	0,125	0,073	0,050	0,096	0,011	0,085	0,026	0,018	0,019	0,018	0,020	0,031	0,060	0,026	0,029	0,007

(*): Aunque en el 2016 comenzaron las mediciones de CHS a través de Entidades Técnicas Fiscalizadores (ETFA), se implementaron en el mes de octubre.

(**): Los datos ETFA se presentan diferenciados de los análisis del laboratorio metalúrgico de Novandino Litio, ya que las metodologías implementadas son distintas entre ambos

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-10. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA SGS (2016-2017), Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022) y ALS Life Sciences Chile (2023). Promedio anual, período 2016 – 2025

Parcela de monitoreo	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2016*	0,336	0,471	0,471	0,288	0,251	0,345	0,022	0,209	0,092	0,069	0,107	0,086	0,044	0,143	0,205	0,137	0,092	0,009
2017	0,348	0,416	0,33	0,314	0,249	0,266	0,026	0,297	0,111	0,078	0,134	0,096	0,049	0,149	0,222	0,136	0,09	0,012
2018	0,508	0,783	0,527	0,465	0,316	0,416	0,025	0,354	0,132	0,076	0,126	0,095	0,062	0,16	0,273	0,145	0,11	0,01
2019	0,515	0,757	0,535	0,485	0,277	0,388	0,05	0,358	0,143	0,087	0,15	0,097	0,081	0,208	0,275	0,149	0,156	0,024
2020	0,431	0,681	0,457	0,414	0,257	0,404	0,035	0,209	0,102	0,072	0,113	0,096	0,07	0,163	0,263	0,14	0,108	0,016
2021	0,292	0,396	0,328	0,338	0,222	0,229	0,026	0,174	0,081	0,061	0,106	0,089	0,049	0,148	0,193	0,12	0,094	0,012
2022	0,384	0,508	0,286	0,294	0,158	0,239	0,013	0,126	0,064	0,035	0,124	0,068	0,031	0,14	0,149	0,109	0,066	0,004
2023	0,303	0,358	0,312	0,287	0,191	0,229	0,035	0,165	0,1	0,047	0,116	0,068	0,073	0,158	0,181	0,096	0,09	0,019
2024	0,279	0,397	0,269	0,294	0,206	0,220	0,038	0,122	0,075	0,047	0,088	0,073	0,050	0,136	0,168	0,102	0,065	0,010
2025	0,364	0,427	0,296	0,281	0,214	0,284	0,038	0,128	0,123	0,061	0,096	0,103	0,073	0,126	0,152	0,102	0,070	0,007

(*): Aunque en el 2016 comenzaron las mediciones de CHS a través de Entidades Técnicas Fiscalizadores (ETFA), se implementaron en el mes de octubre.

(**): Los datos ETFA se presentan diferenciados de los análisis del laboratorio metalúrgico de Novandino Litio, ya que las metodologías implementadas son distintas entre ambos

Fuente: elaboración propia

La evolución interanual del contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) en cada parcela de monitoreo se presenta en las Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4, diferenciando los valores obtenidos por el laboratorio de Novandino Litio (azul) y ETFA (rojo). Esta información permite analizar con mayor detalle la tendencia de este parámetro en el tiempo, así como su variabilidad espacial dentro del área de estudio.

En términos generales, se observa una tendencia decreciente del CHS en varias de las parcelas, particularmente en aquellas que históricamente presentan mayores contenidos de humedad, como L7-7, 1027 y L2-25. Estas parcelas muestran pendientes negativas consistentes en el tiempo, lo que podría reflejar una disminución progresiva del CHS en el perfil edáfico, posiblemente asociada a cambios en la dinámica de recarga, mayor evaporación o procesos de drenaje. En L2-25, por ejemplo, el CHS disminuye desde valores cercanos a 1,01 g/g en 2007 hasta aproximadamente 0,44 g/g en 2025, manteniendo sin embargo niveles relativamente superiores al promedio del resto de las parcelas.

Parcelas como L2-4, L2-27 y L3-5 también presentan tendencias decrecientes, mientras que otras con bajos contenidos de humedad, como L1-3, L9-2 y L9-1, mantienen niveles consistentemente bajos ($<0,1$ g/g), sin evidencias claras de cambios significativos a lo largo del tiempo. Estas últimas se ubican mayormente en el sector oriental o en zonas con mayor exposición y menor capacidad de retención hídrica, lo que podría explicar su comportamiento relativamente estable.

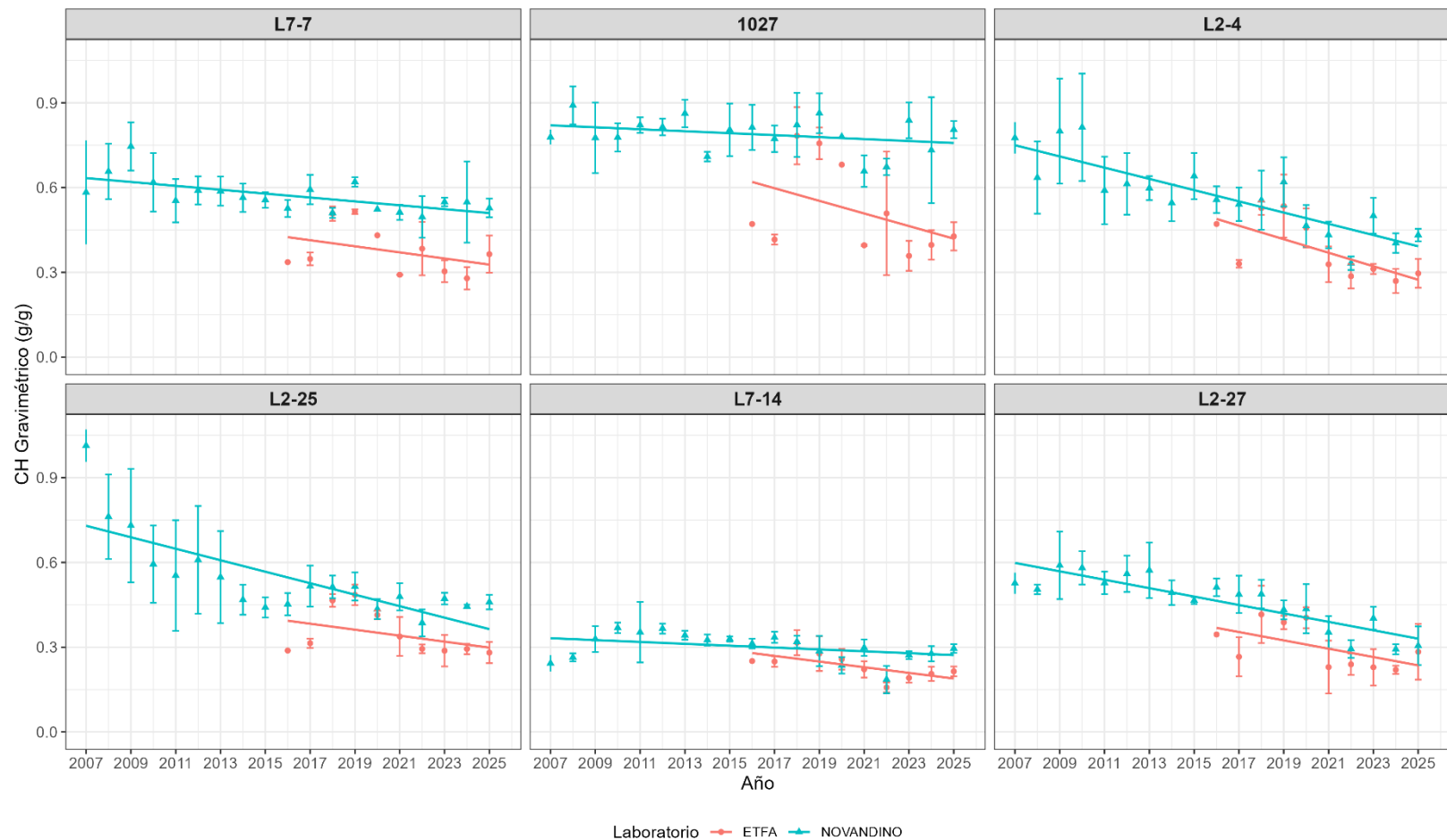
Destaca la parcela L3-5, que presenta una de las tendencias decrecientes más marcadas del conjunto, lo que podría estar asociado a condiciones locales que favorecen una menor retención de humedad, tales como características edáficas, cobertura vegetal o exposición.

En cuanto a la comparación entre laboratorios, se observa que, si bien el laboratorio ETFA tiende a reportar valores levemente inferiores, ambas series presentan patrones temporales y espaciales concordantes, lo que refuerza la consistencia de las tendencias observadas. Las mayores diferencias se evidencian en parcelas con valores históricamente altos de CHS (por ejemplo, L7-7, 1027 y L2-25), especialmente en los años más recientes.

Este análisis permite identificar parcelas con tendencias decrecientes o con valores persistentemente bajos de CHS, lo que constituye un antecedente relevante para la interpretación de la disponibilidad hídrica en el suelo y su posible relación con el estado de la vegetación. Respecto a los datos correspondientes a 2025, se observa que varias parcelas mantienen la tendencia registrada en 2024, presentando en algunos casos valores puntuales superiores a los de años anteriores. Este comportamiento es evidente en parcelas como L2-4, donde se mantiene el nivel elevado observado el año anterior. Asimismo, se registra un leve repunte observado en L2-28 y L5-7, lo que sugiere una interrupción parcial de la tendencia decreciente previamente observada. Por el contrario, en otras parcelas como L1-3, L9-1, L9-2, L2-26, se mantiene la estabilidad en valores bajos, sin evidencias de repunte.

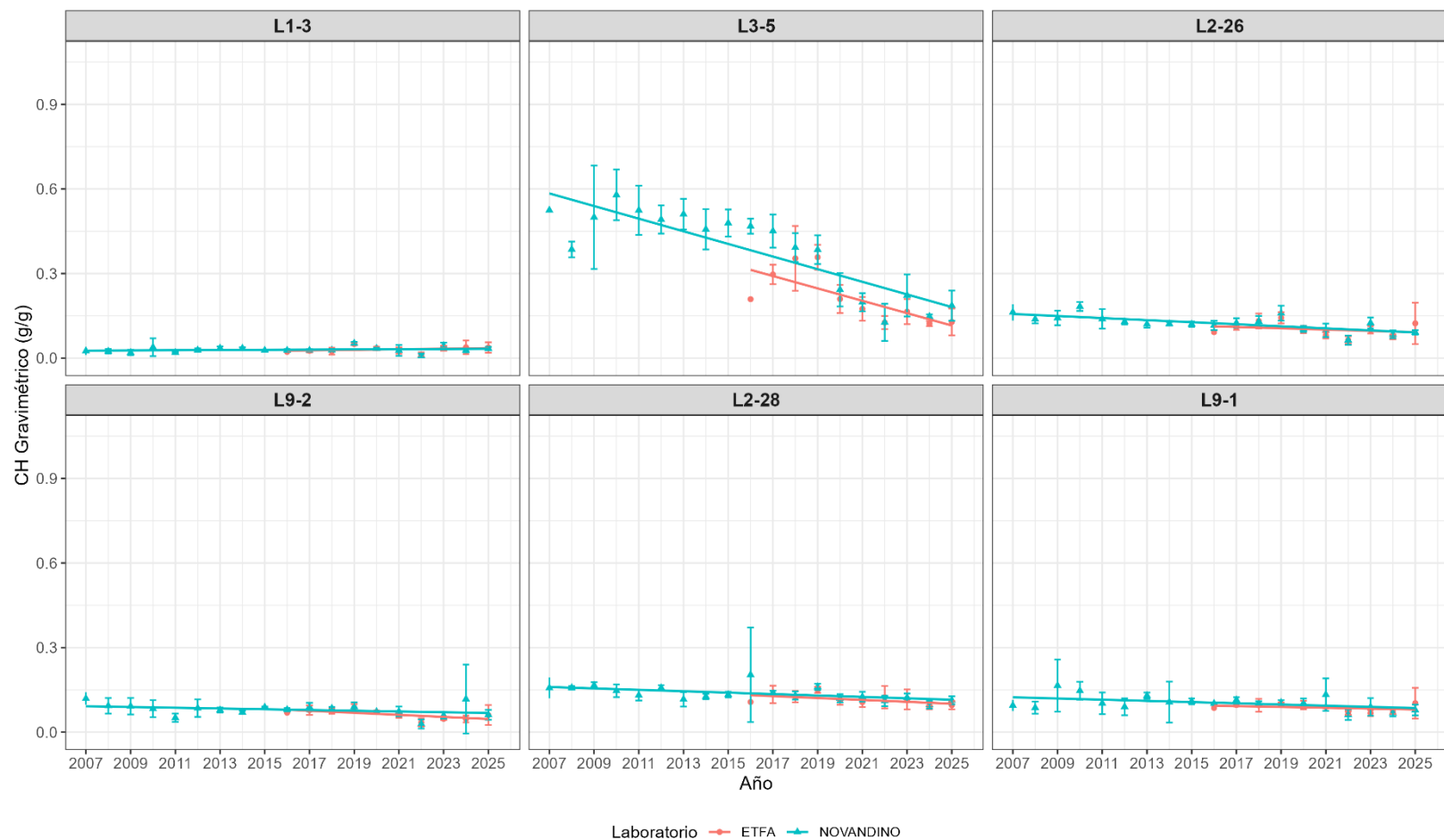
Cabe destacar que, al igual que en 2024, parte del aumento puntual observado en 2025 podría estar asociado a eventos de precipitación registrados durante los primeros meses del año (detallados en el Anexo 3), los cuales podrían generar pulsos de humedad en el suelo, particularmente en sectores donde la napa freática es más profunda y el CHS responde de manera más directa a la infiltración superficial. En este contexto, resulta relevante considerar la variabilidad climática interanual al interpretar las fluctuaciones observadas en el monitoreo de humedad del suelo.

Figura 5.2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2025



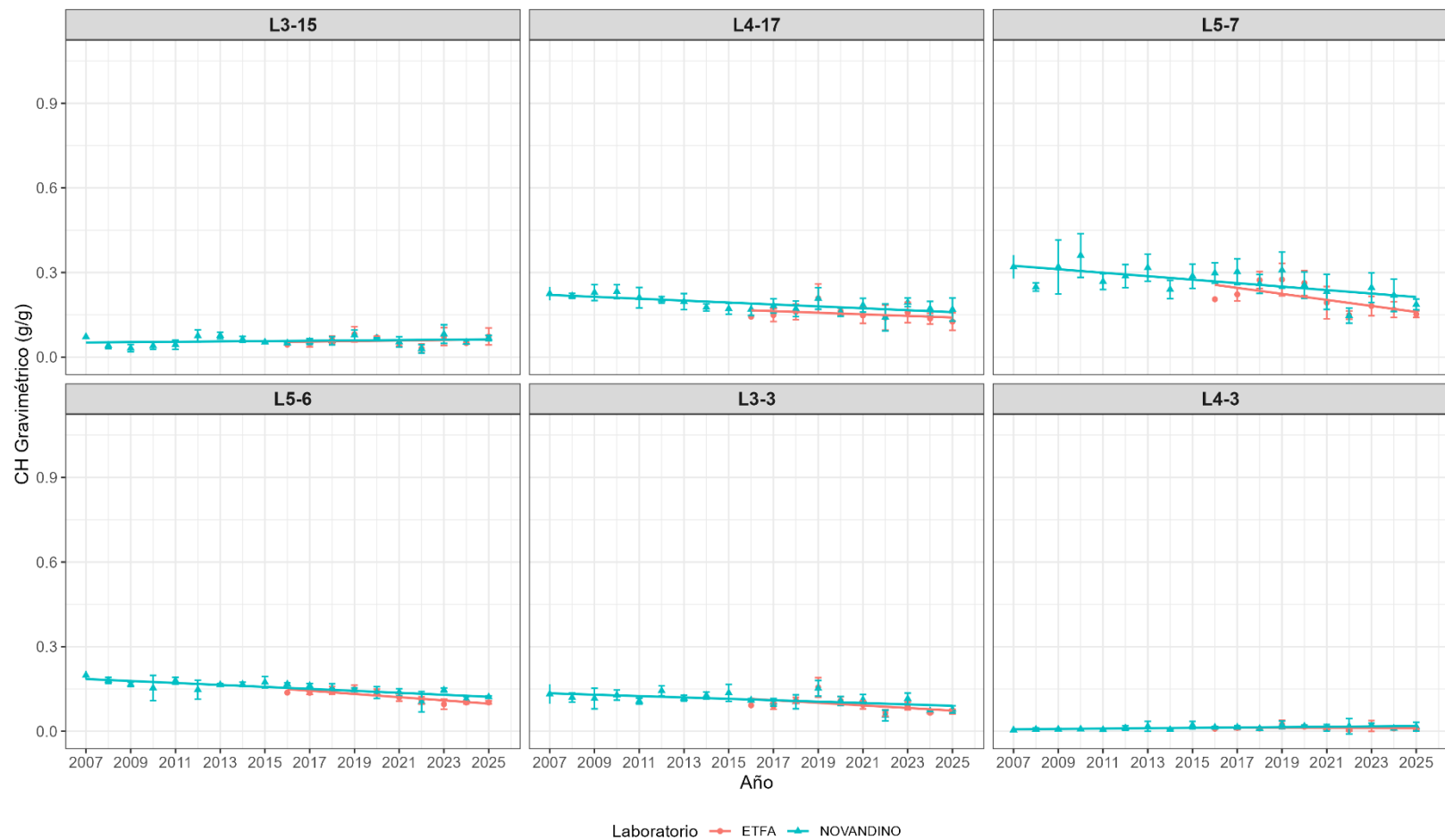
Fuente: elaboración propia

Figura 5.3. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

Figura 5.4. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

5.1 Variación de la profundidad de la napa en el tiempo

La información recopilada hasta 2025 muestra la mantención de la tendencia histórica de aumento en la profundidad de la napa freática respecto al nivel de base de 2007 (Figura 5.5, Tabla 5-11 a Tabla 5-15). Esta tendencia identificada en una proporción importante de los pozos evaluados, indica un descenso progresivo del nivel freático, con incrementos en la profundidad media anual que, en algunos casos, alcanzan del orden de decenas de centímetros a lo largo del período de monitoreo.

Al igual que en años anteriores, destacan los pozos L1-3, L2-28 y L3-15 por presentar los mayores incrementos acumulados desde 2007, alcanzando profundidades cercanas a 7,17 m, 3,42 m y 3,64 m en los años más recientes, respectivamente. Estos resultados son consistentes con lo reportado en campañas previas, manteniéndose un patrón de incremento positivo y estadísticamente significativo en estos sectores. La pendiente de las rectas de ajuste refuerza dicha tendencia, evidenciando un comportamiento persistente y consistente en el tiempo.

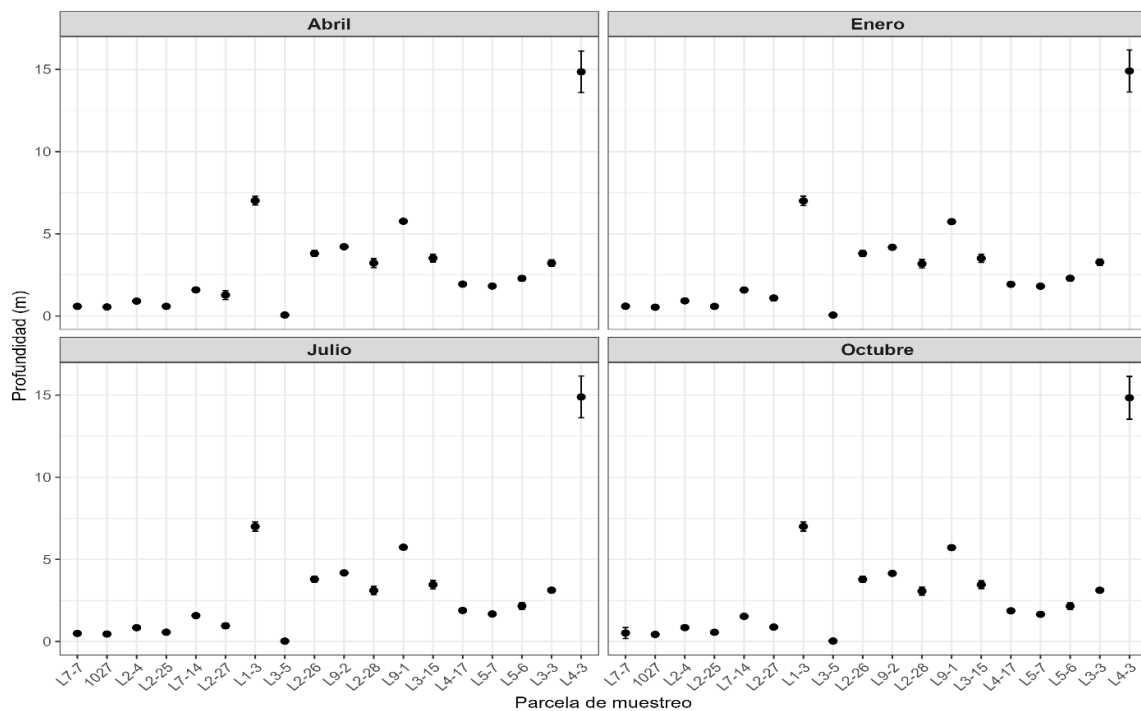
No obstante, también se identifican pozos cuyo comportamiento difiere del patrón general, mostrando estabilidad o una disminución de la profundidad de la napa a lo largo del período de monitoreo. El caso más representativo corresponde al pozo L4-3, el cual desde 2007 ha registrado una disminución acumulada del orden de 3,0 m, pasando desde valores cercanos a 16,0 m a aproximadamente 13,1 m en los años más recientes. Esta tendencia resulta estadísticamente significativa ($p\text{-valor} = 0,000$) y refleja un acercamiento sostenido del nivel freático a la superficie.

