

Informe anual: Contenido de humedad del Suelo 2022

PSAB Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama Región de Antofagasta

Informe anual: Contenido de humedad del Suelo 2022
SQMSL667_2 CHS Datos 2022. PSAB Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama

Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
B	Nombre	YG-FS-RC	XN		Informe Anual CHS Rev. (B)
	Fecha	16.02.2023	17.02.2023		
C	Nombre	YG-FS-RC	CI	IZ	Informe Anual CHS Rev. (C)
	Fecha	13.03.2023	30.03.2023	06.04.2023	
O	Nombre	XN	XN	IZ	Informe Anual CHS Rev. (O)
	Fecha	13.04.2023	13.04.2023	13.04.2023	

Contenido

1	Resumen	1
2	Introducción	4
3	Objetivo	6
4	Materiales y métodos	7
4.1	Descripción del área de estudio	7
4.2	Ubicación de los puntos de muestreo	7
4.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	9
4.4	Metodología.....	10
4.4.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	10
4.4.2	Profundidad de la napa subterránea	13
4.4.3	Vitalidad de la vegetación	15
4.4.4	Relación entre las variables monitoreadas	17
4.5	Materiales.....	17
4.5.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo, profundidad de la napa subterránea y vitalidad de la vegetación.....	17
4.6	Fechas de muestreo, medición análisis y/o control de cada parámetro.....	18
4.6.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	18
4.6.2	Profundidad de la napa subterránea	18
4.6.3	Estado vital de la vegetación	19
4.7	Incertidumbres asociadas a los métodos utilizados.....	21
4.7.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	21
4.7.2	Profundidad de la napa subterránea	22
4.7.3	Estado vital de la vegetación	23
5	Resultados	24
5.1	Contenido de humedad del suelo.....	24
5.1.1	Laboratorio Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA.....	24
5.1.2	Laboratorio Metalúrgico SQM Salar	26
5.1.3	Relación de los valores reportados entre los laboratorios.....	28

5.2	Profundidad de la napa	29
5.3	Relación Contenido de humedad y napa freática.....	31
5.3.1	Laboratorio Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA.....	31
5.3.2	Laboratorio Metalúrgico SQM Salar	32
5.4	Estado vital de la vegetación.....	33
5.4.1	Fenología	34
5.4.2	Porcentaje de copa viva.....	40
5.4.3	Vitalidad	45
6	Discusión.....	52
6.1	Variación de la profundidad de la napa en el tiempo.....	67
6.2	Variación interanual de la vegetación	76
6.2.1	Antecedentes relevantes en la adquisición de datos en terreno.....	76
6.2.2	Análisis general de la vitalidad	76
6.2.3	Análisis por especie.....	77
6.3	Relación de la vitalidad de la vegetación y el contenido de humedad	90
6.4	Relación de la vitalidad de la vegetación y la profundidad de la napa.....	96
6.4.1	Relación de la profundidad de la napa con la actividad vegetal medida como NDVI 102	
7	Conclusiones.....	104
8	Referencias	106

Tablas

Tabla 2-1.	Variables y frecuencia de medición del monitoreo de contenido de humedad del suelo en el sector Borde Este. PSA del Salar de Atacama (RCA N° 226/2006).	4
Tabla 4-1.	Coordenadas de los vértices del área de estudio, Borde Este del Salar de Atacama (UTM Datum WGS84 Huso 19S).	7
Tabla 4-2.	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).	8
Tabla 4-3.	Profundidad del estrato con presencia de raíces.....	10
Tabla 4-4.	Fases fenológicas evaluadas	15
Tabla 4-5.	Categorías del porcentaje de copa viva	15

Tabla 4-6. Categorías de vitalidad.....	16
Tabla 4-7. Materiales utilizados para medir contenido de humedad de suelo, profundidad de la napa subterránea y vitalidad de la vegetación.	17
Tabla 4-8. Fechas de muestreo	20
Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA (ETFA) en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2022.....	24
Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2022.	26
Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2022.	29
Tabla 5-4. Principales especies monitoreadas	33
Tabla 5-5. Resumen de individuos por categoría de fenología	34
Tabla 5-6. Número y proporción de individuos por clase de copa viva	40
Tabla 5-7. Resumen de individuos por categoría de vitalidad	46
Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de enero, período 2007 - 2022	54
Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de abril, período 2007 - 2022	55
Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de julio, período 2007 - 2022.....	56
Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de octubre, período 2007 - 2022	57
Tabla 6-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Promedio anual, período 2007-2022	58
Tabla 6-6. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017) y Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022). Enero.....	59
Tabla 6-7. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017) y Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022). Abril	59
Tabla 6-8. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017) y Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022). Julio	60
Tabla 6-9. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017) y Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022). Octubre.....	60
Tabla 6-10. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA SGS (2016-2017) y Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022). Promedio anual, período 2016 - 2022.	61

Tabla 6-11. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de enero durante el período 2007 a 2022.....	69
Tabla 6-12. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de abril durante el periodo 2007 a 2022.....	70
Tabla 6-13. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2022.....	71
Tabla 6-14. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de octubre durante el período 2007 a 2022.....	72
Tabla 6-15. Profundidad promedio anual (m) por pozo de monitoreo durante el período 2007 a 2022.....	73
Tabla 6-16. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (g/g) por categoría de vitalidad para el período 2007-2022.....	90
Tabla 6-17. Resumen de la variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad.....	97

Figuras

Figura 4-1. Ubicación de los pozos de muestreo	9
Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo.....	12
Figura 4-3. Esquema del proceso de medición en un pozo	14
Figura 4-4. Medición del estado vital de la vegetación (a=individuo rotulado; b=medición altura)....	16
Figura 5-1. Variación promedio anual del contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Algoritmos SpA, para el año 2022.....	26
Figura 5-2. Variación promedio anual del contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar, para el año 2022.....	28
Figura 5-3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrico obtenido por el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar y Laboratorio Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA para el año 2022.....	29
Figura 5-4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2022.....	31
Figura 5-5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2022.....	32
Figura 5-6. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2022.....	33
Figura 5-7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas 2022.....	35