De manera concordante, el pozo L3-5 presenta una tendencia decreciente estadísticamente significativa ($p\text{-valor} < 0,05$), caracterizada por una reducción progresiva de la profundidad de la napa y valores someros en los años más recientes. No obstante, dicha tendencia se desarrolla dentro de un rango acotado de variación interanual, lo que sugiere un sistema somero con dinámica relativamente estable, pero con un acercamiento gradual del nivel freático a la superficie. En contraste, el pozo L7-14 no evidencia una tendencia significativa desde el punto de vista estadístico ($p\text{-valor} > 0,05$), manteniéndose dentro del rango de profundidades observado históricamente, sin presentar cambios sistemáticos relevantes en el período analizado.

En relación con el CHS, se observa que en algunas parcelas asociadas a estos pozos los valores se mantienen relativamente estables en el tiempo. No obstante, los resultados indican que la relación entre el CHS y la profundidad de la napa no es necesariamente directa, encontrándose posiblemente condicionada por factores locales tales como las características edáficas, la cobertura vegetal y la dinámica de la recarga superficial.

En conjunto, los resultados obtenidos hasta 2025 refuerzan las tendencias identificadas en el período histórico, confirmando un patrón general de profundización del nivel freático en la mayoría de los puntos monitoreados, junto con excepciones localizadas que presentan estabilidad o una disminución significativa de la profundidad, asociadas a condiciones hidrogeológicas particulares.

Figura 5.5. Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2025), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados



En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por lluvias estivales. El 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido. El evento fue reportado en el primer informe de monitoreo (año 2013), posterior a dicha construcción.

Fuente: elaboración propia

Tabla 5-11. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de enero durante el periodo 2007 a 2025

Pozos	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
Año																		
2008	0,52	0,479	0,855	0,575	1,556	0,972	6,525	0,061	3,515	4,103	2,771	5,639	3,017	1,804	1,646	1,956	2,94	16,022
2009	0,51	0,475	0,855	0,553	1,558	0,957	6,537	0,074	3,505	4,113	2,787	5,661	3,061	1,835	1,684	2,036	2,97	16,034
2010	0,54	0,499	0,884	0,564	1,576	0,978	6,553	0,096	3,548	4,151	2,842	5,687	3,152	1,894	1,719	2,111	3,01	16,138
2011	0,49	0,461	0,868	0,549	1,567	0,948	6,600	0,069	3,58	4,122	2,863	5,657	3,241	1,888	1,707	2,134	3,03	16,254
2012	0,55	0,49	0,887	0,551	1,589	0,966	6,647	0,083	3,633	4,169	2,942	5,715	3,329	1,943	1,754	2,179	3,07	16,258
2013	0,59	0,523	0,888	0,549	1,619	0,962	7,000	0,131	3,686	4,166	2,981	5,723	3,417	1,954	1,749	2,204	3,15	16,387
2014	0,58	0,519	0,883	0,551	1,62	1,003	7,032	0,025	3,745	4,172	3,047	5,717	3,493	1,992	1,785	2,241	3,18	16,390
2015	0,55	0,532	0,916	0,551	1,655	1,045	7,112	0,063	3,839	4,238	3,142	5,775	3,577	2,022	1,796	2,281	3,28	15,863
2016	0,62	0,542	0,911	0,542	1,65	0,972	7,171	0,071	3,857	4,133	3,178	5,683	3,607	2,006	1,744	2,274	3,36	15,417
2017	0,57	0,503	0,92	0,543	1,672	1,033	7,229	0,053	3,925	4,207	3,274	5,751	3,662	2,026	1,803	2,314	3,42	14,687
2018	0,62	0,588	0,94	0,65	1,543	1,042	7,108	0,034	3,91	4,174	3,356	5,751	3,795	2,035	1,916	2,438	3,51	14,25
2019	0,64	0,606	0,97	0,654	1,57	1,090	7,172	0,053	3,944	4,239	3,378	5,813	3,779	2,027	1,933	2,456	3,52	13,853
2020	S/I	0,631	0,976	0,639	1,534	S/I	7,188	-0,070	3,941	4,162	3,268	5,74	3,684	1,978	1,931	2,459	3,45	13,611
2021	1	S/I	0,98	0,643	1,585	1,421	7,261	-0,110	3,992	4,188	3,464	5,763	3,703	1,903	1,909	2,441	3,45	13,523
2022	S/I	S/I	0,966	0,635	1,565	1,434	7,279	-0,150	4,005	4,225	3,528	5,807	3,691	1,846	1,915	2,438	3,41	13,493
2023	0,52	0,53	0,964	0,529	1,531	1,254	7,237	0,180	3,965	4,196	3,456	5,775	3,666	1,84	1,814	2,434	3,37	13,493
2024	S/I	0,609	0,974	0,618	1,547	1,293	7,198	-0,152	3,924	4,245	3,47	5,822	3,659	1,844	1,934	2,444	3,39	13,435
2025	S/I	0,569	0,972	0,609	1,529	1,208	7,184	-0,17	3,928	4,235	3,463	5,807	3,651	1,866	1,894	2,422	3,346	13,098
Promedio ± Des stand	0,593	0,535	0,923	0,584	1,581	1,093	7,002	0,028	3,802	4,180	3,178	5,738	3,510	1,928	1,813	2,292	3,269	14,900
	0,122	0,050	0,044	0,043	0,043	0,160	0,276	0,091	0,172	0,044	0,256	0,055	0,241	0,077	0,094	0,156	0,189	1,244

S/I: Sin mediciones dado el cierre de la RNLFF por falta de permiso de ingreso según Protocolo de acceso aprobado por CONAF

Tabla 5-12. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de abril durante el periodo 2007 a 2025

Pozos	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
Año																		
2008	0,663	0,527	0,864	0,584	1,601	1,189	6,55	0,087	3,562	4,18	2,865	5,695	3,045	1,845	1,71	1,994	2,937	15,982
2009	0,628	0,51	0,861	0,621	1,598	1,181	6,554	0,083	3,554	4,19	2,89	5,704	3,105	1,866	1,728	2,064	2,971	16,055
2010	0,662	0,514	0,879	0,577	1,611	1,225	6,579	0,111	3,57	4,195	2,914	5,729	3,194	1,927	1,68	2,06	3,018	16,154
2011	0,601	0,504	0,882	0,551	1,603	1,148	6,608	0,088	3,599	4,2	2,937	5,718	3,264	1,937	1,767	2,151	3,037	16,221
2012	0,516	0,494	0,828	0,522	1,605	0,959	6,945	0,053	3,594	4,097	2,91	5,683	3,327	1,941	1,759	2,181	3,001	16,299
2013	0,57	0,518	0,874	0,539	1,593	1,037	6,981	0,114	3,695	4,19	3,006	5,725	3,429	1,973	1,8	2,243	3,17	16,347
2014	0,688	0,604	0,896	0,553	1,644	1,184	7,069	0,092	3,779	4,228	3,102	5,765	3,529	2,025	1,784	2,254	3,254	16,218
2015	0,447	0,465	0,859	0,53	1,553	0,924	7,128	0,041	3,812	4,175	3,119	5,729	3,58	1,934	1,596	2,131	2,879	15,705
2016	0,713	0,615	0,958	0,535	1,688	1,273	7,19	0,107	3,91	4,205	3,281	5,737	3,666	2,039	1,816	2,303	3,411	15,229
2017	0,399	0,504	0,869	0,525	1,614	1,067	7,232	0,055	3,906	4,191	3,301	5,734	3,672	2,021	1,811	2,307	3,315	14,553
2018	0,716	0,664	0,965	0,661	1,575	1,336	7,131	0,106	3,919	4,25	3,435	5,813	3,802	2,053	1,939	2,452	3,529	14,136
2019	S/I	0,511	0,829	0,602	1,412	0,944	7,005	-0,125	3,773	4,161	3,04	5,765	3,633	1,951	1,857	2,414	3,181	13,793
2020	S/I	S/I	0,984	0,652	1,594	1,563	7,223	-0,094	3,983	4,219	3,41	5,785	3,72	1,985	1,952	2,461	3,465	13,609
2021	S/I	S/I	0,975	0,645	1,619	1,78	7,279	-0,115	4,021	4,248	3,534	5,811	3,717	1,909	1,918	2,432	3,412	13,526
2022	S/I	S/I	0,958	0,641	1,611	1,784	7,281	-0,135	4,026	4,266	3,575	5,832	3,705	1,867	1,903	2,421	3,373	13,492
2023	0,46	0,562	0,89	0,593	1,53	1,2	7,149	0,169	3,894	4,245	3,521	5,815	3,667	1,842	1,913	2,429	3,303	13,486
2024	S/I	0,69	0,979	0,624	1,6	1,641	7,214	-0,119	3,966	4,296	3,591	5,856	3,684	1,882	1,934	2,451	3,366	13,414
2025	0,572	0,577	0,953	0,607	1,52	1,547	7,179	-0,164	3,943	4,29	3,546	5,846	3,665	1,879	1,902	2,434	3,317	13,105
Promedio ± Des stand	0,589	0,551	0,906	0,587	1,587	1,277	7,017	0,026	3,806	4,213	3,221	5,763	3,522	1,938	1,821	2,288	3,219	14,851
	0,105	0,064	0,052	0,046	0,056	0,268	0,254	0,101	0,165	0,047	0,264	0,053	0,228	0,065	0,099	0,154	0,195	1,230

S/I: Sin mediciones dado el cierre de la RNLf por falta de permiso de ingreso según Protocolo de acceso aprobado por CONAF

Tabla 5-13. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2025

Pozos	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
Años																		
2007	0,545	0,442	0,798	0,563	1,565	0,864	6,527	0,012	3,517	4,12	2,733	5,645	2,863	1,769	1,52	1,735	2,893	16,089
2008	0,48	0,42	0,784	0,548	1,56	0,855	6,547	0,056	3,524	4,14	2,737	5,678	3,013	1,82	1,542	1,852	2,913	15,987
2009	0,475	0,416	0,798	0,544	1,557	0,854	6,55	0,057	3,509	4,151	2,757	5,689	3,07	1,835	1,565	1,9	2,921	16,047
2010	0,487	0,42	0,819	0,544	1,573	0,866	6,59	0,058	3,562	4,173	2,812	5,708	3,182	1,897	1,583	1,976	2,953	16,158
2011	0,475	0,424	0,819	0,545	1,583	0,869	6,647	0,058	3,635	4,177	2,871	5,709	3,272	1,918	1,602	2,007	2,996	16,264
2012	0,451	0,416	0,809	0,529	1,587	0,858	6,976	0,097	3,656	4,112	2,897	5,685	3,337	1,917	1,625	2,054	3,001	16,306
2013	0,439	0,421	0,809	0,532	1,588	0,842	6,988	-0,01	3,694	4,149	2,955	5,702	3,401	1,928	1,626	2,082	3,068	16,413
2014	0,516	0,464	0,829	0,538	1,617	0,875	7,09	0,003	3,799	4,206	3,031	5,749	3,497	1,975	1,631	2,131	3,057	16,073
2015	0,434	0,426	0,834	0,524	1,604	0,861	7,137	-0,016	3,835	4,108	3,092	5,666	3,571	1,951	1,623	2,137	3,128	15,627
2016	0,55	0,491	0,852	0,537	1,654	0,905	7,209	0,001	3,909	4,207	3,181	5,751	3,635	1,997	1,675	2,198	3,194	15,034
2017	0,468	0,453	0,84	0,527	1,645	0,878	7,251	-0,06	3,962	4,163	3,215	5,716	3,659	1,995	1,673	2,211	3,201	14,418
2018	0,539	0,514	0,888	0,64	1,534	1,002	7,148	-0,018	3,92	4,237	3,324	5,814	3,754	2,005	1,787	2,346	3,301	14,044
2019	S/I	0,449	0,871	0,619	1,464	0,922	7,094	-0,135	3,866	4,142	3,116	5,736	3,634	1,948	1,773	2,349	3,231	13,725
2020	S/I	S/I	0,902	0,627	1,549	1,11	7,235	-0,168	3,982	4,206	3,324	5,787	3,671	1,918	1,786	2,358	3,271	13,579
2021	0,566	0,523	0,899	0,623	1,557	1,301	7,277	-0,202	4,017	4,232	3,387	5,809	3,668	1,836	1,79	2,356	3,277	13,51
2022	S/I	S/I	0,895	0,623	1,544	1,254	7,256	-0,231	3,995	4,22	3,403	5,792	3,654	1,814	1,783	2,354	3,27	13,495
2023	0,496	0,5	0,88	0,603	1,523	1,026	7,164	0,239	3,91	4,244	3,371	5,824	3,63	1,796	1,791	2,354	3,244	13,528
2024	0,606	0,555	0,907	0,605	1,852	-	7,193	-0,221	3,951	4,263	3,41	5,827	3,637	1,852	1,794	2,372	3,257	13,374
2025	0,423	0,514	0,889	0,588	1,499	1,19	7,157	-0,251	3,922	4,223	3,369	5,781	3,617	1,829	1,794	2,364	3,242	13,072
Promedio ± Des stand	0,497	0,462	0,849	0,572	1,582	0,963	7,002	-0,027	3,798	4,183	3,104	5,740	3,461	1,895	1,682	2,165	3,127	14,881
	0,051	0,044	0,040	0,040	0,078	0,146	0,269	0,120	0,175	0,046	0,243	0,056	0,257	0,072	0,097	0,196	0,140	1,237

S/I: Sin mediciones dado el cierre de la RNLf por falta de permiso de ingreso según Protocolo de acceso aprobado por CONAF

Tabla 5-14. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2025

Pozos	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
Años																		
2007	0,405	0,394	0,785	0,561	1,54	0,85	6,525	0,000	3,523	4,087	2,655	5,62	2,98	1,758	1,486	1,700	2,895	15,992
2008	0,408	0,371	0,781	0,544	1,527	0,842	6,543	0,049	3,512	4,111	2,707	5,659	3,019	1,795	1,522	1,832	2,909	16,007
2009	0,408	0,395	0,795	0,538	1,526	0,832	6,541	0,052	3,521	4,117	2,729	5,673	3,094	1,825	1,539	1,879	2,914	16,113
2010	0,404	0,385	0,802	0,532	1,534	0,833	6,594	0,036	3,553	4,131	2,784	5,677	3,188	1,868	1,557	1,95	2,949	16,197
2011	0,419	0,394	0,813	0,532	1,545	0,846	6,634	0,037	3,601	4,127	2,838	5,675	3,269	1,879	1,582	1,989	2,973	16,237
2012	0,414	0,407	0,82	0,523	1,564	0,839	6,976	0,07	3,65	4,113	2,895	5,688	3,357	1,897	1,593	2,044	3,011	16,342
2013	0,441	0,428	0,825	0,526	1,58	0,847	7,021	0,008	3,707	4,126	2,944	5,678	3,433	1,929	1,614	2,071	3,076	16,398
2014	0,42	0,425	0,836	0,522	1,584	0,839	7,085	0,013	3,777	4,165	3,013	5,732	3,505	1,946	1,614	2,125	3,084	16,012
2015	0,438	0,425	0,832	0,529	1,596	0,843	7,149	0,044	3,837	4,083	3,075	5,643	3,582	1,989	1,615	2,136	3,13	15,522
2016	0,451	0,446	0,853	0,529	1,621	0,852	7,217	0,042	3,896	4,166	3,153	5,723	3,615	1,968	1,65	2,189	3,192	14,83
2017	0,475	0,443	0,852	0,527	1,632	0,857	7,264	0,067	3,939	4,133	3,191	5,684	3,669	1,971	1,657	2,201	3,212	14,317
2018	0,461	0,487	0,896	0,641	1,498	0,92	7,153	-0,035	3,912	4,201	3,286	5,785	3,726	1,971	1,777	2,346	3,292	13,938
2019	S/I	0,478	0,894	0,621	1,472	0,96	7,146	-0,154	3,899	4,121	3,149	5,714	3,632	1,917	1,759	2,345	3,241	13,667
2020	S/I	S/I	0,904	0,61	1,507	0,943	7,236	-0,207	3,969	4,159	3,285	5,74	3,654	1,881	1,758	2,349	3,263	13,541
2021	0,475	0,492	0,91	0,626	1,514	0,973	7,255	-0,239	3,984	4,198	3,333	5,786	3,649	1,802	1,773	2,347	3,27	13,496
2022	S/I	S/I	0,895	0,616	1,499	0,933	7,226	-0,268	3,96	4,184	3,334	5,767	3,633	1,79	1,758	2,34	3,249	13,495
2023	0,455	0,478	0,903	0,605	1,492	0,974	7,165	0,261	3,898	4,211	3,31	5,801	3,613	1,775	1,776	2,352	3,245	13,424
2024	1,771	0,49	0,906	0,594	1,49	-	7,168	-0,275	3,911	4,218	3,323	5,798	3,609	1,829	1,771	2,343	3,24	13,159
2025	0,493	0,483	0,899	0,584	1,469	0,938	7,141	-0,283	3,891	4,193	3,304	5,768	3,603	1,809	1,775	2,353	3,229	13,064
Promedio ± Des stand	0,521	0,437	0,853	0,566	1,536	0,885	7,002	-0,041	3,786	4,150	3,069	5,716	3,465	1,874	1,662	2,152	3,125	14,829
	0,324	0,040	0,045	0,041	0,047	0,053	0,270	0,147	0,168	0,041	0,234	0,054	0,233	0,073	0,099	0,202	0,138	1,264

S/I: Sin mediciones dado el cierre de la RNLf por falta de permiso de ingreso según Protocolo de acceso aprobado por CONAF

Tabla 5-15. Profundidad promedio anual (m) de la napa por pozo de monitoreo durante el período 2007 a 2025

Pozos	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-3	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
Años																		
2007	0,475	0,418	0,792	0,562	1,553	0,857	6,526	0,006	3,520	4,104	2,694	5,633	2,922	1,764	1,503	1,718	2,894	16,041
2008	0,518	0,449	0,821	0,563	1,561	0,965	6,541	0,063	3,528	4,134	2,770	5,668	3,024	1,816	1,605	1,909	2,926	16,000
2009	0,505	0,449	0,827	0,564	1,560	0,956	6,546	0,066	3,522	4,143	2,791	5,682	3,083	1,840	1,629	1,970	2,943	16,062
2010	0,522	0,455	0,846	0,554	1,574	0,976	6,579	0,075	3,558	4,163	2,838	5,700	3,179	1,897	1,635	2,024	2,982	16,162
2011	0,497	0,446	0,846	0,544	1,575	0,953	6,622	0,063	3,604	4,157	2,877	5,690	3,262	1,906	1,665	2,070	3,009	16,244
2012	0,483	0,452	0,836	0,531	1,586	0,906	6,886	0,076	3,633	4,123	2,911	5,693	3,338	1,925	1,683	2,115	3,022	16,301
2013	0,510	0,473	0,849	0,537	1,595	0,922	6,998	0,061	3,696	4,158	2,972	5,707	3,420	1,946	1,697	2,150	3,117	16,386
2014	0,550	0,503	0,861	0,541	1,616	0,975	7,069	0,033	3,775	4,193	3,048	5,741	3,506	1,985	1,704	2,188	3,143	16,173
2015	0,467	0,462	0,86	0,534	1,602	0,918	7,132	0,033	3,831	4,151	3,107	5,703	3,578	1,974	1,658	2,171	3,105	15,679
2016	0,583	0,524	0,894	0,536	1,653	1,001	7,197	0,055	3,893	4,178	3,198	5,724	3,631	2,003	1,721	2,241	3,288	15,128
2017	0,479	0,476	0,87	0,531	1,641	0,959	7,244	0,029	3,933	4,174	3,245	5,721	3,666	2,003	1,736	2,258	3,286	14,494
2018	0,584	0,563	0,922	0,648	1,538	1,075	7,135	0,022	3,915	4,216	3,350	5,791	3,769	2,016	1,855	2,396	3,407	14,092
2019	0,642	0,511	0,891	0,624	1,480	0,979	7,104	0,000	3,871	4,166	3,171	5,757	3,670	1,961	1,831	2,391	3,294	13,760
2020	-	0,631	0,942	0,632	1,546	1,205	7,221	0,000	3,969	4,187	3,322	5,763	3,682	1,941	1,857	2,407	3,361	13,585
2021	0,681	0,508	0,941	0,634	1,569	1,369	7,268	0,000	4,004	4,217	3,430	5,792	3,684	1,863	1,848	2,394	3,351	13,514
2022	S/I	S/I	0,929	0,629	1,555	1,351	7,261	0,000	3,997	4,224	3,460	5,800	3,671	1,829	1,840	2,39	3,326	13,494
2023	0,483	0,518	0,909	0,608	1,519	1,114	7,179	0,000	3,917	4,224	3,415	5,804	3,644	1,813	1,840	2,392	3,290	13,483
2024	0,583,	0,586	0,942	0,610	1,622	1,467	7,193	0,000	3,938	4,256	3,449	5,826	3,647	1,852	1,858	2,403	3,313	13,346
2025	0,496	0,536	0,928	0,597	1,504	1,221	7,165	0,000	3,921	4,235	3,421	5,801	3,634	1,846	1,841	2,393	3,284	13,085
Promedio ± Des stand	0,509	0,472	0,879	0,578	1,571	1,062	6,993	0,031	3,791	4,179	3,130	5,623	3,588	1,904	1,737	2,209	3,176	14,896
	0,235	0,123	0,045	0,041	0,044	0,173	0,272	0,029	0,173	0,040	0,255	0,469	0,579	0,074	0,105	0,197	0,165	1,239
Pendiente	0,015	0,008	0,007	0,005	-0,002	0,026	0,042	-0,005	0,029	0,006	0,045	-0,020	0,066	-0,002	0,016	0,030	0,026	-0,224
Valor-p	0,069	0,000	0,000	0,002	0,257	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,388	0,008968	0,565	0,000	0,000	0,000	0,000
Resultado	N/S	S	S	S	N/S	S	S	S	S	S	S	N/S	S	N/S	S	S	S	S

Regresión lineal: p-valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo - S: significativo - N/S: No significativo

S/I: Sin mediciones dado el cierre de la RNLF por falta de permiso de ingreso según Protocolo de acceso aprobado por CONAF

La mayoría de los pozos monitoreados muestra un aumento en la profundidad de la napa respecto al año base 2007, lo que refleja una disminución sostenida del nivel freático a escala del área de estudio. Este comportamiento se observa de manera consistente en distintos sectores del acuífero y se encuentra respaldado por tendencias positivas y estadísticamente significativas en las pendientes de las rectas de regresión ajustadas (ver Figura 5.6,

Figura 5.7, Figura 5.8).