Figura 5-8. Fenología de los individuos de <i>Atriplex atacamensis</i> monitoreados en las campañas 2022	36
Figura 5-9. Fenología de los individuos de <i>Distichlis spicata</i> monitoreados en las campañas 2022. 37	
Figura 5-10. Fenología de los individuos de <i>Nitrophila atacamensis</i> monitoreados en las campañas 2022	38
Figura 5-11. Fenología de los individuos de <i>Tessaria absinthioides</i> monitoreados en las campañas de 2022	39
Figura 5-12. Porcentaje de copa viva de los individuos monitoreados en 2022	41
Figura 5-13. Porcentaje de copa viva de los individuos de <i>Atriplex atacamensis</i> monitoreados en las campañas 2022	42
Figura 5-14. Porcentaje de copa viva de los individuos de <i>Distichlis spicata</i> monitoreados en las campañas de 2022.....	43
Figura 5-15. Porcentaje de copa viva de los individuos de <i>Nitrophila atacamensis</i> monitoreados en las campañas 2022	44
Figura 5-16. Porcentaje de copa viva de los individuos de <i>Tessaria absinthioides</i> monitoreados en las campañas de 2022.....	45
Figura 5-17. Vitalidad de los individuos monitoreados en las campañas de 2022	47
Figura 5-18. Vitalidad de los individuos de <i>Atriplex atacamensis</i> monitoreados en la campaña 2022	48
Figura 5-19. Vitalidad de los individuos de <i>Distichlis spicata</i> monitoreados en las campañas de 2022	49
Figura 5-20. Vitalidad de los individuos de <i>Nitrophila atacamensis</i> monitoreados en las campañas de 2022	50
Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2022.....	53
Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2022.....	65
Figura 6-3. Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2022), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados	67
Figura 6-4. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2022.	75
Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vitalidad, según trimestre de monitoreo desde el año 2007 a 2022.....	77

Figura 6-6. <i>Atriplex atacamensis</i> : Número de individuos por categoría de fenología (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por clase de copa viva (C), Campañas 2007 a 2022	80
Figura 6-7. <i>Distichlis spicata</i> : Número de individuos por categoría de fenología (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por clase de copa viva (C), Campañas 2007 a 2022	83
Figura 6-8. <i>Nitrophila atacamensis</i> : Número de individuos por categoría de fenología (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por clase de copa viva (C), Campañas 2007 a 2022	86
Figura 6-9. <i>Tessaria absinthioides</i> : Número de individuos por categoría de fenología (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por clase de copa viva (C), Campañas 2007 a 2022	89
Figura 6-10. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad	91
Figura 6-11. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad seco, desde el año 2007 al 2022.....	92
Figura 6-12. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad muy débil, desde el año 2007 al 2022	93
Figura 6-13. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad débil, desde el año 2007 al 2022	94
Figura 6-14. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad crecimiento normal, desde el año 2007 al 2022	95
Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad excepcionalmente vigoroso, desde el año 2007 al 2022.....	96
Figura 6-16. Variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad	97
Figura 6-17. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad seco, desde el año 2007 al 2022	98
Figura 6-18. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad muy débil, desde el año 2007 al 2022	99
Figura 6-19. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad débil, desde el año 2007 al 2022	100
Figura 6-20. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad crecimiento normal, desde el año 2007 al 2022	101
Figura 6-21. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad excepcionalmente vigoroso, desde el año 2007 al 2022.....	102
Figura 6-22. Distribución de área con tendencia en el Período 2006-2022	103

Anexos

Anexo 1. Estado vital de la vegetación

Anexo 2. Informe toma de muestras y análisis CHS

Anexo 3. Registro de precipitaciones mensuales periodo 2007 - 2022

Anexo 4. Responsables y participantes del seguimiento ambiental

Anexo 5. Resultado modelo estadístico

Anexo 6. Documentos de certificación ETFA algoritmos y mediciones ambientales SPA

Anexo 7. Análisis de la dinámica vegetacional en el Borde Este del Salar de Atacama en el período 2006 - 2022

Anexo 8. Registro de napa subterránea

Anexo 9. Medio de verificación ingreso a la RN Los Flamencos

1 Resumen

En el siguiente informe se reportan los resultados correspondientes al seguimiento del Contenido de Humedad del Suelo (CHS), acorde a lo estipulado en el considerando 10.3.1 de la RCA 226/2006 desarrollado en el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental Biótico de Vegetación y Flora del proyecto en operación “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”.

Este seguimiento ambiental tiene por objeto detectar los cambios en el contenido de humedad del suelo, relacionados con un potencial descenso del nivel freático ocasionado por la extracción de agua de los pozos Mullay-1, Allana-1 y Camar-2¹, que pudieran alterar el desarrollo de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.

El monitoreo contempla la prospección de 18 parcelas permanentes, ubicadas adyacentes a 18 pozos de observación de nivel freático, los que corresponden a una porción de los pozos de observación del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico asociado a la RCA N° 226/2006 y que se identifican en la Tabla 12 del considerando 10.3.1.1 de la citada RCA.

Respecto a los datos obtenidos durante el período 2022, los resultados indican que el CHS responde a las características de los sectores monitoreados, las que cambian respecto a su ubicación geográfica en el salar. Las parcelas del oeste tienen mayor contenido de humedad, valor que disminuye hacia las parcelas ubicadas al este. Esto se aprecia tanto en las muestras analizadas por el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar como en las muestras del laboratorio de Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA, autorizado como Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) (Anexo 2: Informes toma de muestras y análisis de CHS).

Los resultados del actual monitoreo son concordantes con los monitoreos históricos, donde las parcelas ubicadas hacia el oeste presentan mayor contenido de humedad gravimétrico y mayor variabilidad temporal, que aquellas ubicadas hacia el este, respondiendo a la ubicación de la napa freática, la que tiende a ser más somera al oeste.

Respecto a la evolución temporal del contenido de humedad gravimétrico del suelo, de la totalidad de parcelas monitoreadas un 55,6% registró un CHS que disminuye significativamente el tiempo. Mientras que un 5,6% del total mostró una tendencia significativa al alza (un pozo; L4-3). Por su parte, un 38,9% se presentó sin tendencia. Se identificó una correlación exponencial positiva entre el contenido de humedad del suelo con el nivel de acuífero, tal como se ha registrado a lo largo del seguimiento del proyecto.

La profundidad promedio de la napa no presenta una tendencia clara respecto a la distribución espacial de las muestras, ya que los puntos de monitoreo ubicados en la zona intermedia (sentido oeste-este), registran una profundidad promedio variable.

En particular, respecto a la profundidad la napa, el 77,8% de los pozos estudiados poseen una tendencia significativa al alza de esta variable. Mientras que un 11,1% posee una tendencia significativa a la baja (dos pozos; L3-5 y L4-3). Además, un 11,1% se muestra sin tendencia (pozo L7-14 y L4-17).

¹ Cabe destacar que el pozo Camar-2 se encuentra actualmente desmantelado y fuera de operación.