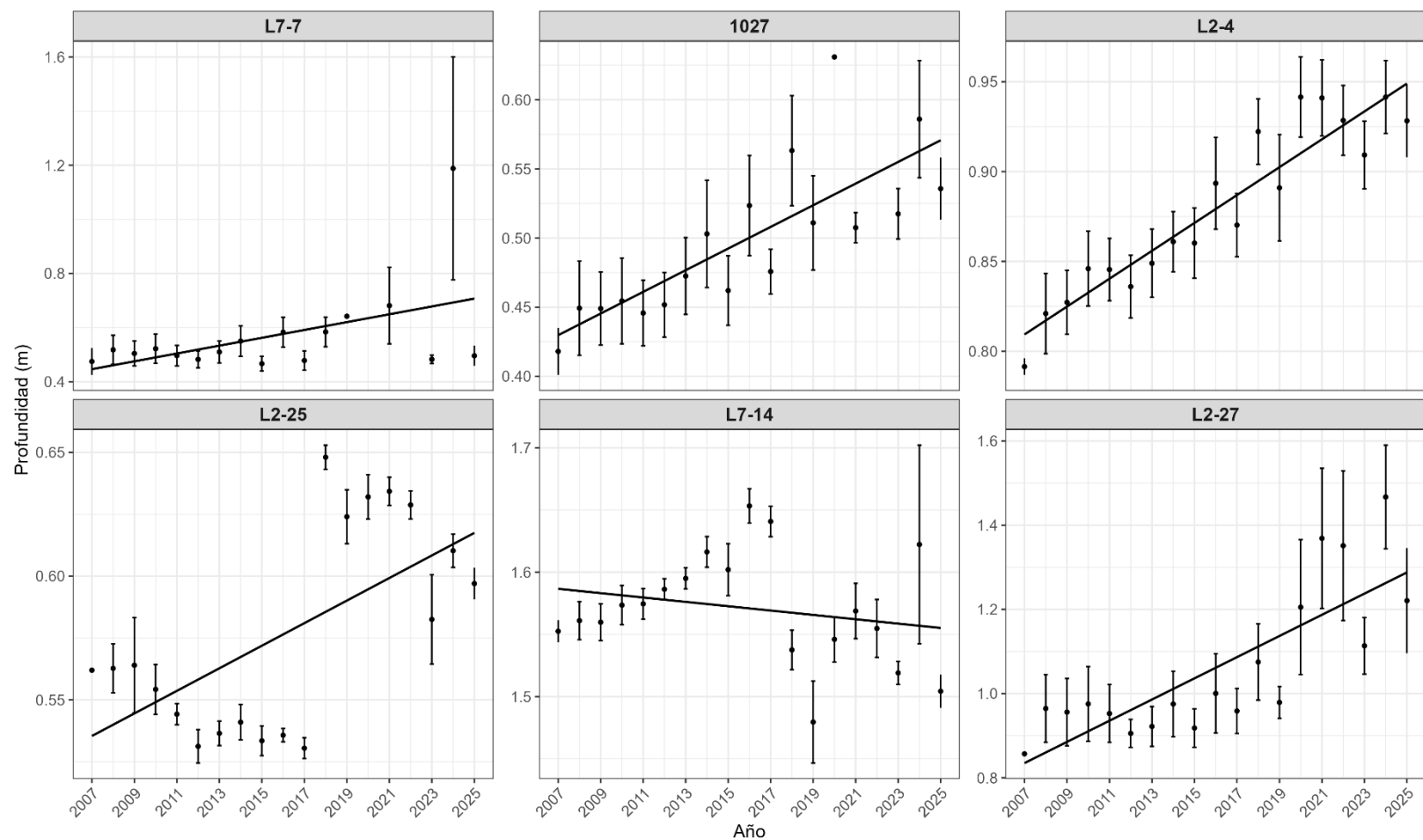
No obstante, en sectores puntuales se identifican comportamientos diferenciados. En particular, algunos pozos ubicados en las cercanías del pozo de extracción Camar-2 (fuera de operación desde 2018), como L3-5, presentan una disminución de la profundidad de la napa a lo largo del período analizado, con valores someros en los años más recientes. Si bien esta tendencia resulta estadísticamente significativa, la magnitud del cambio es acotada y se desarrolla dentro de un rango reducido de variabilidad interanual.

En otros pozos del mismo sector, como L3-15 y L2-28, se observa un comportamiento de estabilización relativa de la profundidad de la napa, sin evidenciarse una recuperación generalizada del nivel freático en el período posterior al cese de operaciones.

En este contexto, si bien en sitios específicos podría inferirse una respuesta local del sistema hidrogeológico tras la detención de ciertas extracciones, dicho comportamiento no se manifiesta de manera generalizada a escala del acuífero. Lo anterior sugiere la influencia persistente de múltiples factores que actúan de forma conjunta y a escala regional, condicionando la dinámica del sistema hidrogeológico.

Adicionalmente, la ausencia de un aumento sostenido en los registros históricos de precipitación disponibles (Anexo 3) descarta que las variaciones observadas en la profundidad de la napa puedan atribuirse a un incremento en los aportes hídricos superficiales recientes, reforzando la interpretación de un control predominantemente estructural y regional del sistema.

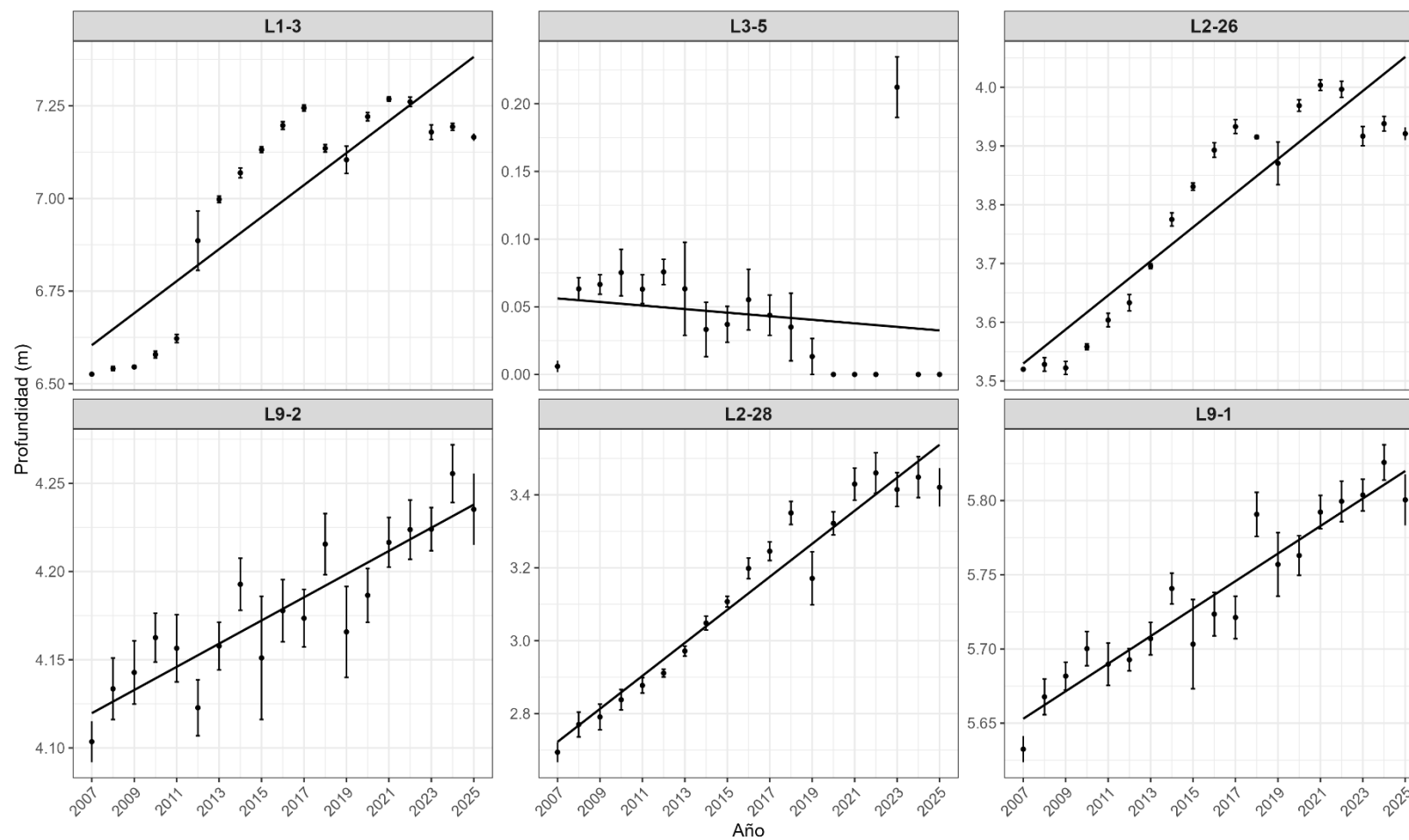
Figura 5.6. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2025



**Los pozos L7-7 y 1027, suelen tener restricciones de acceso a la RNLF de acuerdo con el protocolo de ingreso a la unidad*

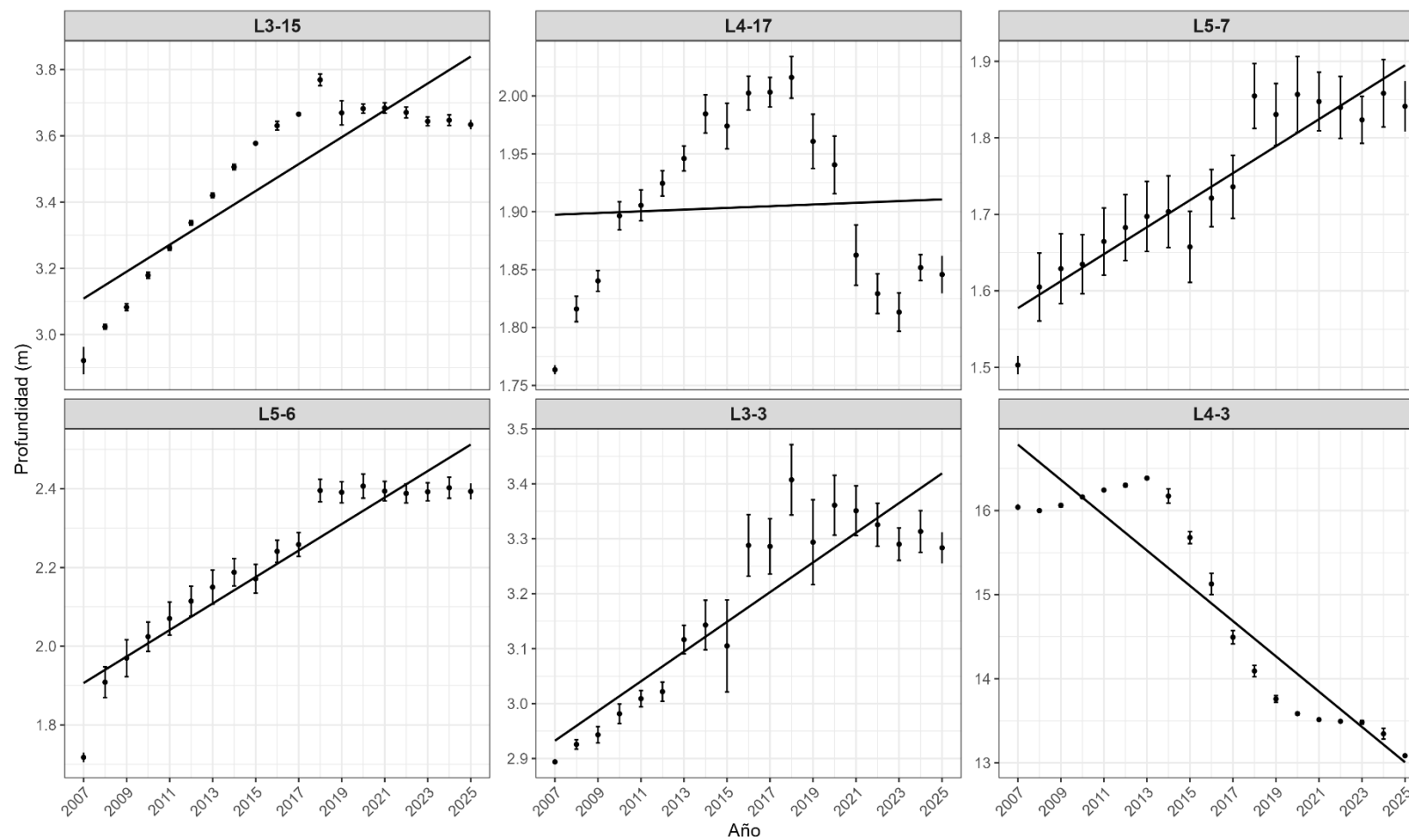
Fuente: elaboración propia

Figura 5.7. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

Figura 5.8. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

5.2 Comportamiento histórico de la napa subterránea y la humedad de suelo (2007-2025)

Se evaluó la relación entre el contenido de humedad superficial del suelo (CHS, g/g) y la profundidad de la napa freática (m) para las 18 parcelas monitoreadas entre 2007 y 2025. El análisis consideró el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson tanto a nivel de pozo (Tabla 5-16) como a nivel global, junto con el ajuste de una tendencia lineal para el conjunto de datos (Figura 5.9).

A nivel global, la relación histórica entre el contenido de humedad del suelo (CHS) y la profundidad de la napa freática mostró una correlación negativa estadísticamente significativa ($r = -0,609$; $p < 0,001$). La distribución de los datos y la tendencia ajustada evidencian que, en términos generales, a mayores profundidades de la napa el CHS tiende a disminuir, lo que indica una asociación inversa entre ambas variables, consistente con una posible influencia del nivel freático en la disponibilidad hídrica del suelo superficial.

No obstante, el análisis desagregado por pozo revela una marcada variabilidad espacial en la relación CHS–napa a lo largo del Salar de Atacama. Los coeficientes de correlación varían entre $-0,579$ y $0,524$, observándose asociaciones negativas de mayor magnitud en pozos como L2-26 ($r = -0,579$) y L5-6 ($r = -0,577$), mientras que otros pozos presentan correlaciones débiles o incluso positivas, como L1-3 ($r = 0,156$). Esta heterogeneidad sugiere que factores locales tales como la textura y salinidad del suelo, la microtopografía, la pendiente, el tipo de cobertura vegetal o la presencia de capas de baja permeabilidad podrían estar modulando la respuesta del sistema.

Adicionalmente, la variabilidad interanual del período analizado, junto con la ocurrencia de eventos extremos (precipitaciones intensas, aluviones) o intervenciones antrópicas puntuales, podría influir en los patrones observados. En determinados sectores, las correlaciones negativas significativas podrían reflejar zonas donde la napa contribuye de manera más directa a la humedad superficial del suelo, mientras que en otros casos el CHS registrado podría responder predominantemente a procesos superficiales independientes del nivel freático.

Estos resultados son consistentes con lo reportado históricamente en el Borde Este del Salar de Atacama, donde el gradiente oeste–este se asocia con mayores niveles de humedad en parcelas ubicadas hacia el sector occidental y con napas más someras. En conjunto, los hallazgos refuerzan la necesidad de considerar explícitamente la variabilidad espacial y temporal en el análisis e interpretación de los resultados de este monitoreo.

Figura 5.9 Relación entre la concentración de CHS y la profundidad de la napa en distintos pozos de monitoreo durante las campañas 2007-2025

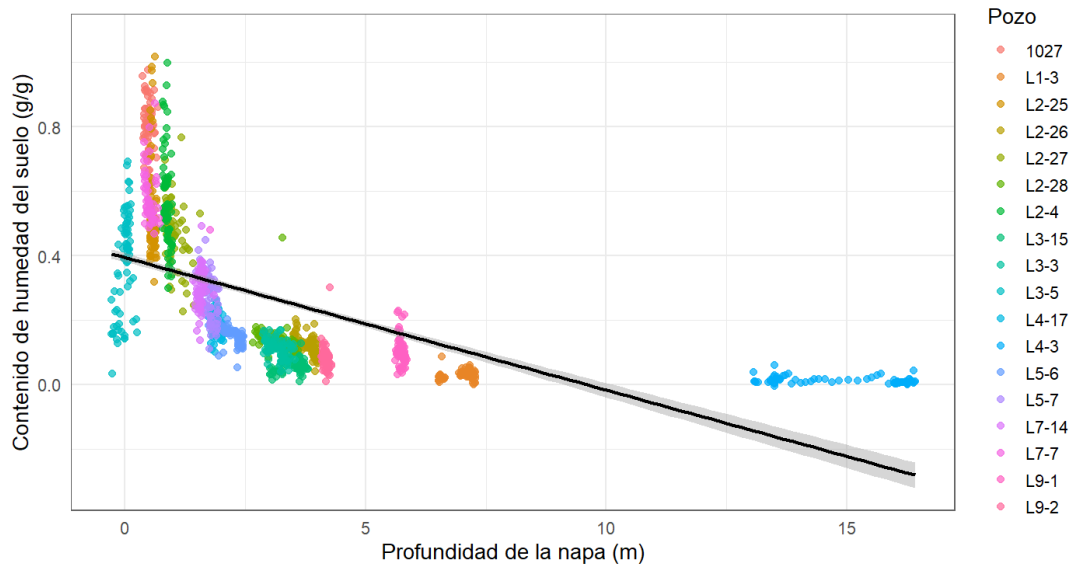


Tabla 5-16. Coeficientes de correlación de Pearson (r) y valores de p entre CHS y profundidad de la napa freática para cada pozo monitoreado (2007–2025)

Pozo	n	r	p_value
1027	63	-0,161	0,208
L7-7	57	-0,268	0,044
L7-14	74	0,243	0,037
L1-3	74	0,156	0,183
L2-26	73	-0,579	0,000
L2-25	74	-0,152	0,195
L2-4	74	-0,505	0,000
L2-28	73	-0,228	0,052
L2-27	70	-0,526	0,000
L3-15	73	0,265	0,023
L3-5	73	0,524	0,000
L3-3	74	-0,393	0,001
L4-3	74	-0,277	0,017
L4-17	73	-0,169	0,153
L5-6	74	-0,577	0,000
L5-7	74	-0,356	0,002
L9-2	73	-0,164	0,165
L9-1	74	-0,183	0,119

Asociaciones significativas se consideraron para $p < 0,05$. Como criterio de relevancia hidrogeológica, se define una correlación moderada cuando $|r| \geq 0,50$. Los valores negativos de r indican una relación inversa, donde una mayor profundidad de la napa se asocia con menor CHS.
Fuente: elaboración propia

5.3 Variación interanual de la vegetación

5.3.1 Antecedentes relevantes en la adquisición de datos en terreno

Los antecedentes presentados a continuación fueron recopilados y adaptados a partir del informe técnico de Geobiota (2023), con el fin de contextualizar eventos que podrían haber influido en la dinámica de la vegetación observada durante el período de monitoreo. Estos antecedentes continúan siendo pertinentes a la luz de los resultados actualizados al año 2025, dado que no se identifican cambios abruptos en la dinámica general del sistema vegetacional.

- El primero se relaciona con las fuertes precipitaciones registradas durante la época estival de 2019 (ver Anexo 3, Registro de precipitaciones mensuales 2007–2025), las cuales provocaron un aluvión que descendió desde la quebrada de Camar y afectó varias parcelas asociadas a los pozos de monitoreo L3-15, L3-3, L3-5, L2-27 y L2-28, con pérdida parcial de ejemplares vegetales en dichos sitios. Durante la campaña de abril de 2020, SQM procedió a reetiquetar los individuos afectados por el evento.
- Por otra parte, y de acuerdo con el protocolo de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos (ver Anexo 7), que restringe el acceso a esta durante el periodo de nidificación de aves altiplánicas (octubre a febrero), no fue posible realizar monitoreos en parcelas ubicadas en las inmediaciones de los pozos L7-7 y 1027 durante las campañas de 2018 y 2019.

5.3.2 Análisis general de la vitalidad

El análisis de la vitalidad de la vegetación en las parcelas monitoreadas entre 2007 y 2025 revela variaciones interanuales relevantes, diferenciadas por trimestre de medición y categoría de vigor (Figura 5.10). La incorporación de los datos correspondientes al período más reciente refuerza los patrones históricos previamente identificados.

Durante los trimestres 1 y 2, se observa una disminución progresiva del número de individuos clasificados con crecimiento normal, acompañada por un aumento sostenido de la categoría seca, junto con fluctuaciones en los estados débil y muy débil. Los individuos clasificados como vigorosos se mantienen escasos a lo largo de todo el período analizado. Este patrón sugiere una tendencia hacia una menor condición de vitalidad durante los primeros meses del año, coherente con la estacionalidad ecológica de las especies monitoreadas.

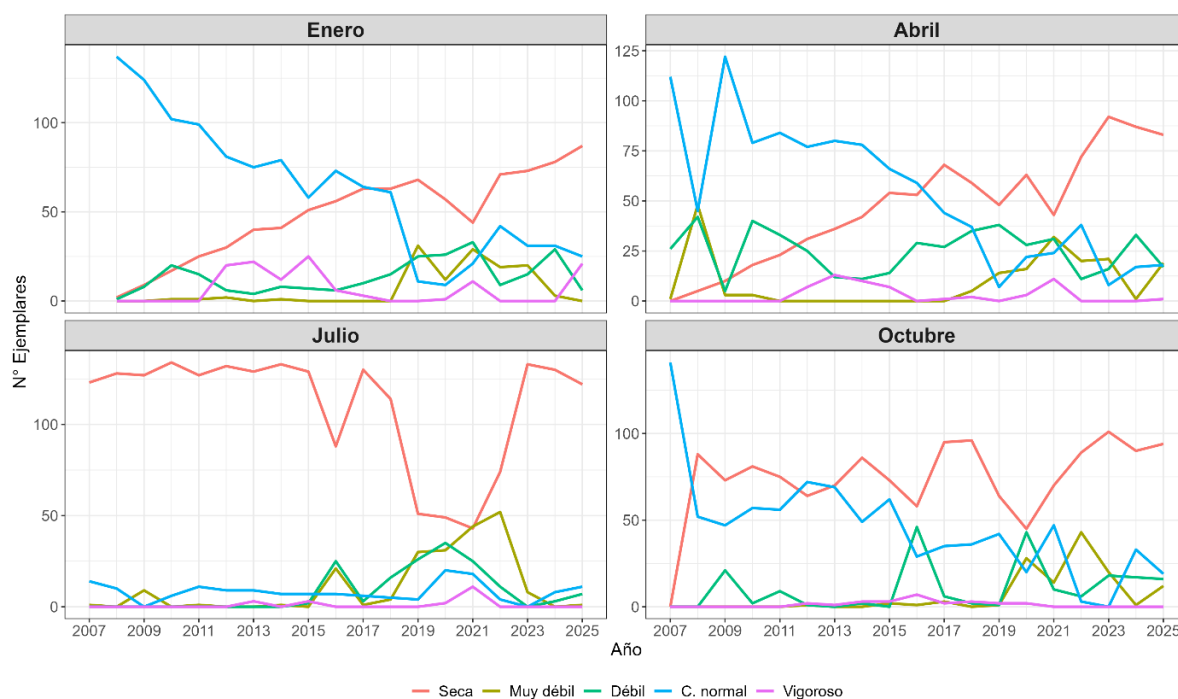
El trimestre 3 presenta un comportamiento diferenciado respecto de los demás períodos. Durante los primeros años del monitoreo (2007–2015), los individuos clasificados como secos predominan ampliamente, con registros que superan los 100 ejemplares. A partir del año 2016, esta categoría muestra una disminución, mientras se incrementan los individuos clasificados como débil, muy débil y, en algunos períodos recientes, vigoroso. Este cambio podría estar reflejando una redistribución de los estados de vitalidad en respuesta a condiciones ambientales variables, más que una recuperación sostenida del sistema.

En el trimestre 4, destaca un aumento progresivo en la cantidad de individuos secos a partir del año 2021, mientras que la categoría crecimiento normal presenta una tendencia decreciente, alcanzando valores nulos en ciertos años recientes. Las categorías débil y muy débil aparecen de forma esporádica, sin una tendencia definida, lo que sugiere una mayor vulnerabilidad de la vegetación en esta fase del ciclo anual.

En conjunto, los resultados indican una alta proporción de individuos clasificados en la categoría de vitalidad seca, especialmente durante los períodos de otoño e invierno, reflejando una marcada estacionalidad fenológica. Este comportamiento, observado de manera consistente a lo largo del período histórico, es coherente con el diseño de

monitoreo basado en individuos marcados de forma permanente desde 2007, así como con el ciclo natural de las especies evaluadas, sin evidenciar cambios abruptos en la dinámica general del sistema vegetacional.

Figura 5.10. Variación del número de individuos por categoría de vitalidad, según trimestre de monitoreo desde el año 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

5.3.3 Análisis por especie

El análisis histórico de las especies monitoreadas entre 2007 y 2025 debe ser interpretado considerando ciertos eventos reportados previamente que pudieron haber afectado tanto la vitalidad de los individuos como la continuidad del monitoreo.

En particular, el alud registrado en 2019 desde la quebrada de Camar se identifica como un evento disruptivo que pudo haber afectado directamente la condición de los individuos ya sea por daño físico, colmatación o alteración del sustrato. Junto con la variabilidad climática interanual, estos eventos extremos parecen haber tenido un impacto acumulativo sobre la vegetación, cuya recuperación en años relativamente más húmedos ha sido solo parcial. De hecho, en los informes anuales de suelo de 2019 y 2020 (Geobiota 2023) se reporta la imposibilidad de monitorear algunos ejemplares durante ese periodo, afectando diversas parcelas.

Asimismo, la presencia de registros clasificados como “Permiso CONAF–Comunidades” o “Sin información” en determinados años representa una limitación en la continuidad de la serie histórica. No obstante, estos vacíos no impiden identificar tendencias generales en la respuesta de cada especie frente a las condiciones ambientales del Salar de Atacama.

5.3.3.1 *Atriplex atacamensis*

Categoría de Fenología (Figura 5.11)

Durante el período 2007–2025, la fenología de *Atriplex atacamensis* evidenció una marcada estacionalidad, con mayor presencia de individuos en floración y fructificación durante los meses de verano (enero y abril), en respuesta a la disponibilidad hídrica estival. En contraste, durante los trimestres de julio y octubre predominaron los estados vegetativos y senescentes, lo que sugiere una estrategia conservativa frente a condiciones ambientales menos favorables.

En años como 2012 y 2017 se registró una expresión fenológica más activa, con floración temprana en enero y fructificación sostenida hasta abril, seguida de un marcado receso vegetativo durante el segundo semestre. No obstante, a partir de 2016 se observa una reducción sostenida en la producción de frutos, reflejando un cambio en la dinámica reproductiva de la especie. Esta tendencia se mantiene en los años posteriores (por ejemplo, 2021 y 2022), donde predomina el crecimiento vegetativo, y se acentúa hacia el final del período analizado, con una expresión reproductiva particularmente baja en el segundo semestre.

En los años más recientes se observa una leve reaparición de eventos de floración en octubre, aunque con menor intensidad respecto de los años de mayor actividad reproductiva. La persistencia de estados senescentes y la baja proporción de individuos en fructificación sugieren que la funcionalidad fenológica de la especie no se ha restablecido completamente.

Estos cambios podrían estar asociados tanto a perturbaciones físicas del hábitat, como el alud reportado en 2019, como a la variabilidad interanual de las precipitaciones. Si bien la presencia de registros clasificados como “Permiso CONAF–COMUNIDADES” o “Sin información” limita la continuidad de algunos trimestres, los datos disponibles hasta 2025 permiten identificar una tendencia general hacia la reducción de la actividad reproductiva de *Atriplex atacamensis* en los últimos años.

Categoría de Copa viva (Figura 5.12)

Durante el período **2007–2025**, la cobertura de copa viva en *Atriplex atacamensis* mostró una tendencia general hacia la reducción del follaje verde. En los primeros años del monitoreo (2007–2011), se observó una proporción considerable de individuos con coberturas medias y altas (25–50% y >50%), reflejando una expresión foliar más favorable.

A partir de 2012 se evidencia un aumento sostenido de las categorías de cobertura baja (5–25%), indicando una reducción progresiva de la superficie foliar activa. Desde 2016 comienza a registrarse con mayor frecuencia la categoría de 0% de cobertura, especialmente durante los trimestres de julio y octubre, aunque sin llegar a ser predominante. Su recurrencia estacional sugiere que una fracción de los individuos pierde completamente el follaje verde en determinadas épocas del año.

Los trimestres de invierno y primavera (julio y octubre) concentran la mayor proporción de coberturas reducidas (<25%), posiblemente asociadas a condiciones climáticas restrictivas o a una menor actividad fotosintética estacional. En los años 2019 y 2020 se observa un aumento en la proporción de individuos sin cobertura foliar, coincidiendo temporalmente con el evento de alud ocurrido en 2019. Dicho disturbio, junto con la variabilidad climática interanual, podría haber influido negativamente en la estructura foliar de la especie.

Durante los años 2021–2023 se mantiene una alta frecuencia de individuos con coberturas muy bajas, particularmente durante el segundo semestre. Hacia el final del período analizado (2024–2025) se observa una leve

reaparición de coberturas intermedias (25–50%) en algunos trimestres, principalmente en abril; sin embargo, persiste una proporción relevante de individuos con cobertura <5% o nula, lo que indica que la recuperación foliar continúa siendo parcial.

Si bien existen limitaciones en ciertos años asociadas a registros sin información o bajo “Permiso CONAF–COMUNIDADES”, el comportamiento observado hasta 2025 es consistente con una pérdida progresiva de cobertura viva, sin evidenciar una recuperación sostenida de la estructura foliar a escala del período histórico.

Categoría de Vitalidad (Figura 5.13)

Entre 2007 y 2025, se evidencia una disminución progresiva en la proporción de individuos con condición normal de vitalidad en *Atriplex atacamensis*, especialmente a partir del año 2012. En los primeros años del monitoreo (2007–2011), la categoría C. normal predominó en todos los trimestres, indicando un estado fisiológico adecuado en la mayoría de los individuos (cercano al total de ejemplares monitoreados en cada campaña).

A partir de 2012 se registra un aumento sostenido de las categorías Seca, Muy débil y Débil, particularmente durante los trimestres de abril, julio y octubre, lo que refleja una condición de vitalidad reducida. En el año 2019 se observa un cambio abrupto, con una alta proporción de individuos clasificados en condición seca o muy débil, coincidente temporalmente con el evento de alud reportado ese año. Este efecto se extiende en los años posteriores (2021–2023), durante los cuales predominan categorías asociadas a estados avanzados de senescencia, lo que sugiere una recuperación limitada de la población monitoreada.

Hacia el final del período analizado (2024–2025), se observan fluctuaciones puntuales, con un aumento de individuos en condición normal o vigorosa en algunos trimestres (principalmente en julio y octubre). No obstante, persisten proporciones relevantes de individuos en categorías débil y muy débil.

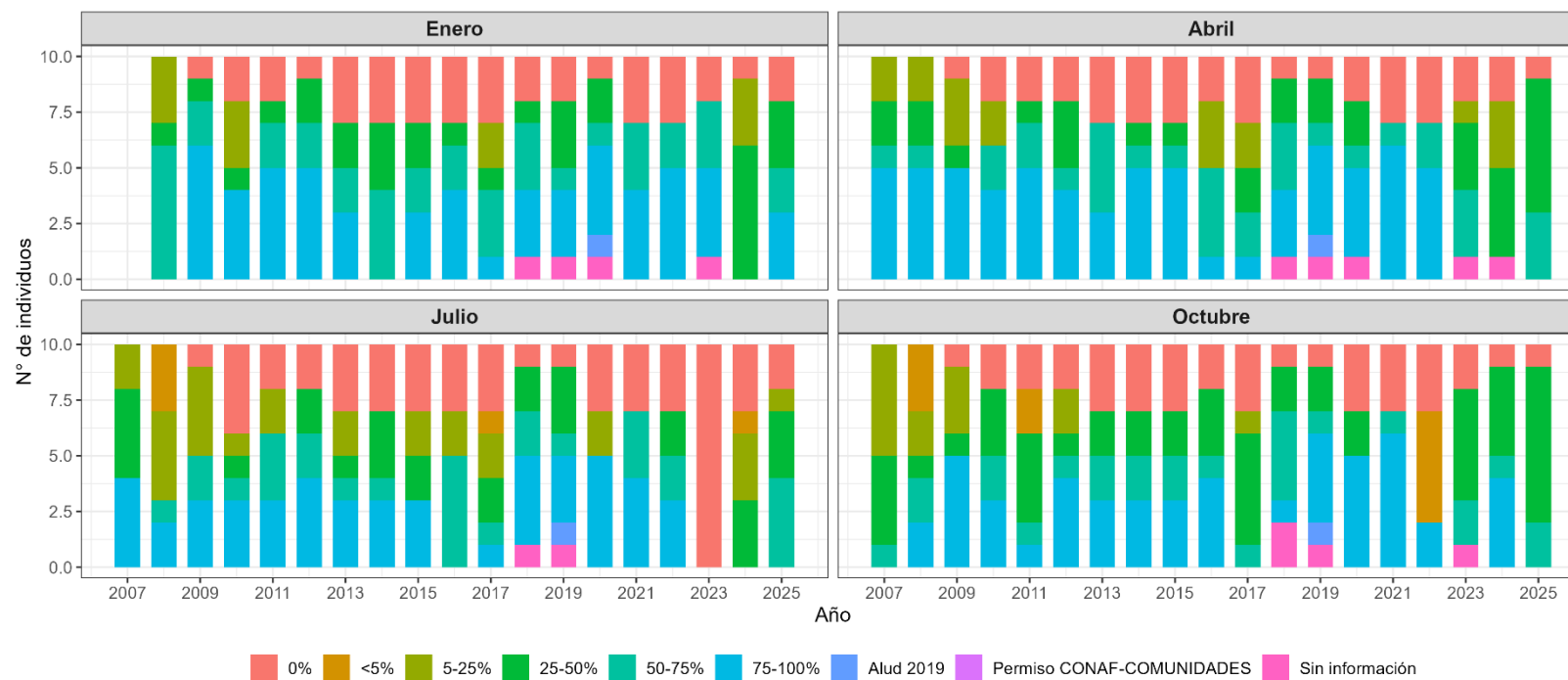
Al igual que en las otras variables analizadas, la presencia de registros clasificados como “Permiso CONAF–COMUNIDADES” o “Sin información” dificulta la continuidad completa de la serie en ciertos períodos; sin embargo, los datos disponibles hasta 2025 permiten identificar una tendencia general hacia el deterioro progresivo de la vitalidad, asociada a la ocurrencia de eventos extremos y a condiciones ambientales restrictivas persistentes.

Figura 5.11. *Atriplex atacamensis*: Número de individuos por categoría de fenología, campañas 2007 a 2025



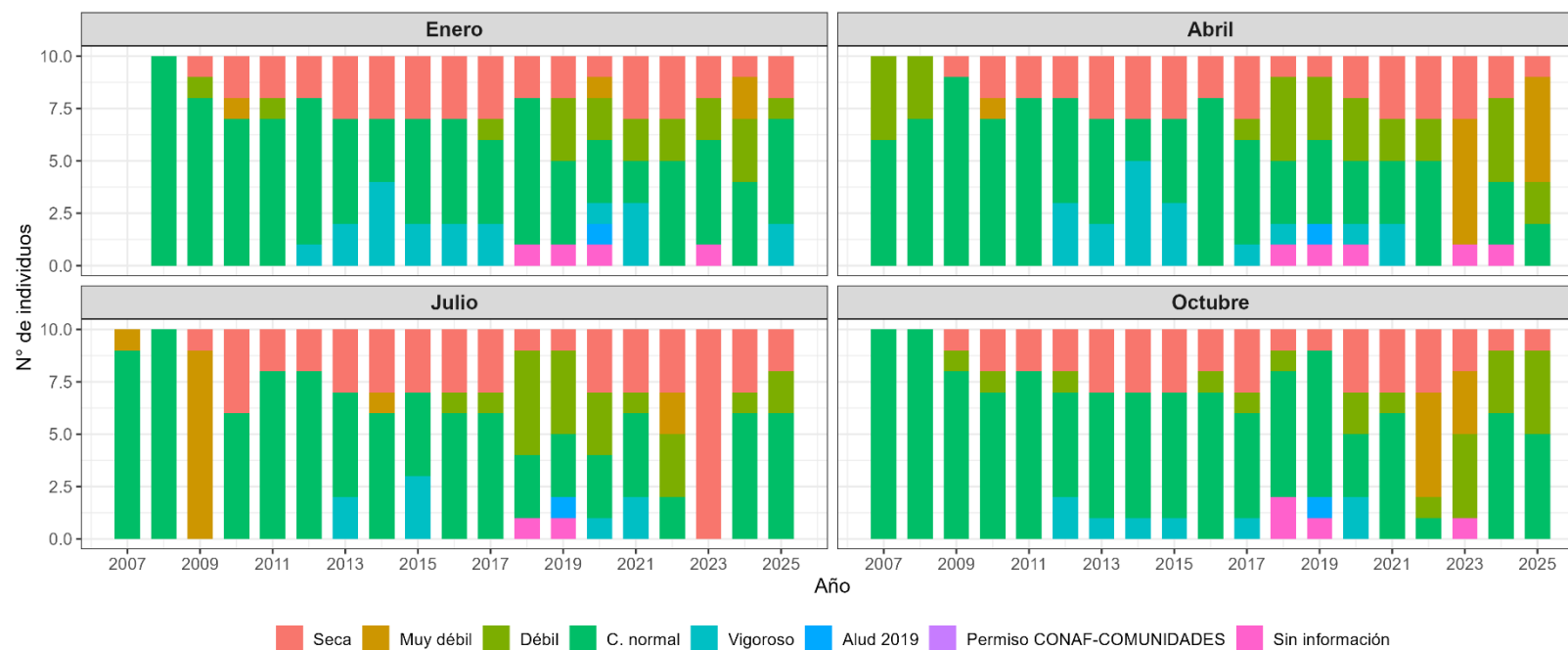
Fuente: elaboración propia

Figura 5.12. *Atriplex atacamensis*: Número de individuos por categoría de copa viva, campañas 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

Figura 5.13. *Atriplex atacamensis*: Número de individuos por clase de vitalidad, campañas 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

5.3.3.2 *Distichlis spicata*

Categoría de Fenología (Figura 5.14)

En la Figura 5.14 se observa que la fenología de *Distichlis spicata* entre 2007 y 2025 presenta una marcada estabilidad en sus fases vegetativas a lo largo del año, con una escasa expresión de estados reproductivos. Durante todo el período analizado predominan los individuos en estado vegetativo y senescente, especialmente en los trimestres de julio y octubre, lo que es consistente con una estrategia adaptativa conservativa frente a un ambiente altamente restrictivo y con fuerte estacionalidad.

En los primeros años del monitoreo (2007–2012) se registraron algunos individuos en floración o fructificación, concentrados principalmente en los trimestres de enero y abril, aunque sin una recurrencia estacional marcada. Esta baja expresión reproductiva se mantiene en los años posteriores, registrándose períodos (como 2019 y 2020) sin presencia de fases reproductivas en ninguno de los trimestres monitoreados. Incluso hacia el final del período analizado (2023–2025), cuando otras especies muestran variaciones fenológicas puntuales, *D. spicata* conserva un comportamiento predominantemente vegetativo.

La limitada expresión reproductiva observada podría estar asociada a las condiciones propias del sitio, tales como restricciones hídricas, alta salinidad del sustrato y al carácter clonal de la especie, que favorece estrategias de persistencia vegetativa por sobre la reproducción sexual en este tipo de ambientes. Si bien existen años con registros ausentes o clasificados como “Permiso CONAF–COMUNIDADES” o “Sin información”, los datos disponibles permiten concluir que *D. spicata* presenta una dinámica fenológica estable, con baja variación interanual y reproducción sexual limitada, consistente con su ecología y con las condiciones ambientales del Salar de Atacama.