Respecto al monitoreo de vegetación se observa que la fenología de las plantas responde a lo esperado según los datos históricos, respondiendo a las etapas fenológicas esperadas para cada trimestre y el constante aumento de los individuos sin follaje en el tiempo, especialmente en los meses de abril y julio.

En particular, para *Atriplex atacamensis*, el monitoreo de la vitalidad muestra que la especie se presenta mayoritariamente con crecimiento normal durante gran parte del año. Sin embargo, algunos individuos presentaron un estado más débil que se extendió hasta el mes de octubre, presentando una disminución de individuos en crecimiento normal. El follaje verde (copa viva) de esta especie tiende a persistir durante todas las campañas, lo que se relaciona con el comportamiento perenne de la especie.

Por su parte, *Distichlis spicata* en 2022, al igual que en monitoreos anteriores, presenta predominio de crecimiento vegetativo principalmente en los meses de enero y abril. En este reporte en particular, no se encontraron individuos excepcionalmente vigorosos. Respecto a la porción de follaje verde, esta es muy variable a lo largo de los monitoreos.

Nitrophila atacamensis presenta predominio de crecimiento vegetativo en los dos individuos monitoreados en los meses de enero abril y julio, aumentando el número de individuos senescentes en el mes de octubre. La vitalidad de esta especie en los meses de enero, abril es principalmente de crecimiento normal, mientras que en julio (época de recesión vegetativa), tiende a perder vigor, situación que se extiende hasta el cuarto trimestre (octubre).

Los individuos de *Tessaria absinthioides* son los más abundantes en las parcelas de monitoreo, llegando a 123 ejemplares muestreados en cada periodo. Durante el primer y segundo trimestre del año se observan ejemplares mayoritariamente con crecimiento vegetativo, senescencia y floración. En estos períodos se aprecia una tendencia hacia el aumento de ejemplares secos en el tiempo. Hacia el invierno, se observa el período recesivo de las plantas y los ejemplares senescentes superan el 90% de registros desde el año base (2008). Hacia finales del año, los individuos recuperan su crecimiento vegetativo. En el presente monitoreo se observaron escasos individuos en floración.

Según la RCA 226/2006, la metodología establecida para el muestreo de especies arbustivas solo considera ejemplares fijos en cada parcela, los que fueron identificados y etiquetados en abril del 2007, prescindiendo del análisis a toda la vegetación del área adyacente a los pozos, impidiendo considerar nuevos individuos y la evaluación del ciclo de vida de las especies. Este hecho se considera de suma importancia, ya que no se prospecta la totalidad de la vegetación asociada al área de caracterización de los pozos y, por lo tanto, el seguimiento histórico se ve afectado. Esta condición no ocurre con las especies herbáceas, ya que la metodología de monitoreo se sustenta en la descripción de todos los ejemplares presentes en la parcela.

Pese a lo anterior, en general, la vegetación presenta las etapas fenológicas, vigor y cantidad de follaje acordes a los períodos monitoreados, es decir, a la estacionalidad. Cabe mencionar que una parte de los individuos prospectados permaneció durante los cuatro trimestres bajo las categorías de copa viva 0%, vitalidad seco y fenología senescente, presentando una alza en el tiempo. Lo anterior podría deberse a que parte de los individuos monitoreados son fijos en el tiempo y la muerte de algunos ejemplares podría responder al ciclo normal de las plantas prospectadas. Esta situación podría no reflejar fielmente la dinámica de la vegetación adyacente a los pozos.

Respecto al análisis multinivel que relaciona la vitalidad de toda la vegetación prospectada, el contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa, los resultados obtenidos permiten plantear que podría existir relación entre el CHS y la vitalidad de las plantas, ya que el resultado entre ambas variables es positivo y significativo, indicando que a mayor CHS hay mayor vitalidad en las plantas. Por su parte, el resultado entre la profundidad de la napa y la vitalidad de las plantas también es positivo y significativo, pero dicha relación no es biológicamente razonable, ya que este resultado indicaría que, a menor disponibilidad de agua, mayor sería la vitalidad. Este resultado da cuenta que esta correlación no implica causalidad entre las variables.

2 Introducción

El monitoreo de las variables contenido de humedad del suelo (CHS), profundidad de napa y estado de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama, forma parte del Plan de Seguimiento Ambiental asociado al Estudio de Impacto Ambiental (EIA) “Cambios y Mejoras de la Operación Minera del Salar de Atacama” de SQM Salar S.A. el cual está contemplado en el numeral 10.3.1 de la Resolución Exenta N° 226/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente II Región (RCA N° 226/2006), que aprueba ambientalmente el proyecto.

Las variables de interés son monitoreadas desde el año 2008. Sin embargo, cada variable es monitoreada con frecuencias distintas a lo largo del año. En la siguiente tabla se especifica la frecuencia de medición de las variables y su respectiva entrega de reportes.

Tabla 2-1. Variables y frecuencia de medición del monitoreo de contenido de humedad del suelo en el sector Borde Este. PSA del Salar de Atacama (RCA N° 226/2006).

Componente	Subcomponente	Variables	Frecuencia de medición	Frecuencia de reportes	Entidad a cargo de las actividades de muestreo, medición y análisis
Biota terrestre	Suelo	Contenido de humedad del suelo	Trimestral	Anual	SQM Salar Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA
	Vegetación	Estado vital y sanitario	4 veces al año**	Anual	SQM Salar
Hídrico	Agua subterránea	Nivel freático*	Mensual	Anual	SQM Salar ETFA SEGEA Ltda
Elaboración de informe			Anual	Anual	Geobiota

[*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.]

[**De acuerdo con la RCA N° 226/2006, la frecuencia de medición de esta variable es semestral (dos veces al año), sin embargo, para ampliar la información los datos son tomados trimestralmente (cuatro veces al año)]

El Plan de Seguimiento Ambiental contempla medir el contenido de humedad del suelo en 18 puntos ubicados a lo largo de la franja de vegetación existente en el área de influencia de los pozos de extracción de agua Mullay-1, Allana-1 y Camar-2. Los puntos seleccionados se ubican en forma contigua a puntos de control del plan de seguimiento ambiental hidrogeológico del sistema Borde Este y los sistemas lacustres Soncor y Aguas de Quelana. Esta ubicación permite conformar un diseño muestral que considera mediciones del nivel de la napa subterránea, el contenido de humedad en el perfil del suelo y el estado vital de la vegetación presente para cada punto de medición. A través del seguimiento de estas variables se podrá verificar si existen efectos en la disponibilidad de agua para la vegetación producto de la operación del proyecto.