Categoría de Copa Viva (Figura 5.15)

En la Figura 5.15, se aprecia que la cobertura de copa viva en *Distichlis spicata* entre 2007 y 2025 exhibe una alta variabilidad interanual, con predominio de coberturas bajas a medias (<25% y 25–50%) en la mayoría de los trimestres. En los primeros años del monitoreo (2007–2011), los individuos se distribuyen entre las categorías de cobertura muy baja (<5%) y cobertura media (25–50%), lo que es consistente con una expresión foliar variable pero funcional en este tipo de ambientes.

A partir de 2012 se observa un aumento en la frecuencia de individuos con cobertura nula (0%) o muy baja, especialmente durante los trimestres de julio y octubre. Este comportamiento podría estar asociado a fluctuaciones estacionales en la actividad fotosintética y a las condiciones propias del sistema hipersalino, más que a una pérdida permanente de estructura aérea. Entre 2015 y 2018 se consolidan las categorías de menor cobertura como dominantes en invierno y primavera, manteniéndose una elevada variación entre campañas.

El evento de alud ocurrido en 2019 coincide con una reconfiguración puntual de las categorías de cobertura, sin evidenciar un impacto abrupto sobre la estructura foliar de la especie, a diferencia de lo observado en otras especies monitoreadas. Posteriormente, entre 2020 y 2022 se registra una relativa estabilidad en la expresión foliar, con un aumento ocasional de individuos en categorías intermedias (25–50% y 50–75%) durante los trimestres estivales (enero y abril), lo que sugiere una capacidad de respuesta parcial bajo condiciones ambientales favorables.

Hacia los años más recientes (2023–2025), dicha recuperación se atenúa, observándose nuevamente una mayor representación de las categorías de cobertura más baja (<5% y 0%). Este comportamiento refleja la dinámica

conservativa y altamente adaptativa de *D. spicata*, caracterizada por una baja inversión estructural persistente y modulada por la estacionalidad y la variabilidad interanual.

La presencia recurrente de registros clasificados como “Permiso CONAF–COMUNIDADES” o “Sin información” limita la continuidad de algunas series; no obstante, los datos disponibles permiten identificar una tendencia general hacia la dominancia de coberturas bajas, con episodios puntuales de incremento foliar, consistentes con la ecología y estrategia de persistencia de la especie en el Salar de Atacama.

Categoría de Vitalidad (Figura 5.16)

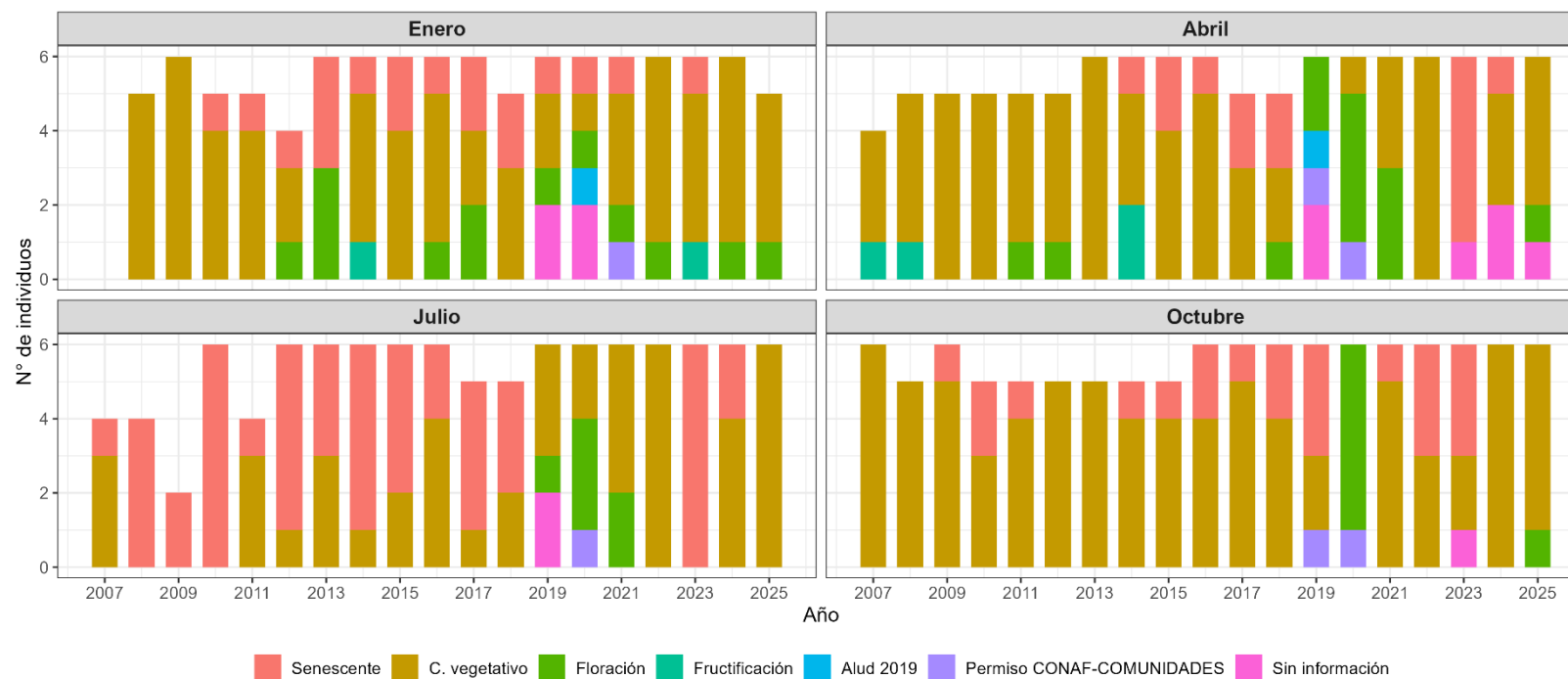
La evaluación de la condición de vitalidad de *Distichlis spicata* entre 2007 y 2025 muestra una marcada predominancia de individuos clasificados en condición normal durante los primeros años del monitoreo, especialmente en los trimestres de abril y octubre entre 2007 y 2014. Este comportamiento es indicativo de una estructura poblacional mayoritariamente estable en ese período.

No obstante, a partir de 2015 se evidencia un cambio en la composición de las categorías de vitalidad, con un aumento progresivo de individuos clasificados como débil, muy débil o seco, particularmente durante los trimestres de julio y octubre. Este patrón coincide temporalmente con la reducción en las coberturas foliares activas observada en el análisis de copa viva, y sugiere una disminución estacional de la condición fisiológica, coherente con la dinámica conservativa de la especie en ambientes altamente restrictivos.

Entre 2016 y 2018, esta condición se vuelve más frecuente, observándose una mayor proporción de individuos en estados de vitalidad reducida. Durante el evento de alud de 2019 y en los años posteriores, se registra una mayor variabilidad en las categorías de vitalidad, incluyendo apariciones puntuales de individuos vigorosos durante los trimestres estivales (enero y abril de 2019), así como un leve repunte de la categoría normal hacia el año 2020. Sin embargo, estas mejoras no se sostienen en el tiempo, manteniéndose en los períodos invernales y primaverales una mayor representación de categorías asociadas a menor vigor.

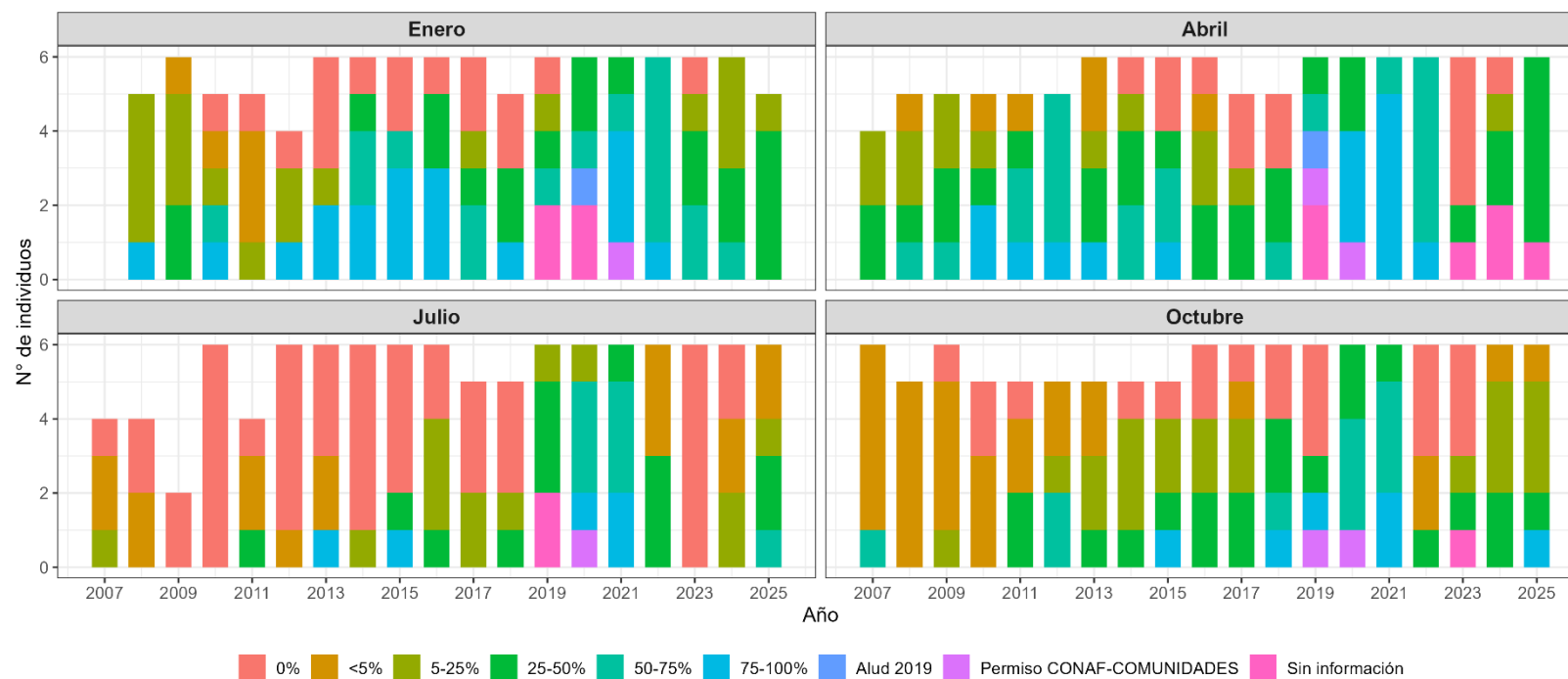
En conjunto, la dinámica observada sugiere que *D. spicata* presenta fluctuaciones en su condición de vitalidad moduladas por la estacionalidad y la ocurrencia de eventos ambientales puntuales, manteniendo una estrategia persistente basada en una variabilidad acotada del vigor más que en respuestas de recuperación rápida. La presencia de registros clasificados como “Permiso CONAF–COMUNIDADES” o “Sin información” limita parcialmente la continuidad de la serie, pero no impide identificar esta tendencia general a lo largo del período analizado.

Figura 5.14. *Distichlis spicata*: Número de individuos por categoría de fenología, campañas 2007 a 2025



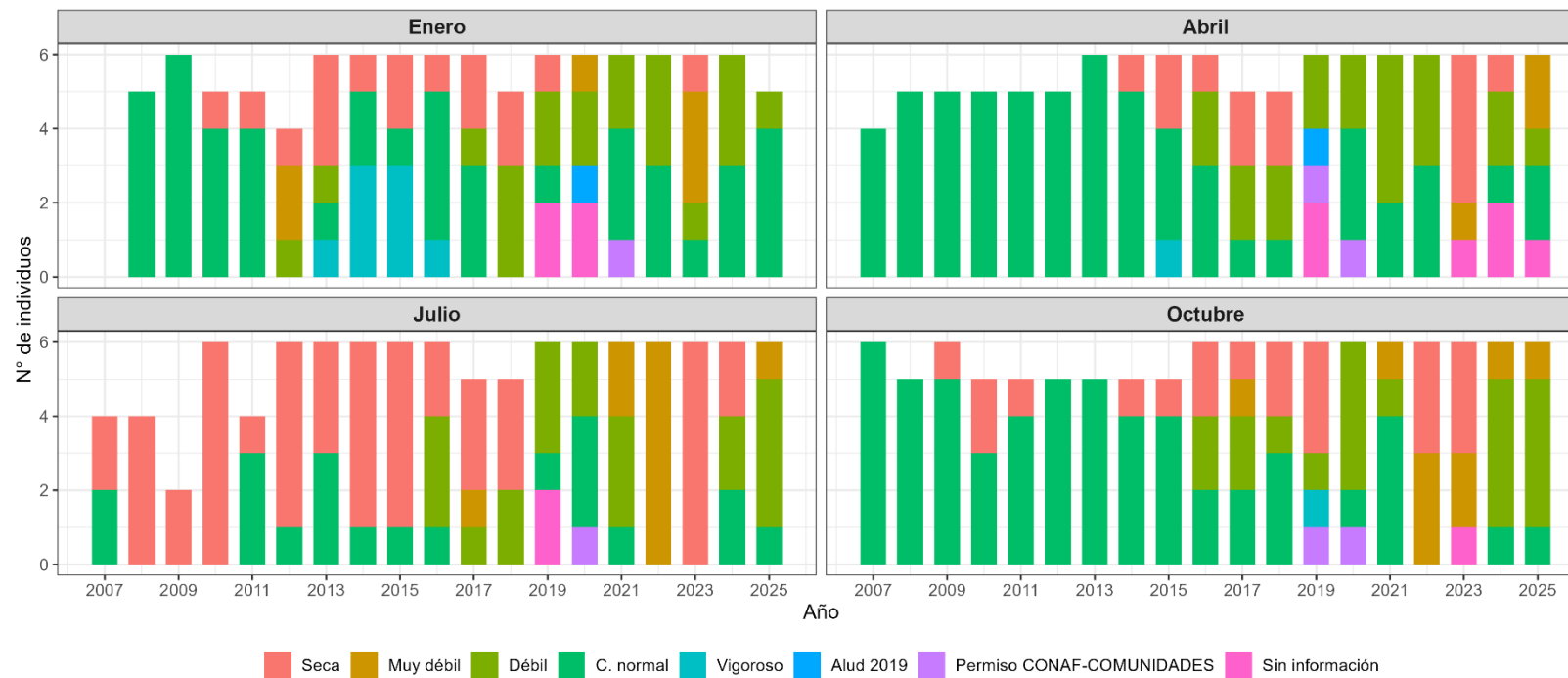
Fuente: elaboración propia

Figura 5.15. *Distichlis spicata*: Número de individuos por clase de copa viva, campañas 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

Figura 5.16. *Distichlis spicata*: Número de individuos por categoría de vitalidad, campañas 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

5.3.3.3 *Nitrophila atacamensis*

Categoría de Fenología (Figura 5.17)

La fenología de *Nitrophila atacamensis* entre 2007 y 2025 muestra un patrón altamente conservativo, con una dominancia casi absoluta del estado vegetativo durante los trimestres de verano y otoño (enero y abril). Este comportamiento indica una estrategia persistente de mantención de actividad vegetativa, con escasa o nula expresión de estructuras reproductivas durante gran parte del año.

Las fases reproductivas (floración y fructificación) son poco frecuentes y se presentan de manera puntual en los primeros años del monitoreo (2007–2008) y, posteriormente, entre 2017 y 2019, sin exhibir una estacionalidad definida ni recurrencia interanual. Esta baja expresión reproductiva sugiere una inversión limitada en reproducción sexual, en concordancia con una estrategia fenológica conservadora en un ambiente altamente restrictivo.

Durante el trimestre invernal (julio), el comportamiento fenológico difiere del resto del año, registrándose un predominio del estado senescente entre 2007 y 2010, condición que se mantiene con frecuencia en los años posteriores. A partir de 2018, este estado alterna ocasionalmente con el estado vegetativo; sin embargo, no se registran eventos de floración ni fructificación, lo que reafirma la limitada actividad reproductiva de la especie durante este período.

En primavera (octubre), el estado vegetativo predomina hasta aproximadamente el año 2016. Posteriormente, se observa un aumento en la representación del estado senescente, junto con interrupciones en el monitoreo asociadas a permisos especiales durante 2019–2020. Desde 2021 en adelante, los registros disponibles vuelven a mostrar una dominancia del estado senescente, lo que podría estar asociado a condiciones ambientales restrictivas propias del sistema o a limitaciones edáficas que restringen el desarrollo reproductivo.

La ocurrencia puntual de eventos de floración en abril de 2017 y julio de 2018, así como de fructificación en enero y abril de 2007, sugiere que *Nitrophila atacamensis* puede expresar reproducción sexual bajo condiciones ambientales específicas, aunque estos eventos no se repiten ni se consolidan como patrones fenológicos recurrentes. En conjunto, los resultados refuerzan la interpretación de una estrategia fenológica fuertemente conservativa, con baja plasticidad reproductiva y una dependencia predominante del crecimiento vegetativo como mecanismo de persistencia poblacional.

Categoría de Copa viva (Figura 5.18)

La categoría de copa viva en individuos de *Nitrophila atacamensis* entre 2007 y 2025 evidencia patrones estacionales contrastantes y una notable variabilidad interanual. Durante los trimestres de verano y otoño (enero y abril), se registra una alta proporción de individuos con coberturas de copa viva superiores al 75%, particularmente entre los años 2010 y 2018. Esta condición refleja una mayor expresión foliar durante los períodos con condiciones ambientales relativamente más favorables.

A partir de 2019, se observa una mayor fragmentación en la distribución de las categorías de cobertura, con incrementos en la representación de clases intermedias (25–75%). Este comportamiento sugiere una mayor heterogeneidad en la cobertura foliar, más que una pérdida uniforme de biomasa activa.

Durante el trimestre invernal (julio), predomina consistentemente la categoría de copa nula (0%), especialmente entre 2010 y 2018, evidenciando una pérdida estacional del follaje en una parte importante de los individuos. Esta condición se mantiene en varios años posteriores, aunque con repuntes puntuales de coberturas intermedias entre

2019 y 2022. Este patrón es coherente con estrategias de reducción temporal de biomasa aérea como mecanismo adaptativo frente a condiciones ambientales restrictivas durante el invierno, tales como bajas temperaturas o limitada disponibilidad hídrica superficial.

En primavera (octubre), se observa una mayor heterogeneidad en las categorías de copa viva, lo que sugiere una fase de transición fenológica, con coexistencia de individuos en distintos estados de recuperación foliar. Si bien en algunos años se registran coberturas elevadas (>50%), en otros se observa una mayor proporción de copas secas, como en 2023, lo que podría relacionarse con la variabilidad climática interanual o con condiciones acumuladas desde la estación seca.

El evento de alud ocurrido en 2019 no se traduce en un cambio abrupto en las proporciones de copa viva, aunque coincide con una mayor heterogeneidad y con interrupciones en el acceso a algunos sectores, reflejadas en registros ausentes en ciertos trimestres. En los años más recientes (2023–2025), se mantiene una diversidad de categorías de cobertura, sin evidenciar una recuperación sostenida hacia los niveles observados en la primera década del monitoreo.

En conjunto, la dinámica de la copa viva en *Nitrophila atacamensis* es consistente con una respuesta fuertemente estacional, caracterizada por pérdida recurrente de follaje en invierno y mayor expresión vegetativa en verano y otoño, modulada por la variabilidad ambiental interanual.

Categoría de Vitalidad (Figura 5.19)

La condición de vitalidad de *N. atacamensis* entre 2007 y 2024 presenta una dinámica contrastante entre trimestres. En los meses de enero y abril se observa una predominancia sostenida de individuos clasificados con condición normal (categoría rosada), especialmente entre 2007 y 2018. Esta estabilidad inicial sugiere una buena adaptación de la especie a las condiciones estivales y otoñales durante ese periodo. Sin embargo, a partir de 2019 comienza a manifestarse una mayor diversidad en las categorías de vitalidad, con la aparición de individuos clasificados como débil en verano y otoño, lo que podría reflejar una disminución progresiva en la condición fisiológica de algunos individuos.

La condición de vitalidad de *Nitrophila atacamensis* entre 2007 y 2025 presenta una dinámica claramente diferenciada entre trimestres, coherente con su marcada estacionalidad. Durante los trimestres de verano y otoño (enero y abril) se observa una predominancia sostenida de individuos clasificados con condición de crecimiento normal, particularmente entre los años 2007 y 2018, lo que indica un buen desempeño fisiológico de la especie en estos periodos del año.

A partir de 2019, se aprecia una mayor diversidad en las categorías de vitalidad durante estos trimestres, con la aparición puntual de individuos clasificados como débil, sin que ello implique un reemplazo sistemático de la condición normal. Este comportamiento sugiere una mayor variabilidad interanual en la expresión del vigor, más que un cambio abrupto en la condición general de la población.

En contraste, durante los trimestres invernales (julio) y primaverales (octubre) se registra, desde los primeros años del monitoreo, una proporción relevante de individuos en condición seca, especialmente entre 2007 y 2011. A partir de 2012, aumenta la presencia de individuos clasificados como débil y muy débil, lo que refleja una respuesta estacional de la vitalidad frente a periodos más restrictivos, consistente con la ecología de la especie. Esta condición se mantiene de manera recurrente durante el período analizado, con leves incrementos de la categoría crecimiento normal en algunos años, como 2019 y 2020.

El evento de alud ocurrido en 2019 no evidencia un quiebre abrupto en la condición de vitalidad de la especie, aunque sí coincide con una mayor fragmentación de los registros y con interrupciones en el acceso a algunos sectores, lo que afecta la continuidad temporal en determinados trimestres. En los años más recientes (2023–2025), se observa una estabilización del patrón, con coexistencia de individuos en condición normal y seca, sin alcanzar los niveles de uniformidad observados en la primera mitad del período.

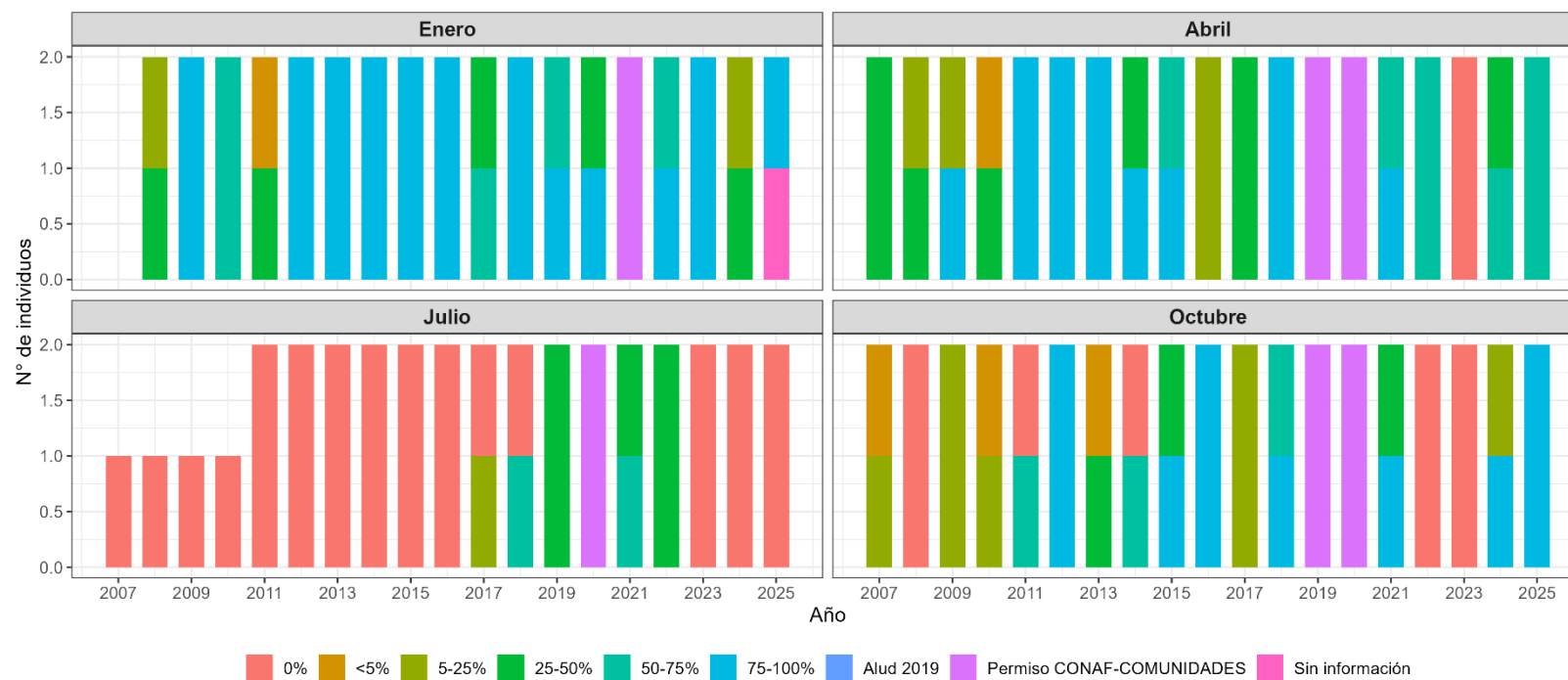
En conjunto, la vitalidad de *Nitrophila atacamensis* refleja una respuesta fuertemente modulada por la estacionalidad, con mejor desempeño relativo durante los períodos estivales y una reducción recurrente del vigor en invierno y primavera. Esta dinámica evidencia una estrategia conservativa, con variaciones intra-anales esperables en una especie adaptada a ambientes hiperáridos y salinos, más que una pérdida progresiva de condición fisiológica.

Figura 5.17. *Nitrophila atacamensis*: Número de individuos por categoría de fenología, campañas 2007 a 2025



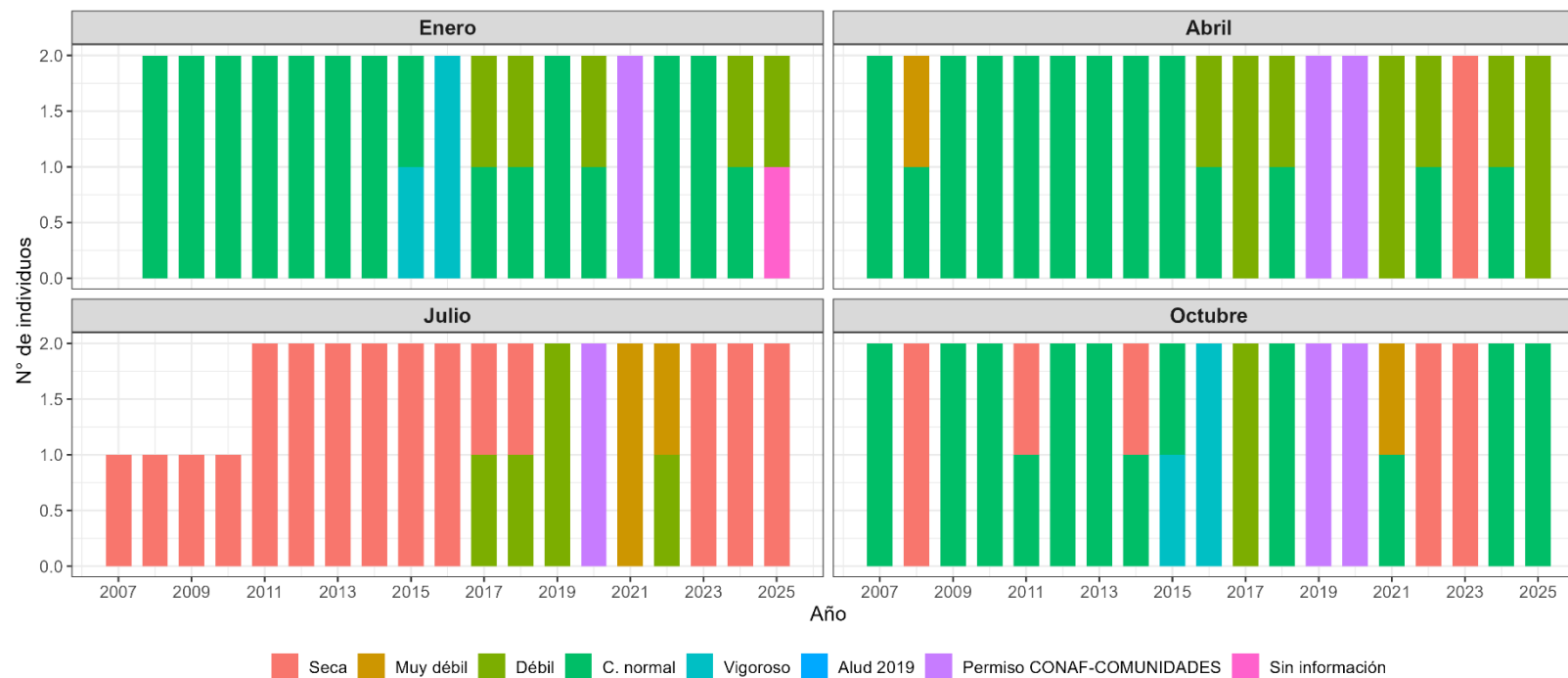
Fuente: elaboración propia

Figura 5.18. *Nitrophila atacamensis*: Número de por categoría por clase de copa viva, campañas 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

Figura 5.19. *Nitrophila atacamensis*: Número de individuos por categoría de vitalidad, campañas 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

5.3.3.4 *Tessaria absinthioides*

Categoría de Fenología (Figura 5.20)

El análisis fenológico de *Tessaria absinthioides* entre 2007 y 2025 muestra patrones fuertemente marcados por la estacionalidad y por una alta proporción de individuos registrados en estado senescente a lo largo del período, particularmente durante los trimestres de invierno y primavera.

Durante el trimestre de enero, los registros fenológicos evidencian una coexistencia entre estados vegetativos y senescentes entre 2007 y 2014. A partir de 2015 se observa una disminución gradual en la proporción de individuos en estado vegetativo, junto con un aumento sostenido del estado senescente. Los eventos de floración y fructificación se detectan de forma ocasional entre 2009 y 2022, aunque con muy baja frecuencia y limitada representación en los conteos. En 2019, la ocurrencia del alud y las posteriores restricciones de acceso explican interrupciones en los registros en algunos sectores. En los años más recientes (2022–2025), el trimestre de enero se caracteriza por un predominio casi exclusivo del estado senescente.

En el trimestre de abril, se observa una mayor diversidad fenológica hasta aproximadamente el año 2016, con presencia de estados vegetativos, floración y fructificación. Sin embargo, a partir de 2017 esta diversidad disminuye, incrementándose la proporción de individuos senescentes, patrón que se mantiene hasta el final del período analizado. La floración se presenta de manera discontinua, con registros puntuales entre 2011 y 2022, mientras que la fructificación es aún menos frecuente, apareciendo solo de forma aislada y posiblemente asociada a años con condiciones ambientales relativamente más favorables.

Durante el invierno (julio), la gran mayoría de los individuos se registra en estado senescente en casi todos los años del monitoreo. No obstante, entre 2017 y 2021 se documenta una reactivación fenológica puntual, con mayor presencia de estados vegetativos y, en menor medida, floración y fructificación. Esta condición no se sostiene más allá de 2021, retomándose posteriormente el predominio del estado senescente, lo que refleja una fuerte influencia de las condiciones climáticas invernales sobre el ciclo fenológico de la especie.

En primavera (octubre), si bien se mantiene una alta proporción de individuos senescentes, se observa una mayor diversidad fenológica en comparación con julio. Entre 2015 y 2021 se registran eventos esporádicos de floración y fructificación, sugiriendo una reactivación limitada hacia la estación de crecimiento. No obstante, esta reactivación resulta insuficiente para revertir el patrón general observado, caracterizado por una alta proporción de individuos en estado senescente, lo que es esperable considerando el seguimiento de individuos de larga vida y su dinámica aérea persistente.

En conjunto, los resultados indican que *Tessaria absinthioides* presenta una marcada estacionalidad fenológica, con predominio del estado senescente durante gran parte del año, interrumpido por episodios puntuales de actividad vegetativa y reproductiva. Las interrupciones observadas en 2019 y 2020 responden a eventos climáticos extremos y a restricciones logísticas documentadas, sin evidenciar cambios abruptos atribuibles al sistema biológico subyacente.

Categoría de copa viva (Figura 5.21)

El análisis de la proporción de copa viva en *Tessaria absinthioides* entre 2007 y 2025 evidencia un aumento progresivo en la representación de individuos con baja o nula cobertura foliar, particularmente a partir de mediados del período de monitoreo. Este comportamiento se manifiesta de forma consistente en los distintos trimestres del año, con variaciones asociadas a la estacionalidad.

Durante el trimestre de enero, entre 2007 y 2013 se observó una mayor proporción de individuos con coberturas intermedias a altas (50–75% y 75–100%), con una distribución relativamente equilibrada entre categorías de copa viva. A partir de 2014, se registra un aumento sostenido de la categoría 0%, indicando una mayor presencia de individuos sin follaje aéreo. Este patrón se intensifica desde 2018 en adelante, observándose en los años más recientes un predominio de individuos sin copa viva, mientras que las categorías de cobertura alta prácticamente desaparecen hacia el final del período analizado.

En abril, el comportamiento es similar, aunque con una mayor variabilidad interanual. Hasta aproximadamente 2014 se mantiene una representación relevante de coberturas entre 25% y 75%; sin embargo, desde 2015 aumenta progresivamente la proporción de individuos con copa viva nula. Entre 2018 y 2025, esta categoría pasa a ser dominante, evidenciando una reducción general de la expresión foliar aérea en la población monitoreada.

Durante el trimestre invernal (julio), desde 2007 y hasta 2016 la totalidad o casi la totalidad de los individuos se registra con copa viva 0%, reflejando una pérdida estacional generalizada del follaje aéreo. Entre 2017 y 2020 se observan registros esporádicos de individuos con coberturas intermedias (25–75%), asociados a episodios de reactivación puntual. No obstante, en los años posteriores vuelve a predominar la categoría 0%, consolidando un patrón recurrente de defoliación invernal, consistente con las condiciones climáticas más restrictivas de esta estación.

En octubre, se identifica una mayor heterogeneidad en las categorías de copa viva. Entre 2015 y 2021 se detecta una presencia más frecuente de coberturas intermedias (25–75%), lo que sugiere una reactivación parcial del follaje durante la primavera. Sin embargo, a partir de 2022 se retoma el predominio de individuos con copa viva nula, indicando que la especie no alcanza niveles elevados de cobertura estructural aérea de manera sostenida, incluso durante esta estación.

En conjunto, los resultados indican que *Tessaria absinthioides* presenta una alta proporción de individuos con baja o nula cobertura de copa viva, especialmente durante el invierno y en los años más recientes del monitoreo. Este patrón puede estar asociado a la combinación de factores ambientales restrictivos, eventos climáticos puntuales como el alud de 2019, y a las características propias de una especie leñosa y longeva, cuya estructura aérea puede permanecer en estado senescente durante períodos prolongados. No obstante, la presencia de coberturas intermedias en determinados años y estaciones indica que la especie conserva una capacidad de respuesta parcial frente a condiciones ambientales favorables.

Categoría de vitalidad (Figura 5.22)

La categoría de vitalidad de *Tessaria absinthioides* entre 2007 y 2025 muestra una evolución progresiva en la distribución de las clases de condición, con un aumento sostenido de individuos clasificados en la categoría seco a lo largo del período de monitoreo, especialmente en determinados trimestres del año.

Durante el trimestre de enero, entre 2007 y 2012 predominan los individuos clasificados en condición de crecimiento normal, sin presencia relevante de la categoría Excepcionalmente vigorosa. A partir de 2013, se observa un aumento gradual de individuos clasificados como secos, tendencia que se mantiene en los años más recientes. En paralelo, disminuye la representación de las categorías débil y muy débil, mientras que la condición de vitalidad normal persiste, aunque en proporciones intermedias.

En el trimestre de abril, la transición en las categorías de vitalidad es aún más evidente. Durante los primeros años del monitoreo predomina la condición normal, acompañada de un número menor de individuos debilitados; sin embargo, a partir de 2015 se incrementa sostenidamente la proporción de individuos clasificados como secos, llegando a representar una fracción dominante de la población monitoreada hacia el final del período analizado.

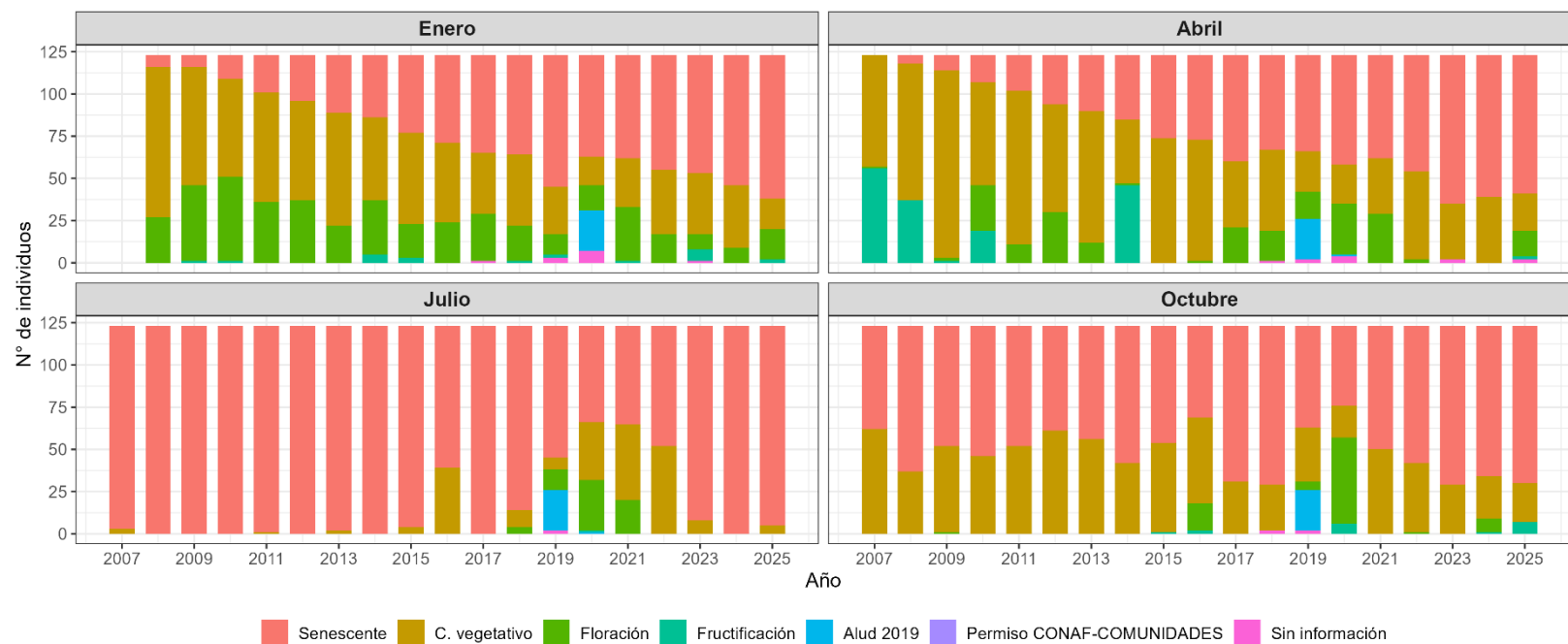
Este comportamiento es coherente con los patrones observados en la reducción de la copa viva durante este mismo trimestre.

Durante el invierno (julio), destaca la presencia mayoritaria (y en varios años prácticamente exclusiva) de individuos clasificados como secos a lo largo de todo el período de monitoreo. Esta condición se mantiene de manera estable entre 2007 y 2025, con excepciones puntuales entre 2018 y 2021, cuando se registran algunos individuos en condición débil, muy débil o incluso vigorosa. Este patrón refleja una respuesta fenológica marcada frente a las condiciones invernales del Salar de Atacama, más que un cambio abrupto en la condición estructural de la especie.

En el trimestre de octubre, la distribución de las categorías de vitalidad es similar a la observada en abril. En los primeros años predominan los individuos en condición normal; sin embargo, a partir de 2015 se registra un aumento progresivo de la categoría seca, que pasa a ser dominante en los años más recientes. La condición vigorosa se presenta solo de manera marginal y acotada, principalmente entre 2018 y 2020.