En cada punto de muestreo, y en forma contigua al pozo de muestreo de nivel de la napa, se delimita una parcela circular de radio 5 metros en un sector representativo de la formación vegetal presente. En el centro de cada parcela se mide el contenido de humedad del suelo. Adicionalmente, al interior de cada parcela se

han identificado y marcado los ejemplares de las especies presentes, los que serán objeto de evaluaciones periódicas de su estado vital y sanitario. En el caso de las especies herbáceas se considera toda la biomasa vegetal ubicada al interior de la parcela. De acuerdo a lo estipulado en la RCA 226/2006, la medición del estado vital y sanitario de los ejemplares seleccionados en cada parcela se efectúa durante el período en que las formaciones vegetales del Borde Este presentan follaje con biomasa fotosintéticamente activa, lo que ocurre aproximadamente entre los meses de noviembre y mayo. No obstante, y acorde a lo mencionado anteriormente, se ejecuta de manera trimestral.

En marzo del 2008 se inició el bombeo de agua para uso industrial en el pozo Camar-2 y en septiembre del mismo año, comenzaron su operación los pozos Allana-1 y Mullay-1. A principios del 2008 se entregaron dos informes preoperacionales y a partir de esa fecha se han generado trece informes de Monitoreo de Contenido de Humedad de Suelo anuales (2009-2022), que compilan los monitoreos ejecutados trimestralmente. El presente documento corresponde al Décimo Cuarto Informe Operacional Anual y expone los resultados del período 2022.

3 Objetivo

Conforme a lo señalado en la RCA 226/2006, numeral 10.3.1, 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.

² Inoperativo desde el año 2018 y cuya infraestructura de extracción fue desmantelada durante 2021, en conformidad a lo acordado con la Comunidad Atacameña de Camar.

4 Materiales y métodos

4.1 Descripción del área de estudio

El Salar de Atacama corresponde al mayor depósito salino de Chile y está ubicado en la cuenca endorreica del Salar de Atacama en la Región de Antofagasta, específicamente a 55 km de San Pedro de Atacama y 316 km al noreste de Antofagasta.

La operación minera de SQM Salar S.A. en el Salar de Atacama considera la extracción de salmuera desde el núcleo del Salar y el bombeo de agua desde la zona aluvial en el margen este del Salar, que son utilizados para la producción de sales potásicas, principalmente, cloruro de potasio, y de soluciones concentradas de litio.

El área de estudio del Plan de Seguimiento Ambiental de Vegetación y Flora de SQM en el Salar de Atacama corresponde a la franja de vegetación presente en el borde este del Salar, sector donde se desarrollan las actividades de monitoreo asociadas al seguimiento del Contenido de Humedad del Suelo, expuestas en este informe. Sus coordenadas se presentan en la Tabla 4-1 y se ilustran en la Figura 4-1.

Cabe destacar que, actualmente en el Salar de Atacama, y dentro del área de estudio, específicamente en su sección este, se emplazan dos sectores del área silvestre protegida Reserva Nacional Los Flamencos, correspondiente a Soncor y Aguas de Quelana como se visualiza en la Figura 4-1.

Tabla 4-1. Coordenadas de los vértices del área de estudio, Borde Este del Salar de Atacama (UTM Datum WGS84 Huso 19S).

Vértice	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.

4.2 Ubicación de los puntos de muestreo

El monitoreo se realiza en 18 parcelas permanentes (punto de control fijo en el tiempo), de tipo circular con un radio de 5 m, ubicadas adyacentes a los pozos de observación de nivel freático, que forman parte del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico asociado a la RCA N° 226/2006 (ver Tabla 4-2 y Figura 4-1). En

cada parcela se realizan las mediciones de contenido de humedad de suelo, profundidad de la napa y monitoreo de vegetación. En la Tabla 4-2 se muestran las coordenadas de cada punto de muestreo (corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006). Se han ordenado los puntos de muestreo de norte a sur para facilitar su ubicación en el mapa.

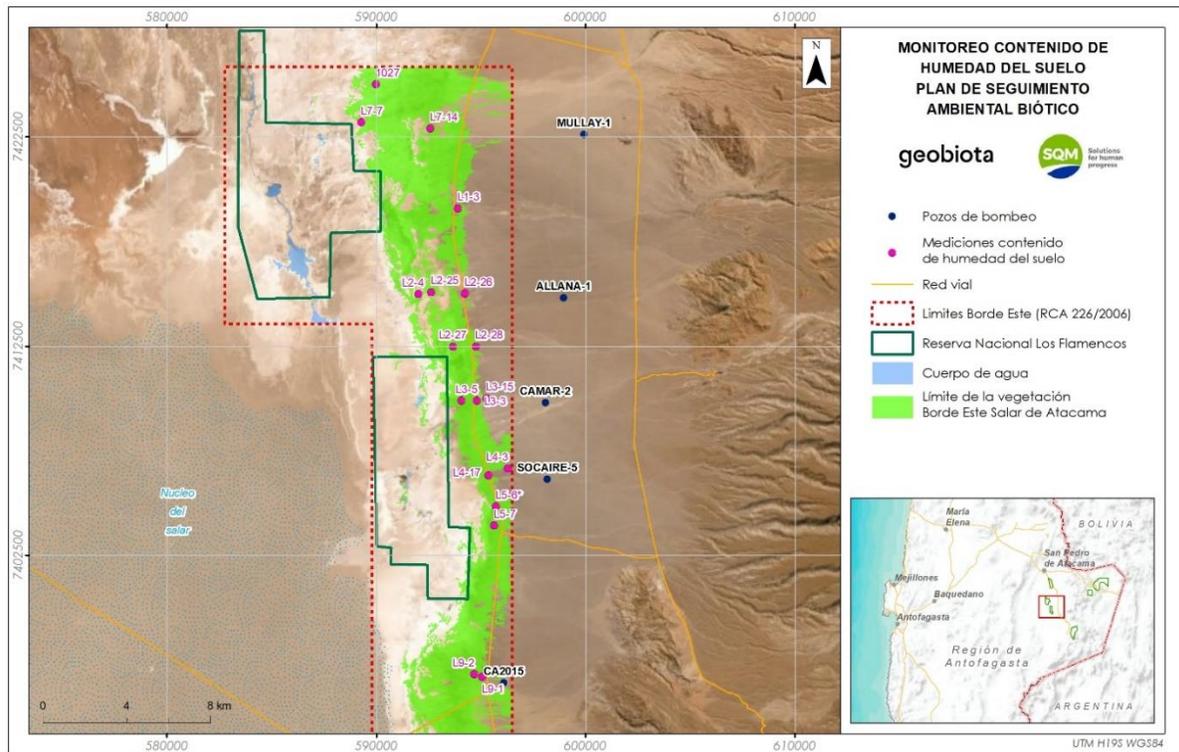
Tabla 4-2. Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, nivel napa y estado vital de la vegetación. Corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006, numeral 10.3.1.1. Coordenadas (UTM Datum WGS84 Huso 19S).