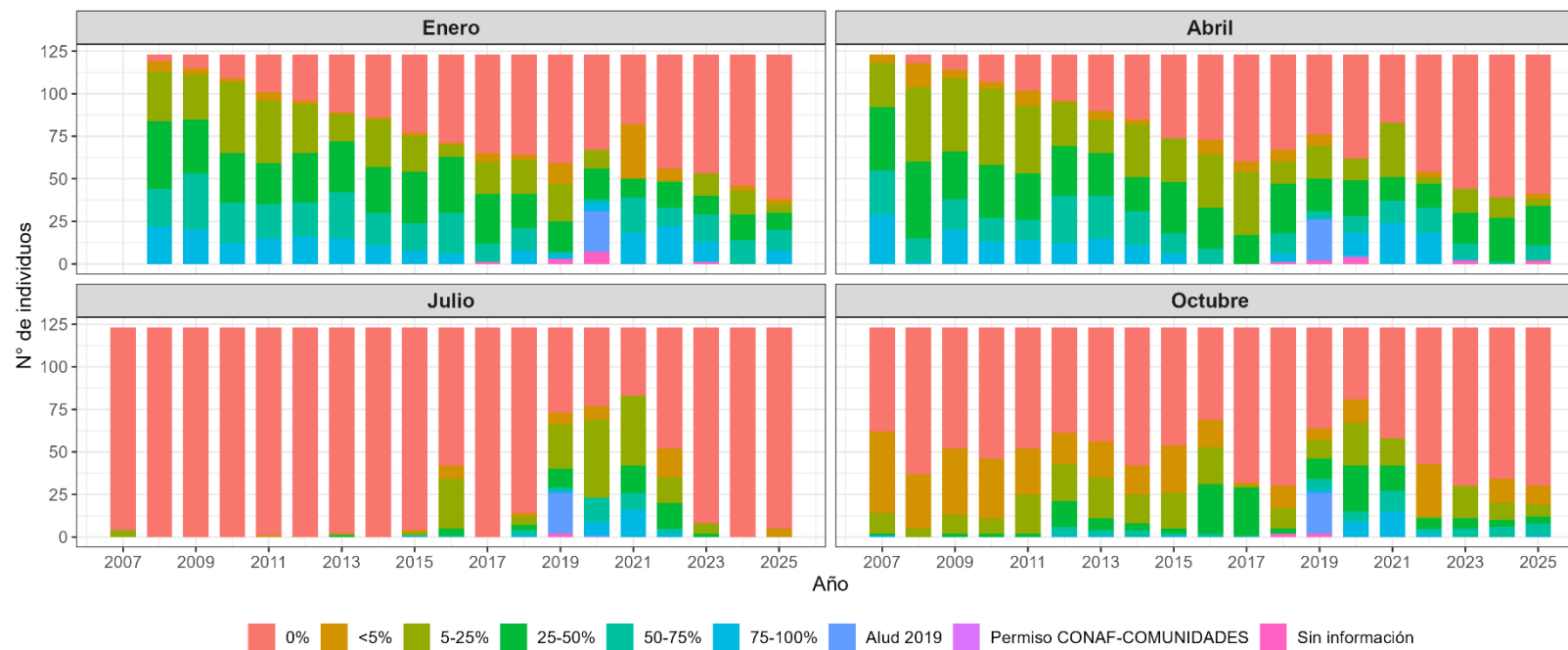
En conjunto, los resultados indican que *Tessaria absinthioides* presenta una respuesta de vitalidad fuertemente modulada por la estacionalidad, con una alta proporción de individuos clasificados como secos durante los meses más fríos (julio y octubre), y una expresión relativamente más favorable durante verano y otoño. Este patrón es consistente con la fenología de una especie leñosa y longeva, con capacidad de rebrote y con estructuras aéreas que pueden permanecer en estado seco durante períodos prolongados, sin que ello implique necesariamente pérdida funcional inmediata. La presencia de fluctuaciones puntuales en la vitalidad, junto con episodios de reactivación parcial en algunos años, sugiere una estrategia conservativa de persistencia, ajustada a un entorno altamente restrictivo y con marcada variabilidad ambiental interanual.

Figura 5.20. *Tessaria absinthioides*: Número de individuos por categoría de fenología, campañas 2007 a 2025



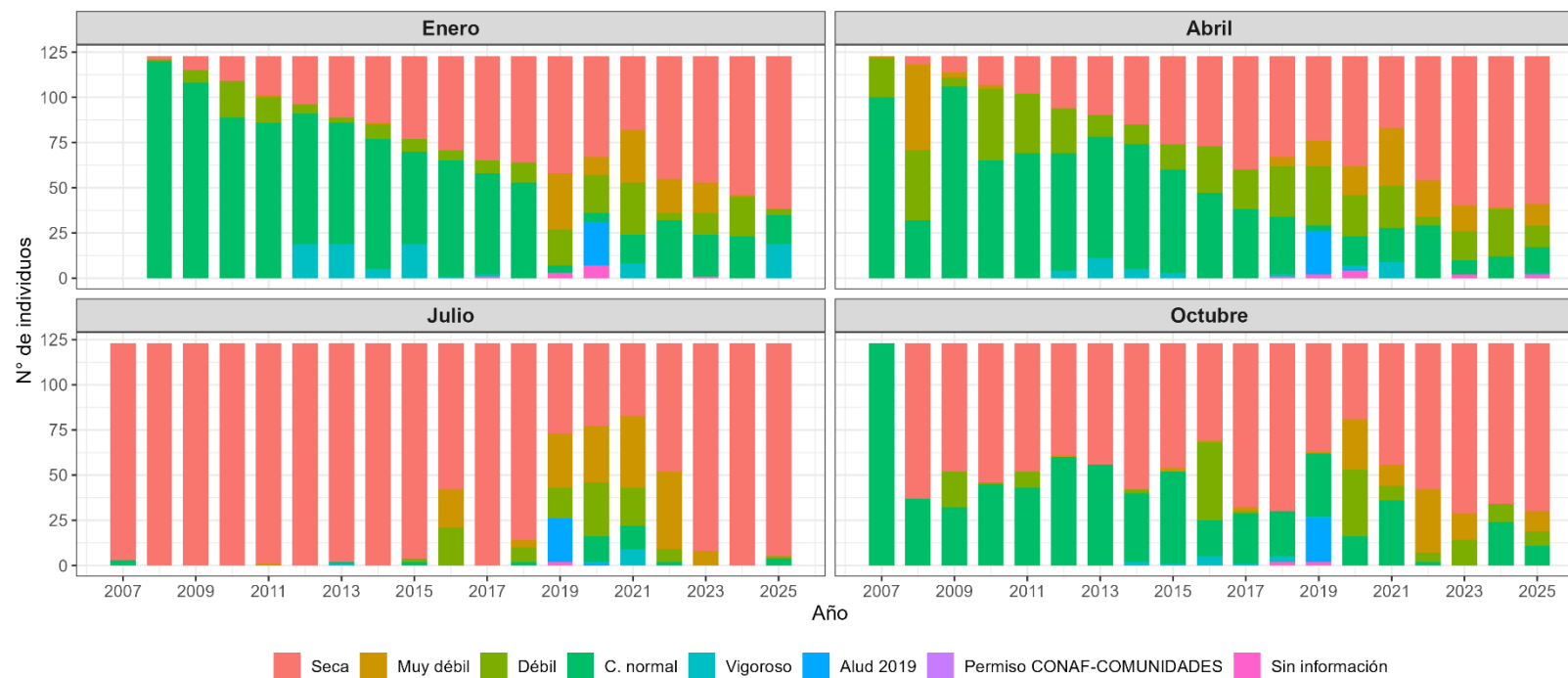
Fuente: elaboración propia

Figura 5.21. *Tessaria absinthioides*: Número de individuos por clase de copa viva, campañas 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

Figura 5.22. *Tessaria absinthioides*: Número de individuos por categoría de vitalidad, campañas 2007 a 2025



Fuente: elaboración propia

5.4 Relación de la vitalidad de la vegetación y el contenido de humedad

Con los datos actualizados hasta 2025, se evaluó la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS, g/g) en función de la categoría de vitalidad de la vegetación. Los resultados resumidos en la Tabla 5-17 muestran diferencias en los valores de CHS entre categorías, aunque acompañadas de una alta variabilidad interna. En términos generales, las categorías Seco y Crecimiento normal presentan medianas de CHS relativamente bajas (0,123 g/g y 0,093 g/g, respectivamente), mientras que las categorías Débil y Muy débil muestran medianas más altas. No obstante, estas diferencias presentan amplios rangos de variación y superposición entre categorías. En particular, si bien la categoría Muy débil presenta valores elevados de CHS, su interpretación debe realizarse con cautela dado su tamaño muestral menor ($n = 32$) en relación con otras categorías.

La Figura 5.23 refuerza esta heterogeneidad, evidenciando rangos intercuartílicos amplios y valores atípicos en todas las categorías de vitalidad. En conjunto, los resultados indican que el contenido de humedad del suelo no se traduce de manera directa ni consistente en cambios en la vitalidad de la vegetación, ya que valores similares de CHS pueden asociarse a estados de vitalidad distintos.

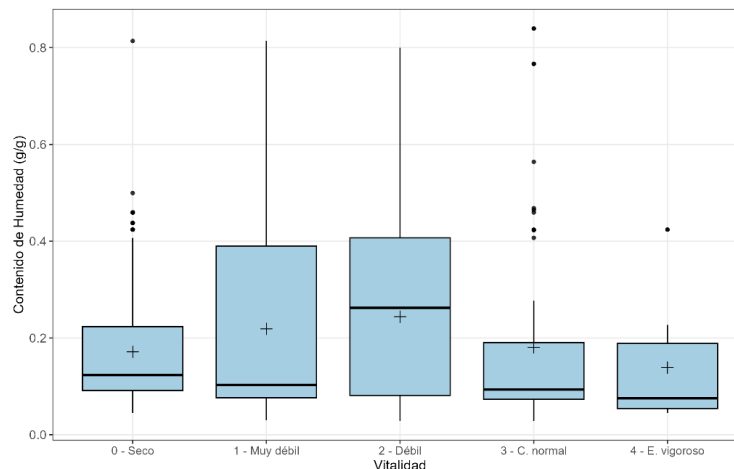
Tabla 5-17. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (g/g) por categoría de vitalidad para el 2025

Vitalidad	N	Media	DE	Min	Max	Mediana	Q1	Q3
0 - Seco	386	0,171	0,111	0,045	0,814	0,123	0,091	0,223
1 - Muy débil	32	0,219	0,213	0,03	0,814	0,103	0,076	0,39
2 - Débil	45	0,244	0,181	0,028	0,8	0,262	0,081	0,407
3 - Crecimiento normal	74	0,181	0,193	0,028	0,84	0,093	0,073	0,19
4 - Excepcionalmente vigoroso	22	0,139	0,114	0,045	0,424	0,075	0,054	0,189

Las unidades de la media, desviación estándar (D.E.), mediana, Q1 y Q3, corresponden a g/g (gramos de agua por gramos de suelo)

Fuente: elaboración propia

Figura 5.23. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad 2025



Las cajas representan el rango intercuartílico, la línea central la mediana, el signo “+” el promedio y los puntos fuera de las cajas corresponden a valores atípicos.

Al comparar estos resultados con el período 2007–2023 (Tabla 5.18), se observa que el patrón general se mantiene: las parcelas con menor contenido de humedad superficial tienden a concentrar una mayor proporción de individuos secos, mientras que valores más altos de CHS se asocian, en términos generales, a una mayor proporción de individuos en condición normal (Figura 5.24).

No obstante, la relación presenta variabilidad entre años y sitios, y la magnitud del efecto es moderada, lo que confirma que el CHS constituye solo uno de varios factores que influyen en el estado fisiológico de la vegetación, sin actuar como un determinante único.

Esta variabilidad puede responder a múltiples factores ecológicos locales, tales como las propiedades del suelo (textura, salinidad y presencia de costras), la microtopografía, el microclima, así como la dinámica propia de los individuos fijos monitoreados desde 2007. Muchos de estos individuos presentan senescencia natural asociada a su edad, por lo que su respuesta a pulsos temporales de humedad puede ser limitada.

Las observaciones de campo realizadas durante la campaña 2025 (Anexo 1) respaldan esta interpretación, registrándose individuos persistentes en categorías de vitalidad baja incluso en sectores con variaciones locales de CHS, junto con otros individuos no incluidos en el monitoreo histórico que exhiben condiciones de vitalidad alta (crecimiento normal y/o vigoroso). Estos antecedentes refuerzan la necesidad de interpretar la relación entre CHS y vitalidad en un marco integrado, considerando tanto los factores hidrológicos como las características ecológicas y poblacionales de las especies monitoreadas.

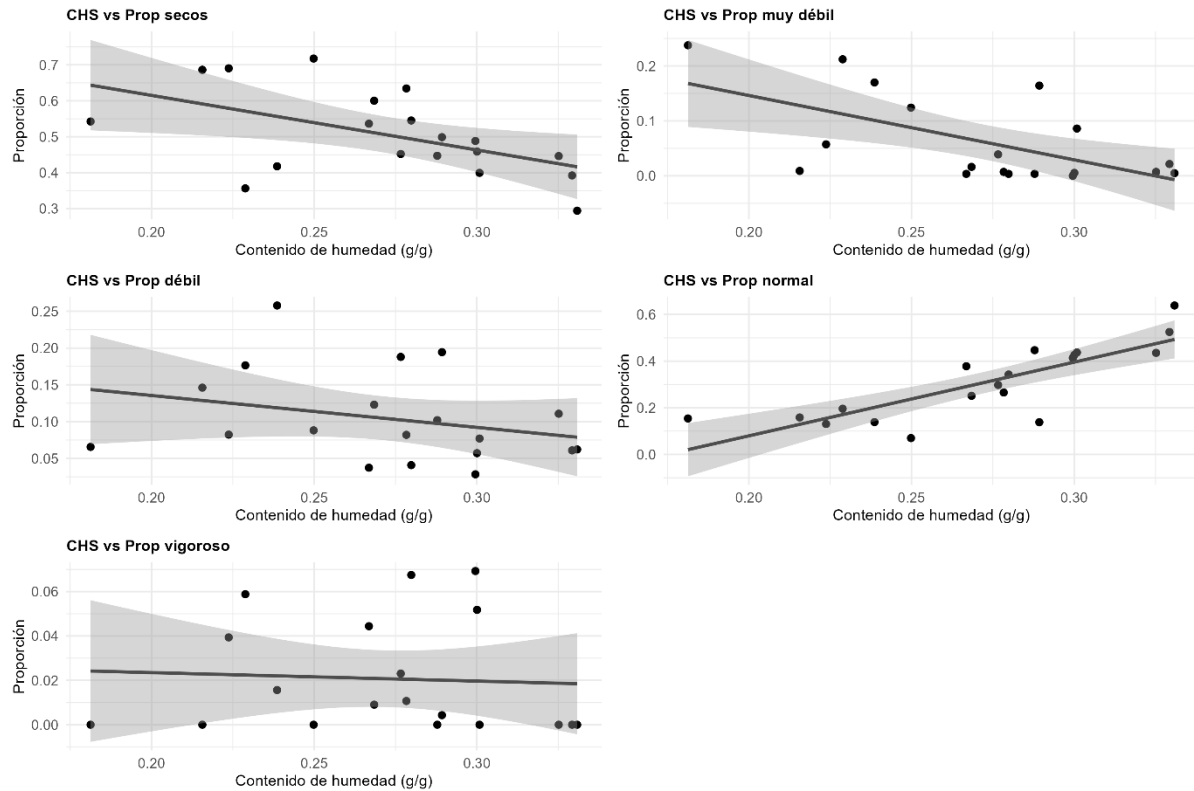
Tabla 5-18. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (g/g) por categoría de vitalidad para el periodo 2007-2023.

Vitalidad	N	Media	D.E.	Min	Max	Mediana	Q1	Q3
0 - Seco	4566	0,23	0,17	0,00	1,00	0,16	0,11	0,32
1 - Muy débil	563	0,20	0,15	0,00	1,00	0,14	0,09	0,28
2 - Débil	939	0,26	0,20	0,01	1,00	0,18	0,10	0,43
3 - Crecimiento normal	3041	0,27	0,21	0,01	1,08	0,17	0,11	0,38
4 - Excepcionalmente vigoroso	199	0,28	0,22	0,03	0,92	0,17	0,08	0,47

Las unidades de la media, desviación estándar (D.E.), mediana, Q1 y Q3, corresponden a g/g (gramos de agua por gramos de suelo)

Fuente Geobiota, Informe CHS 2023.

Figura 5.24. Relación entre el contenido de humedad del suelo (CHS) y la proporción de individuos por categoría de vigor (periodo 2007-2025)



Se muestran los modelos lineales ajustados entre el contenido de humedad del suelo (CHS, expresado en g/g) y la proporción anual de individuos en cinco categorías de vigor (seco, muy débil, débil, normal y vigoroso). Cada punto representa un promedio anual por sitio, y las bandas grises corresponden a intervalos de confianza del 95 %. Fuente: elaboración propia

La Figura 5.26 muestra que, a escala anual y por sitio, tiende a observarse una mayor proporción de individuos clasificados como secos en sectores donde la napa freática es más profunda, y, en sentido inverso, una mayor proporción de individuos en crecimiento normal cuando la napa se encuentra relativamente más somera.

No obstante, la dispersión de los datos y la amplitud de los intervalos de confianza indican que esta relación es variable y no se mantiene de forma consistente entre categorías de vitalidad ni entre campañas (ver Anexo 5). En concordancia, la Tabla 5.19 muestra una amplia superposición en las distribuciones de profundidad de la napa entre categorías, lo que indica que la profundidad del nivel freático, por sí sola, presenta una capacidad limitada para explicar el estado vital de la vegetación.

Este comportamiento es coherente con las características ecológicas de las especies monitoreadas, en su mayoría halófitas, cuya respuesta fisiológica se encuentra fuertemente vinculada a la humedad superficial del suelo y a pulsos de recarga en los primeros centímetros, más que a variaciones del nivel freático profundo. A ello se suma la heterogeneidad edáfica, incluyendo diferencias en textura, salinidad y microtopografía, que condicionan la infiltración, retención y evaporación del agua.

Asimismo, la estructura etaria de las poblaciones, compuesta por individuos longevos monitoreados de manera continua desde 2007, contribuye a atenuar y desacoplar la respuesta de la vitalidad vegetal frente a cambios

relativamente rápidos en la profundidad de la napa o en el CHS. Muchos de estos individuos presentan estados de senescencia natural y responden débilmente a pulsos hídricos de corta duración (ver Anexo 1).

Este conjunto de procesos permite explicar por qué las categorías Muy débil, Débil y Excepcionalmente vigorosas presentan relaciones tenues o no sistemáticas con la profundidad de la napa, y por qué el patrón observado en las categorías Seco y Crecimiento normal, si bien es detectable a escala agregada, no resulta determinante. En síntesis, la vitalidad de la vegetación responde a la interacción de múltiples factores (profundidad de la napa, contenido de humedad superficial, propiedades del suelo, microtopografía, microclima y dinámica poblacional) más que a un único controlador ambiental.

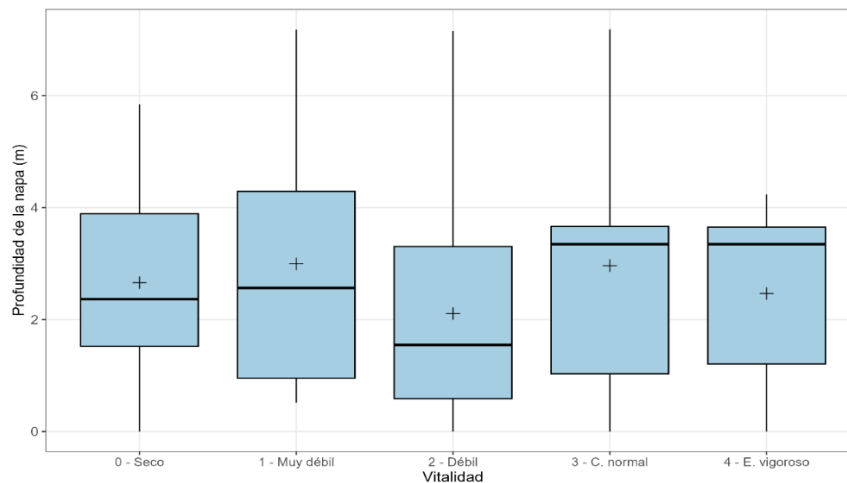
Tabla 5-19. Resumen de la variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad de 2025

Vitalidad	N	Media	DE	Min	Max	Mediana	Q1	Q3
0 - Seco	386	2,66	1,519	0,000	5,846	2,364	1,522	3,891
1 - Muy débil	32	2,994	2,092	0,514	7,179	2,566	0,953	4,29
2 - Débil	45	2,106	1,992	0,000	7,157	1,547	0,588	3,304
3 - Crecimiento normal	74	2,963	2,106	0,000	7,184	3,346	1,031	3,665
4 - Excepcionalmente vigoroso	22	2,465	1,468	0,000	4,235	3,346	1,208	3,651

Las unidades de la media, desviación estándar (D.E.), mediana, Q1 y Q3

Fuente: elaboración propia

Figura 55.25. Variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad 2025



Las cajas representan el rango intercuartílico, la línea central la mediana, el signo “+” el promedio y los puntos fuera de las cajas corresponden a valores atípicos.

Fuente: elaboración propia

La Figura 5.26 muestra la relación entre la profundidad de la napa freática (en metros) y la proporción de individuos clasificados en cada una de las cinco categorías de estado vital evaluadas para el período 2007–2025.