N°	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	L5-63	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 4-1. Ubicación de los pozos de monitoreo



* Adyacentes a estos pozos se ubican las parcelas de monitoreo de contenido gravimétrico de humedad del suelo y monitoreo de vegetación dominante.

Fuente: elaboración propia

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

Conforme a lo señalado en la RCA N° 226/2006, los parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales son: Contenido de humedad gravimétrico del suelo (%), profundidad de la napa subterránea (m) y estado vital de la vegetación, evaluado mediante la vitalidad, copa viva y fenología, como se detalla en la siguiente Tabla.

Tabla 4-3. Síntesis de variables y parámetros establecidos para caracterizar el componente

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

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Metodología

4.4.1 Contenido de humedad gravimétrico del suelo

Para la medición del contenido de humedad gravimétrico del suelo se extraen tres muestras a una misma profundidad, desde una calicata realizada en cada parcela de monitoreo. Esta actividad fue llevada a cabo por la Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) Algoritmos Spa., autorizada para el muestreo de suelos por medio de la Resolución Exenta N° 178/2017 SMA, N° 37/2019 y N° 63/2019 SMA.

Las muestras de suelo son extraídas a una profundidad variable en cada parcela, la que es definida en función del crecimiento radicular de la vegetación. En la primera campaña de la etapa preoperacional (abril 2007) se realizó el análisis que permitió determinar esta profundidad. El detalle por parcela se muestra en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4. Profundidad del estrato con presencia de raíces

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

Las muestras de suelo son analizadas en dos laboratorios en paralelo, laboratorio correspondiente a la ETFA, en cumplimiento de la Resolución Exenta N° 986/2016, derogada por la Resolución Exenta N° 573/2022, ambas del Ministerio del Medio Ambiente, y también por el laboratorio Metalúrgico de SQM Salar en consideración a que las muestras históricas, previo al 2016, eran tomadas por dicho laboratorio, por tanto para dar trazabilidad y continuidad a los resultados, se realizan análisis en ambos laboratorios.

- Laboratorio Algoritmos y Mediciones Ambientales Spa, acreditado como ETFA por Resolución Exenta 303/2016 SMA.
- Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar S.A. quien ha realizado las mediciones históricas del monitoreo, sin autorización como ETFA.

Lo anterior, con el objetivo de dar continuidad a la trazabilidad de los datos históricos, se realizan de forma complementaria análisis por el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar, a pesar de no ser ETFA.

Cabe señalar que el análisis realizado por la ETFA se realiza desde el 2016 cuando entra en vigencia la ejecución de análisis con entidades autorizadas por la SMA de acuerdo a lo establecido en la Resolución Exenta N°986/2016, derogada por la Resolución Exenta N° 573/2022, ambas del Ministerio del Medio Ambiente, por tanto, los datos históricos de CHS previo a esa fecha, no son comparables considerando que son distintas metodologías de medición como se detalla en las siguientes secciones, por tanto con el objetivo de poder comparar los datos históricos del periodo previo al 2017, se mantienen los análisis con dicho laboratorio.

4.4.1.1 Métodos utilizados

Como se ha mencionado anteriormente, en el año 2022 los análisis ETFA utilizados para determinar el contenido de humedad gravimétrico del suelo estuvieron a cargo de Algoritmos y Mediciones Ambientales Spa (ETFAs) autorizada para el muestreo de suelos por medio de la Resolución Exenta N°178/2017 SMA, N°37/2019 y N°63/2019 SMA. A diferencia de las mediciones de los años 2016-2017, donde los análisis fueron realizados por SGS Chile Ltda⁴.

Las metodologías de análisis de cada laboratorio son descritas a continuación:

4.4.1.1.1 Laboratorio Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA.

El método de ensayo utilizado para la determinación de humedad de las muestras de suelo corresponde al MLAB-S-01, basado en la NCh 1515 Of 79, la cual se encuentra aprobada por el Instituto Nacional de Normalización (INN.).

El procedimiento consta del secado de la muestra en una estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C, hasta conseguir un peso constante de la muestra. La humedad se define como la pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la siguiente fórmula (aproximado a 0,1%):

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

Donde:

w = humedad (%)

mh = masa del recipiente más la muestra húmeda (g)

ms = masa del recipiente más la muestra seca (g)

mr = masa del recipiente (g)

4.4.1.1.2 Metodología utilizada por el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar S.A.

Previo a la extracción de las muestras en terreno el laboratorio pesa cada bolsa a utilizar mediante una balanza de precisión 0,1 g, luego rotula con un código identificador cada una de ellas. En terreno, en cada bolsa se dispone una muestra de aproximadamente 500 g (Figura 4-2). Durante la jornada se transportan las muestras al Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar S.A., ubicado en el sector MOP de las operaciones de la empresa en el Salar de Atacama.

⁴ SGS Chile Ltda contaba con acreditación ETFA en dichos periodos.

El procedimiento para la medición del contenido de humedad gravimétrico de las muestras se detalla a continuación (Figura 4-2):

Determinación de peso húmedo (PH) de las muestras. La primera etapa consiste en el pesaje de las muestras de suelo en estado húmedo. Para ello se pesan las muestras de suelo dentro de la bolsa sellada, utilizando la balanza de precisión 0,1 g. El peso húmedo (en gramos) corresponde a la lectura de la balanza, descontando el peso de la bolsa.

Secado y determinación del peso seco (PS) de las muestras. Para el secado se extrae el suelo de las bolsas, cuidando de sacar la totalidad de la muestra. Ésta se dispone sobre una bandeja de aluminio de peso conocido y se seca en una estufa de circulación de aire por 48 horas a $105 \pm 5^\circ\text{C}$, tiempo estimado para que las muestras logren un peso constante. Tras finalizar el secado, las muestras se pesan (precisión 0,1 g). El peso seco de la muestra se obtuvo descontando el peso de la bandeja.

Cálculo del contenido de humedad gravimétrico del suelo. El cálculo del contenido de humedad gravimétrico del suelo se realiza utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde:

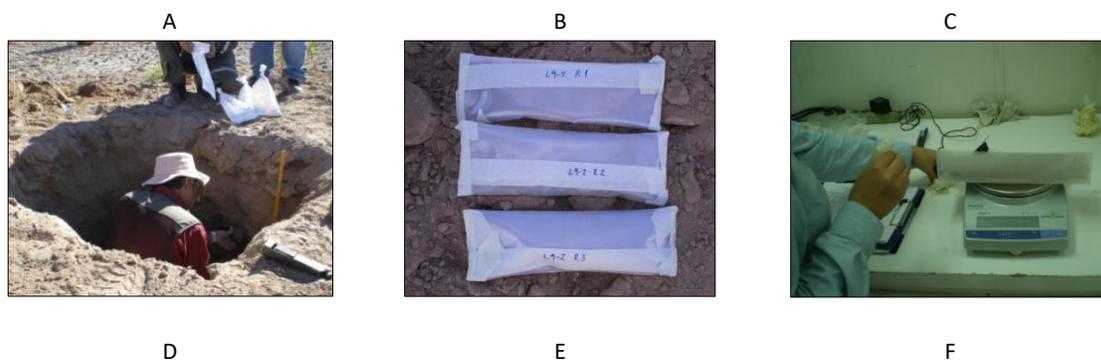
CHg = Contenido de humedad gravimétrico (g/g)

PH = Peso húmedo de la muestra (g) menos el peso de la bolsa (g)

PS = Peso seco de muestra (g) menos el peso de la bandeja (g)

El contenido de humedad se calcula para las tres muestras obtenidas por cada calicata, utilizando el contenido de humedad promedio como el resultado del monitoreo.

Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo





En (A) Extracción de muestras calicatas.



En (B) Embolsado de muestras en terreno.

En (C) Pesaje de muestras húmedas con balanza de precisión.

En (D) Extracción de la muestra de suelo y preparación para su secado.

En (E) Estufa con circulación de aire utilizada para secar las muestras.

En (F) Muestras secas en proceso de pesaje.

Fuente: Registro fotográfico SQM Salar S.A.

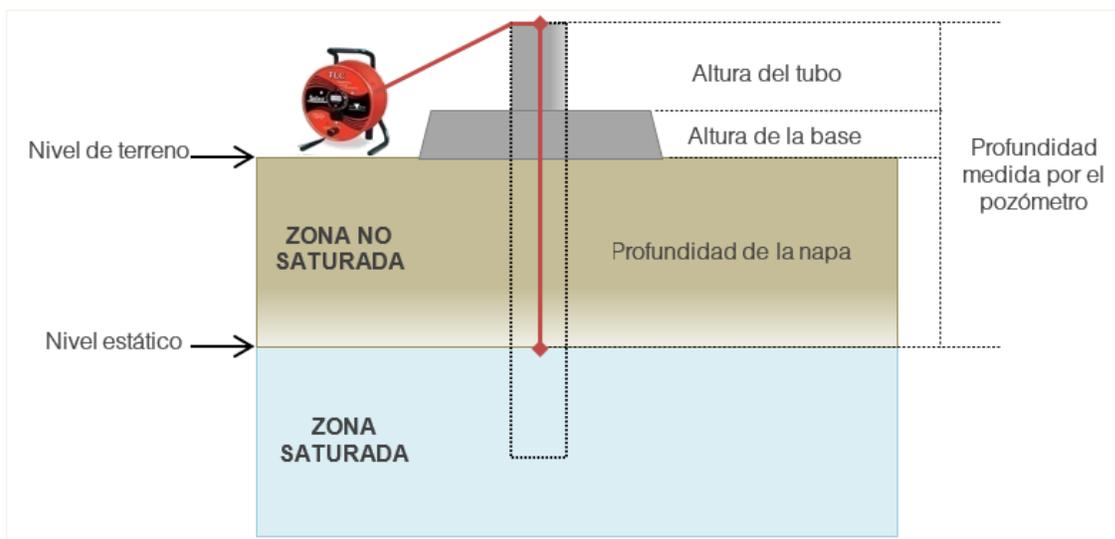
4.4.2 Profundidad de la napa subterránea

Cada una de las 18 parcelas de monitoreo permanente se encuentra adyacente a un pozo de monitoreo de nivel freático, los que son parte de la red de pozos del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH). La medición de este parámetro es realizada por SQM Salar y por la Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA) SEGEA Ltda.

La medición de la profundidad de la napa subterránea se realiza de acuerdo con el procedimiento PE04-GP-PT, cuyos principales pasos se detallan a continuación:

- a. Encender el pozómetro y realizar la medición de nivel según lo que se indica en el instructivo IT-GP-PE04-01.
- b. Bajar la cinta métrica por el centro del pozo evitando que este toque las paredes.
- c. Observar y registrar la profundidad a la cual se detectó la superficie a la que se encuentra el agua subterránea. Dicha profundidad se mide en la huincha graduada del cable y estará referida al borde del tubo (metros bajo el nivel del brocal). Para pozos con aguas someras (<10m), o donde se requiera una precisión de 0,5 mm, se recomienda cruzar un vástago sobre la superficie del brocal y hacer la lectura en el centro del pozo.
- d. Enrollar la huincha del pozómetro en su carrete. Limpiar huincha usada y sonda, apagar y guardar adecuadamente.
- e. Posterior a la toma de datos en terreno, se descuenta de la profundidad medida por el pozómetro, la altura del tubo y la base del pozo (Figura 4-3).

Figura 4-3. Esquema del proceso de medición en un pozo



Fuente: PSAH, 2021

Los valores de profundidad de la napa del presente informe corresponden a los reportados en el Informe del Plan de Seguimiento Hidrogeológico (PSAH) 2022, asociado a la RCA N° 266/2006.

Conforme a los criterios en materia de seguimiento ambiental definidos por la Superintendencia del Medio Ambiente mediante Res. Ex. N°223/2015, no existen límites establecidos para el monitoreo de esta variable ambiental.

4.4.3 Vitalidad de la vegetación

Conforme a la RCA N° 226/2006, la medición del estado vital y sanitario de los ejemplares seleccionados en cada parcela se debe efectuar durante el periodo en que las formaciones vegetales del Borde Este presentan follaje con biomasa fotosintéticamente activa, lo que ocurre aproximadamente entre los meses de noviembre y mayo. Sin embargo, con el fin de obtener un seguimiento continuo entre las mediciones de vegetación, nivel freático y CHS, el monitoreo se realiza trimestralmente en los meses de enero, abril, julio y octubre.