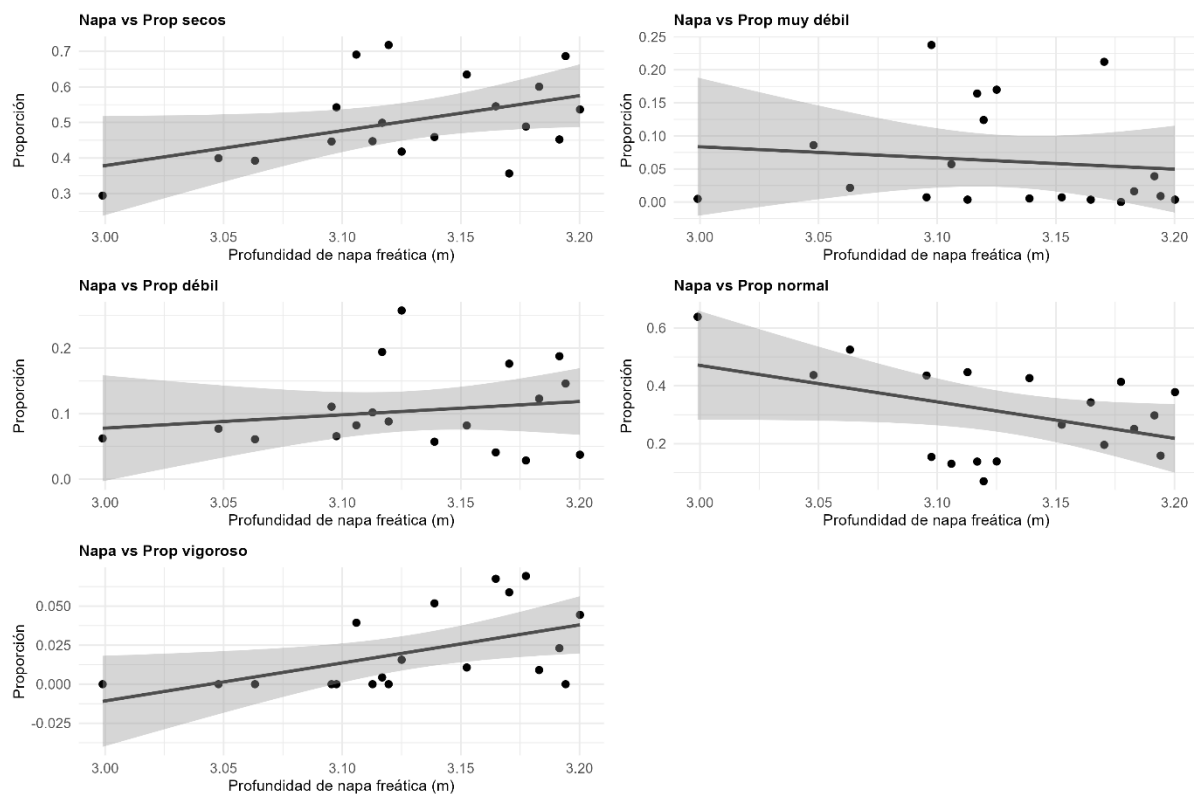
A escala anual y por sitio, se observa una tendencia general a un aumento en la proporción de individuos secos a medida que la napa freática se hace más profunda, lo que coincide con escenarios de menor disponibilidad hídrica subterránea. De manera complementaria, se identifica una disminución en la proporción de individuos con crecimiento normal conforme aumenta la profundidad de la napa, sugiriendo que condiciones hídricas menos favorables tienden a asociarse con un menor vigor promedio de la vegetación.

En contraste, para las categorías Muy débil, Débil y Vigorosa, las relaciones con la profundidad de la napa resultan más débiles y variables, sin un patrón consistente entre años y sitios. No obstante, en el caso de la categoría Vigorosa, se aprecia una leve tendencia a mayores proporciones cuando la napa se encuentra más somera, lo que indicaría que, bajo condiciones de mayor accesibilidad al recurso hídrico, algunos individuos logran mantener un mejor estado fisiológico.

Estas relaciones deben interpretarse con cautela, ya que la dispersión de los datos y la amplitud de los intervalos de confianza indican que la profundidad de la napa no actúa como un factor determinante por sí sola sobre la vitalidad de la vegetación. Tal como se ha mostrado en los análisis anteriores, múltiples variables adicionales influyen en el estado vital de las plantas, incluyendo la especie, la edad de los individuos, la competencia local, las propiedades del suelo y las condiciones microambientales.

En conjunto, los resultados refuerzan que la vitalidad de la vegetación responde a la interacción de factores hidrológicos y ecológicos, donde la profundidad de la napa constituye un componente relevante del contexto ambiental, pero cuya influencia se encuentra mediada por otros procesos que operan a escalas tanto locales como temporales.

Figura 5.26. Relación entre la profundidad de la napa freática y la proporción de individuos por categoría de vigor (periodo 2007–2025)



Se muestran los modelos lineales ajustados entre la profundidad de la napa freática (en metros) y la proporción anual de individuos en cinco categorías de vigor (seco, muy débil, débil, normal y vigoroso). Cada punto representa un promedio anual por sitio, y las bandas grises corresponden a intervalos de confianza del 95 %.

Fuente: elaboración propia

5.4.1 Análisis satelital y dinámica espacial de la vegetación

Con base en los resultados del monitoreo satelital de alta resolución y del análisis multitemporal de unidades vegetacionales realizados durante el período 2006–2025 (Geobiota, PSAB N°19, 2025), se observa que la vegetación presente en el Borde Este del Salar de Atacama mantiene un comportamiento general estable, coherente con los rangos históricos de variabilidad definidos para los sistemas vegetacionales monitoreados. La superficie total con cobertura vegetal, así como la distribución espacial de las principales formaciones, no evidencia cambios relevantes respecto de campañas anteriores, registrándose variaciones interanuales de baja magnitud y dentro de los márgenes esperables para ecosistemas sometidos a condiciones de aridez extrema.

Durante la campaña 2025, aun cuando se registraron fluctuaciones puntuales en las categorías de vitalidad (particularmente un leve aumento relativo de unidades clasificadas como *muy débil*) y variaciones estacionales en el porcentaje de copa viva y en la expresión fenológica, estos cambios se inscriben dentro del patrón histórico de respuesta de la vegetación frente a la disponibilidad hídrica natural y a las condiciones climáticas intra-anales. En términos generales, las categorías de crecimiento normal mantienen una participación relevante, y los rangos de copa viva y fenología observados son comparables a los registrados en monitoreos previos.

A escala espacial, las formaciones vegetacionales dominantes, como el matorral de *Tessaria absinthioides* y la pradera de *Distichlis spicata*, mantienen una estabilidad relativa tanto en superficie como en distribución, sin evidenciar desplazamientos, fragmentación significativa ni pérdidas progresivas de cobertura. Las variaciones más marcadas se concentran en sectores específicos del área de estudio (principalmente asociados a unidades de menor cobertura o mayor sensibilidad ecohidrológica) donde históricamente se han registrado mayores profundidades de la napa freática y, en algunos casos, menores valores de contenido de humedad del suelo. No obstante, dichas variaciones no se traducen en una señal de deterioro a escala de paisaje ni en cambios sistemáticos en las comunidades dominantes.

En este contexto, los antecedentes del PSAB N°19 son consistentes con una dinámica espacial y temporal de la vegetación principalmente controlada por factores ambientales naturales, acorde a la variabilidad hidroclimática propia del sistema. No se identifican indicios que permitan atribuir los patrones observados a efectos asociados a la operación minera. Sin perjuicio de lo anterior, se considera pertinente mantener un seguimiento focalizado en aquellas unidades donde se han identificado variaciones incipientes en los indicadores de vitalidad, con el fin de evaluar su evolución temporal y fortalecer la interpretación integrada con los resultados del monitoreo de contenido de humedad del suelo.

Los patrones observados en el contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS), la profundidad de la napa freática y el estado vital de la vegetación resultan consistentes con lo reportado en años anteriores, consolidando una tendencia espacial y temporal estable que no evidencia impactos significativos atribuibles a la operación minera.

Los datos recopilados muestran que el CHS presenta sus valores más altos en las parcelas occidentales, particularmente en 1027 y L7-7, disminuyendo progresivamente hacia el este. Este patrón se asocia con una napa freática más somera en los sectores occidentales, lo que favorece la capilaridad del agua en el perfil edáfico. La relación inversa entre CHS y profundidad de la napa fue respaldada estadísticamente por modelos exponenciales con coeficientes de determinación superiores a 0,5 en la mayoría de las campañas, tanto en los datos del laboratorio acreditado (ETFA: ALS) como del interno (Laboratorio Metalúrgico Novandino Lito).

Esta coherencia sugiere que la disponibilidad hídrica del suelo está de cierta manera influenciada por la cercanía del nivel freático. No obstante, se observa una mayor variabilidad interanual en las parcelas con napa más superficial, lo que podría estar relacionado con una mayor sensibilidad a la dinámica hidroclimática. Parcelas como L4-3, en cambio, mantienen un CHS bajo y estable, lo que refuerza su carácter de zona árida y potencialmente más vulnerable a variaciones en la recarga hídrica.

El análisis de las cuatro especies monitoreadas en el marco del CHS 2025 evidencia respuestas diferenciadas frente a las condiciones ambientales del Salar de Atacama, moduladas por una interacción compleja de factores bióticos y abióticos. Entre los factores abióticos, destaca la profundidad de la napa freática, cuya oscilación ha sido documentada como un modulador clave de la vegetación en ecosistemas hipersalinos y áridos (SQM Salar y Prammar Ambiental, 2005).

El modelo estadístico aplicado (MANOVA), complementado con modelos lineales generalizados (GLM), evidenció la existencia de asociaciones estadísticamente significativas entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) y la distribución de las categorías de vitalidad vegetal, particularmente en las categorías Seco y Crecimiento normal (Anexo 5). Este resultado es coherente desde un punto de vista ecológico, ya que una mayor disponibilidad hídrica superficial favorece el metabolismo vegetal, la actividad foliar y, en ciertas especies, la expresión reproductiva.

En contraste, la relación entre la profundidad de la napa freática y la vitalidad vegetal resultó significativa solo en algunos casos y con baja consistencia entre categorías, lo que indica que la profundidad de la napa, analizada de forma aislada, presenta una capacidad explicativa limitada. Esto sugiere que su influencia sobre la vegetación se encuentra mediada por otros factores, tales como la textura y salinidad del suelo, la accesibilidad radicular al agua y las estrategias funcionales de cada especie. De hecho, se reporta, que por lo menos para la formación de Matorral de Brea-Cachiyuyo (*Tessaria absinthioides*-*Atriplex atacamensis*) localizados en el límite oriental del sistema vegetacional denominado Borde Este del Salar de Atacama, no dependen para su subsistencia de la napa freática (SQM Salar y Prammar Ambiental, 2005).

Los datos de monitoreo muestran que individuos categorizados como secos (categoría 0) coexisten con ejemplares vigorosos o en rebrote dentro de una misma parcela (ver Anexo 1). Esta heterogeneidad sugiere que la vitalidad no refleja exclusivamente las condiciones ambientales actuales, sino que puede estar influenciada por factores como la fenología de las especies, la regeneración vegetativa y el envejecimiento natural de los individuos.

En el caso de *T. absinthioides*, especie dominante en el área, se ha descrito un sistema radical profundo con raíces gemíferas horizontales que permiten el rebrote clonal (Irazusta *et al.*, 2009). Además, se ha clasificado como una especie semihalófila, con adaptaciones morfológicas como succulencia radicular, tricomas foliares densos y reducción del tamaño foliar bajo condiciones salinas, especialmente en presencia de NaCl o Na₂SO₄ (Degano, 1999). Estas características confieren a la especie una alta tolerancia a suelos salinos y permiten la coexistencia de tallos secos y nuevos brotes dentro de un mismo individuo.

En contraste, otras especies monitoreadas como *D. spicata* y *N. atacamensis* muestran una mayor dependencia de la humedad edáfica superficial, así como una sensibilidad marcada a la salinización del suelo y al aumento de la aridez. En el caso de *D. spicata*, si bien presenta adaptaciones morfofisiológicas que toleran salinidad moderada, pero no condiciones de aridez severa simultánea, su vigor disminuye significativamente cuando dicha salinidad se combina con bajos niveles de humedad en el suelo, particularmente en zonas de transición entre vegas y salares (Asuesco, 2020)

Por su parte, *N. atacamensis* requiere niveles relativamente estables de humedad en la capa subsuperficial del suelo para mantener su funcionalidad fisiológica y su presencia está estrechamente ligada a condiciones edáficas específicas. Diversos estudios han documentado su alta sensibilidad a fluctuaciones en el CHS y a procesos de salinización edáfica (Asuesco, 2020).

En este contexto, el contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) surge como un indicador sensible y directamente relacionado con la vitalidad vegetal. Estudios como los de Zhang y Shao (2008) y Hao *et al.* (2025) han demostrado que la humedad superficial del suelo regula procesos fisiológicos esenciales como la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y el crecimiento. Esto concuerda con los análisis realizados en el Borde Este del Salar de Atacama, donde las zonas con mayor CHS presentaron mayores proporciones de individuos vigorosos y en floración.

Adicionalmente, la variabilidad interanual de las precipitaciones constituye un factor modulador clave (ver Anexo 3), ya que episodios esporádicos de lluvias pueden generar pulsos de humedad aprovechables por especies con raíces más superficiales, independientemente de la profundidad de la napa.

No puede descartarse tampoco que parte de la categoría seco responda a procesos de decaimiento fisiológico natural tras más de 15 años de seguimiento, lo cual es particularmente relevante en diseños de parcelas permanentes que no capturan adecuadamente la dinámica de reclutamiento. Esto es especialmente pertinente en *T. absinthioides*, cuya longevidad y capacidad de rebrote vegetativo permiten una estabilidad estructural no necesariamente asociada a la vitalidad aérea inmediata.

El estado vital de la vegetación reflejó una alta proporción de individuos en condición senescente durante los meses de invierno, especialmente en especies dominantes como *T. absinthioides*, lo que es coherente con patrones fenológicos estacionales. Sin embargo, esta condición se mantuvo parcialmente en otras estaciones, lo que podría estar influenciado por el monitoreo sobre individuos fijos de rango etario avanzado.

En contraste, especies como *A. atacamensis* y *D. spicata* mostraron una mayor actividad fotosintética a lo largo del año, con presencia de estados vegetativos activos y recuperación en primavera. Estas diferencias interespecíficas reflejan estrategias adaptativas distintas frente a la disponibilidad hídrica, y subrayan la necesidad de un enfoque taxonómicamente diferenciado en el análisis de la vegetación.

Además, el análisis satelital de cobertura vegetal del borde este del Salar (Geobiota, PSAB 18, 2025) muestra patrones estables en el largo plazo, con fluctuaciones locales asociadas a condiciones hidrológicas específicas. En sectores del noreste se ha evidenciado incluso un leve aumento de cobertura, mientras que en algunas zonas del sur se registran descensos puntuales. Estos resultados refuerzan la idea de que la respuesta de la vegetación está modulada por diversos factores como la dinámica de la napa freática, el CHS, la regeneración clonal o sexual y las características biológicas de cada especie.

En un contexto más amplio, los resultados de 2025 se alinean con la tendencia general observada desde el año 2007. La estabilidad relativa del CHS y del estado de la vegetación en parcelas históricamente monitoreadas refuerza la idea de que no se han producido cambios acumulativos significativos atribuibles a las extracciones del proyecto.

Finalmente, es importante destacar que todos los resultados presentados en este informe se enmarcan en una metodología de seguimiento basada en el marcaje de individuos fijos desde el año 2007, conforme a lo establecido

en la RCA N°226/2006. Esta estrategia ha permitido construir una base robusta de seguimiento y detectar tendencias multitemporales, pero también implica ciertas limitaciones inherentes al diseño. Tras más de 15 años de monitoreo, es esperable que algunos individuos hayan completado su ciclo fenológico, presentando estados de senescencia o decaimiento fisiológico natural. Las observaciones de campo realizadas durante 2025 (ver Anexo 1) evidencian que, en varias parcelas, existen individuos no marcados que muestran categorías de vitalidad superiores a los ejemplares monitoreados, bajo condiciones locales similares tanto de CHS como de profundidad de la napa. Esto sugiere que el sistema vegetal mantiene procesos activos de regeneración y adaptación. Por tanto, los resultados deben interpretarse como representativos de una cohorte históricamente etiquetada, y no necesariamente del conjunto completo de la vegetación presente en las parcelas. En este contexto, los hallazgos son coherentes con el enfoque metodológico aplicado y se mantienen dentro de los rangos históricos.

6 Conclusiones

El monitoreo ambiental realizado durante el año 2025, en el marco del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico de Vegetación y Flora del Borde Este del Salar de Atacama, confirma la persistencia de los patrones espaciales y temporales históricos observados desde el inicio del seguimiento en 2007, tanto para el contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS) como para la profundidad de la napa freática y el estado vital de la vegetación.

El contenido de humedad gravimétrico del suelo mantiene un gradiente espacial consistente, con valores más elevados en las parcelas ubicadas en el sector occidental del área de estudio y valores persistentemente bajos en los sectores orientales. Este patrón se mantiene dentro de los rangos históricos y se asocia a variaciones naturales en la profundidad de la napa, la geomorfología local y las características edáficas del sistema.

La profundidad de la napa freática presenta fluctuaciones interanuales entre pozos, sin superar los rangos históricos observados. Si bien algunas parcelas muestran tendencias de profundización respecto al año base, estas variaciones no constituyen desviaciones abruptas ni generalizadas a escala del sistema, y reflejan la dinámica hidrogeológica propia del entorno.

El estado vital de la vegetación se caracteriza por una alta proporción de individuos clasificados en categorías de vitalidad baja, especialmente durante los trimestres de otoño e invierno. Este patrón se interpreta en el contexto de la marcada estacionalidad del sistema y del diseño de seguimiento basado en individuos fijos monitoreados de manera continua por más de 16 años, lo que implica la presencia de ejemplares longevos y en fases avanzadas de senescencia natural.

La especie *Tessaria absinthioides*, dominante en número de individuos monitoreados, presenta una estrategia funcional conservativa y una alta frecuencia de estados senescentes o con baja cobertura foliar, lo cual influye de manera significativa en los indicadores agregados de vitalidad. En contraste, *Atriplex atacamensis*, *Distichlis spicata* y *Nitrophila atacamensis* exhiben respuestas diferenciadas, con episodios recurrentes de actividad vegetativa y recuperación estacional, coherentes con sus estrategias adaptativas y requerimientos ecológicos.

El análisis estadístico multivariado muestra que el contenido de humedad del suelo se asocia de manera consistente con la distribución de las categorías de vitalidad vegetal, particularmente en las categorías de crecimiento normal

y seco. En cambio, la profundidad de la napa freática presenta una relación menos consistente con el estado vital, lo que refuerza que la respuesta de la vegetación resulta de la interacción de múltiples factores y no de un único controlador ambiental.

En conjunto, los resultados del monitoreo 2025 son coherentes con la dinámica ambiental natural del sistema, y no evidencian cambios acumulativos ni impactos significativos atribuibles a la operación minera. Las variaciones observadas se explican principalmente por la estacionalidad climática, la heterogeneidad edáfica y la dinámica poblacional de las especies monitoreadas.

Finalmente, si bien el diseño de monitoreo basado en individuos fijos ha permitido construir una base histórica robusta y detectar tendencias de largo plazo, este enfoque presenta limitaciones para capturar procesos dinámicos de reclutamiento, regeneración y recambio poblacional. En este contexto, a partir del año 2026 se contempla complementar el seguimiento actual mediante la incorporación del monitoreo de parcelas de vegetación, lo que permitirá integrar la evaluación de individuos marcados con una caracterización más representativa de la estructura y condición general de la comunidad vegetal. Esta mejora metodológica fortalecerá la representatividad ecológica del monitoreo y aumentará su sensibilidad para detectar cambios incipientes en el sistema vegetal, manteniendo la comparabilidad con la serie histórica existente.

7 Bibliografía

Ausenco (2020). *Estudio Historia de Vida de Especies Vegetales Azonales del Salar de Atacama. Informe Consolidado Primer Semestre 2020*. Informe técnico para Albemarle Ltda.

Degano, C. A. (1999). Respuestas morfológicas y anatómicas de *Tessaria absinthioides* (Hook. et Arn.) DC. a la salinidad. *Brazilian Journal of Botany*, 22, 357-363.

Geobiota Consultores (2023). *Informe anual: Contenido de humedad del suelo 2023 (CHS Datos 2023)*. SQM Salar SpA

Irazusta, M. I., Isola, M. D. M., & Martin Montiel, D. (2009). Anatomía de Raíz de *Tessaria absinthioides* (Hook. & Arn.) DC. y *T. dodoneifolia* ssp. *dodoneifolia* (Hook. & Arn.) Cabrera.

Hao, Y., Mao, J., Bachmann, C. M., Hoffman, F. M., Koren, G., Chen, H., ... & Dai, Y. (2025). Soil moisture controls over carbon sequestration and greenhouse gas emissions: a review. *npj climate and atmospheric science*, 8(1), 16.

Salar, SQM., y Ambiental, P. (2005). Cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama: adenda II, Anexo IV, Estudio de profundidad de raíces en *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*, en sector oriental del borde este del Salar de Atacama.

SQM (2023). Anexo 5. Niveles formato Res.894 (Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico -PSAHN°33), 2023.

SQM (2023). Anexo 5. Niveles formato Res.894 (Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico -PSAHN°34), 2023.

SQM (2025). Informe de Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico – PSAN N° 38)

RCA N°226 (2006). *Resolución de calificación ambiental del proyecto cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama (SQM Salar S.A.)*. Comisión regional de medio ambiente, Región de Antofagasta. 19 de octubre 2006. Pp: 29-47.

Zhang, P., & Shao, M. A. (2015). Spatio-temporal variability of surface soil water content and its influencing factors in a desert area, China. *Hydrological Sciences Journal*, 60(1), 96-110.