La evaluación de la vegetación se realiza en 18 parcelas permanentes circulares de radio cinco metros, las que fueron establecidas en la primera campaña de este monitoreo (abril 2007). La vegetación asociada a estas parcelas requiere un seguimiento permanente, por lo que en cada una se escogieron 10 individuos arbustivos, los que fueron etiquetados en 2007 para su control temporal (Figura 4-4). En las parcelas donde hubo un número menor de individuos por parcela, se etiquetaron todos los ejemplares presentes. En el caso de vegetación herbácea se contabilizan y miden todos los individuos por especie en cada parcela.

La evaluación de la vitalidad de los ejemplares se realizó en función de las siguientes variables:

- a. Estado fenológico: Evalúa la estructura en la planta según las siguientes categorías (Tabla 4-5):

Tabla 4-5. Fases fenológicas evaluadas

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

Fuente: elaboración propia

- b. Porcentaje de copa viva: Conforme a lo señalado en la RCA N° 226/2006, el porcentaje de copa viva corresponde a la proporción de la biomasa aérea vegetal que presenta follaje con capacidad fotosintética (verde). Se evalúa según las siguientes categorías (Tabla 4-6):

Tabla 4-6. 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

- a. Vitalidad: Conforme a lo señalado en la RCA N° 226/2006, la vitalidad corresponde a una evaluación cualitativa de acuerdo con las siguientes categorías (Tabla 4-7):

Tabla 4-7. Categorías de vitalidad

Categoría	Descripción
0	Ejemplar seco, no presenta follaje verde ni estructuras reproductivas de ningún tipo,
1	Ejemplar muy débil, presenta escaso follaje verde, sin producción de frutos, se observan signos de ataque de patógenos,
2	Ejemplar débil, aunque presenta follaje verde pueden observarse signos leves de ataque de patógenos, capaz de producir algunos frutos,
3	Ejemplar de crecimiento normal, presenta gran parte de su follaje verde, producción de frutos, sin signos de patógenos,
4	Ejemplar excepcionalmente vigoroso, presenta abundancia de follaje y estructuras reproductivas.

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente se midió la altura en centímetros de los ejemplares arbustivos. Su determinación consiste en medir la distancia entre el suelo y el punto más alto de la planta, tomando como criterio el follaje fotosintéticamente activo. Cuando un individuo no presentó copa viva, esta variable no fue medida. Los resultados se detallan en el Anexo 1 Estado vital de la vegetación.

Figura 4-4. Medición del estado vital de la vegetación (a=individuo rotulado; b=medición altura)



Coordenadas UTM 595.737E; 7.404.824N

Coordenadas UTM 594.086E; 7.409.890N)

Fuente: Registro en terreno, 2022

Se estableció la categoría “No Aplica” para las tres parámetros antes mencionadas (estado fenológico, porcentaje copa viva y vitalidad), en los casos que los ejemplares no pudieron ser encontrados en las parcelas de monitoreo, ya sea por la pérdida de la biomasa aérea de estas o la desaparición ante las condiciones ambientales del área. Para verificar esta condición, se registra fotográficamente los ejemplares marcados.

A partir del monitoreo realizado en el año 2019, se agregó la categoría “Desaparecidos por Aluvión”, para identificar a los individuos afectados por los aluviones de la quebrada de Camar, y la categoría “Sin información”, en aquellos casos que no fue posible monitorear por falta de permiso de ingreso al área⁵.

Conforme a los criterios en materia de seguimiento ambiental definidos por la Superintendencia del Medio Ambiente mediante Res. Ex. N°223/2015, no existen límites establecidos para el monitoreo de esta variable ambiental.

4.4.4 Relación entre las variables monitoreadas

Con el objetivo de analizar los efectos de la humedad del suelo y la profundidad de la napa sobre la vitalidad de la vegetación, se estudió la relación de estas variables mediante análisis multivariados utilizando Modelos Lineales Generalizados Multinivel (GLMM) con una distribución normal. Se utilizó un modelo múltiple que incluye todas las covariables e incorpora los registros (conteos) de Vitalidad de cada especie en cada una de las campañas como variable dependiente. Los datos utilizados para el análisis corresponden a aquellos reportados en los informes entre los años 2007-2021, a los cuales se añade los reportados durante el 2022.

4.5 Materiales

4.5.1 Contenido de humedad gravimétrico del suelo, profundidad de la napa subterránea y vitalidad de la vegetación

Para la medición del contenido de humedad gravimétrico del suelo, la profundidad de la napa subterránea y la vitalidad de la vegetación, se utilizaron los siguientes materiales (Tabla 4-8).

Tabla 4-8. Materiales utilizados para medir contenido 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	

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

Tabla 4-8. Materiales utilizados para medir contenido de humedad de suelo, profundidad de la napa subterránea y vitalidad de la vegetación.

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

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

4.6.1 Contenido de humedad gravimétrico del suelo

El monitoreo de este parámetro se realiza de forma trimestral, en las siguientes fechas:

- Campaña enero: ejecutada los días 25 y 26 de enero de 2022 en la totalidad de los puntos (18).
- Campaña abril: se realizó los días 12 y 13 de abril de 2022 en la totalidad de los puntos (18).
- Campaña julio: se levantó los días 18 y 19 de julio de 2022 en la totalidad de los puntos (18).
- Campaña octubre: realizada los días 18 y 19 de octubre de 2022 en la totalidad de los puntos (18).

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio metalúrgico de SQM Salar el mismo día que se extrajeron de terreno, mientras que en el caso de la ETFA Algoritmos, se realizó el envío de muestras a Santiago (Región Metropolitana) para su posterior análisis en sus laboratorios.

4.6.2 Profundidad de la napa subterránea

A partir del 01 de diciembre de 2018, la frecuencia de medición de este parámetro paso de ser mensual a diaria, conforme a los compromisos asumidos por SQM en el Programa de Cumplimiento presentado a la SMA⁶. Sus resultados son reportados en los informes asociados al Plan de Seguimiento Ambiental Hidro-

6 Aprobado mediante Res. Ex. N° 38/F-041-2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente, de fecha 29 de agosto de 2022.

geológico correspondiente al año 2022. Para efectos del presente informe y tal como se muestran en el Anexo 8, se utilizan las mediciones reportadas para el día 20 de los meses de enero, abril, julio y octubre del año 2022. No obstante, y conforme al “Protocolo de monitoreo ambiental para sector Soncor, Tambillo y Aguas de Quelana de la Reserva Nacional Los Flamencos” (ver Anexo 9) que se encuentra vigente y ha restringido el acceso a las zonas de la Reserva Nacional Los Flamencos (RNF) a los sectores 4, 5 y 7, no fue posible realizar la medición de la profundidad de la napa en los siguientes pozos:

- Campaña de enero, abril, julio y octubre: pozo L7-7 y pozo 1027.

Si bien los pozos L7-7 y 1027 no se encuentran ubicados dentro del área restringida de RN Los Flamencos, su acceso se encuentra controlado mediante la barrera que permite el ingreso al centro turístico de Chaxa, bajo modalidad de coadministración con la comunidad de Toconao, y cuando éste se encuentra cerrado, la barrera se mantiene abajo y, por tanto, no se puede acceder.

4.6.3 Estado vital de la vegetación

El monitoreo del estado vital de la vegetación se realiza de forma trimestral y en conjunto con la toma de muestras de suelo, por lo cual las fechas correspondientes al levantamiento de contenido de humedad gravimétrico del suelo corresponden a las mismas fechas del monitoreo de estado vital de la vegetación. A continuación, se resumen las fechas de muestreo en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9. Fechas de muestreo

Contenido de humedad de suelo		
Campaña	Días	Actividad
Enero	25 y 26	Monitoreo de CHS en la totalidad de los puntos (18)
Abril	12 y 13	Monitoreo de CHS en la totalidad de los puntos (18)
Julio	18 y 19	Monitoreo de CHS en la totalidad de los puntos (18)
Octubre	18 y 19	Monitoreo de CHS en la totalidad de los puntos (18)
Profundidad de la napa subterránea		
Campaña	Días	Actividad
Enero	20	Monitoreo de la profundidad de la napa subterránea en 16 de 18 puntos
Abril	20	Monitoreo de la profundidad de la napa subterránea en 16 de 18 puntos
Julio	20	Monitoreo de la profundidad de la napa subterránea en 16 de 18 puntos
Octubre	20	Monitoreo de la profundidad de la napa subterránea en 16 de 18 puntos
Vitalidad de la vegetación		
Campaña	Días	Actividad
Enero	25 y 26	Monitoreo de la vitalidad de la vegetación en la totalidad de los puntos (18)
Abril	12 y 13	Monitoreo de la vitalidad de la vegetación en la totalidad de los puntos (18)
Julio	18 y 19	Monitoreo de la vitalidad de la vegetación en la totalidad de los puntos (18)
Octubre	18 y 19	Monitoreo de la vitalidad de la vegetación en la totalidad de los puntos (18)

Fuente: elaboración propia

4.7 Incertidumbres asociadas a los métodos utilizados

Respecto a las incertidumbres asociadas a la metodología propuesta en este documento, y que se relaciona a determinar posibles efectos en la vegetación debido a la operación de los pozos de extracción de agua, se puede señalar la inexistencia de algunos datos tomados en terreno, afectando de esta manera el análisis los distintos periodos históricos. A continuación, se explicitan estas incertidumbres.

- Debido a las fuertes lluvias registradas en la zona durante la época estival correspondiente al 2019, se generó un aluvión que descendió desde la quebrada de Camar y afectó las parcelas asociadas a los pozos de monitoreo L3-15, L3-3, L3-5, L2-27 y L2-28. En Anexo 3 se presenta el registro de precipitaciones correspondiente al periodo 2007 al 2022, donde se refleja las intensas lluvias del 2019.
- Debido a la crisis sanitaria producto de la pandemia de COVID-19, las áreas silvestres protegidas del estado fueron cerradas por la autoridad a cargo (CONAF), incluyendo la Reserva Nacional Los Flamencos, específicamente Sistema Soncor, donde se encuentran los pozos de monitoreo L7-7 y 1027. Por lo cual, no fue factible realizar mediciones en dichos pozos durante los meses de abril y octubre del año 2019, y en los meses de abril, julio y octubre del año 2020. (Anexo 9, Medio de verificación ingreso Reserva Nacional Los Flamencos).
- Por otra parte, y en complemento a lo anterior, acorde al protocolo de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, adjunto en Anexo 9, se restringe el acceso a la Reserva en el periodo comprendido de octubre a febrero de cada año, según calendario de nidificación indicado en el documento “Conservación de flamencos altoandinos en el norte de Chile” (Rodríguez et al., 2006), lo que impidió el monitoreo de las plantas ubicadas en las inmediaciones de los pozos L7-7 y 1027 durante ese periodo.

4.7.1 Contenido de humedad gravimétrico del suelo

En la obtención del contenido de humedad gravimétrico del suelo las incertidumbres se concentran en primer lugar en las condiciones del sitio desde donde se extraen las muestras, tales como: las condiciones climáticas y el tiempo transcurrido entre la excavación de la calicata y la toma de muestras. Además, factores como el material de almacenamiento de las muestras y la experiencia del inspector a cargo de la extracción de estas, podrían influir en los resultados de los análisis.

Por otra parte, existen incertidumbres asociadas al análisis en laboratorio, ya que las muestras son analizadas por dos entidades. Las incertidumbres asociadas a los análisis del Laboratorio Metalúrgico de SQM en el Salar de Atacama, se vinculan a la precisión de los equipos utilizados; balanza (precisión 0,1 g) y estufa de circulación de aire, además, de la experiencia que tenga el operador de estas. Mientras que las incertidumbres asociadas a los análisis realizados por la ETFA Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA podrían estar vinculados, tanto a los equipos utilizados, protocolo de muestreo y análisis de las muestras..

4.7.2 Profundidad de la napa subterránea

En la obtención de la cota piezométrica las incertidumbres se concentran en la precisión de los equipos de medición como son el pozómetro (± 5 mm), la observación de la medida por parte del monitor (± 1 mm) y la precisión con la que se haya medido la cota del punto de referencia (± 1 cm); esta última depende del equipo de medición topográfica usado, además de las condiciones climáticas, el tiempo transcurrido (minutos) durante los registros de la medición en el punto y la distancia a la estación base, pero, en general, es del orden de centímetros.

4.7.3 Estado vital de la vegetación

En la descripción del estado vital de la vegetación las incertidumbres se concentran en la habilidad y conocimiento de la o las personas que realizan el muestreo, esto debido a que la vegetación se describe mediante parámetros cualitativos.

Además, existen incertidumbres asociadas al marcaje de los individuos a prospectar, ya que estos son fijos en el tiempo, por lo que cualquier alteración impactaría en el muestreo. En este sentido, el factor climático es fundamental, ya que en la zona es común la ocurrencia de aluviones producto del invierno altiplánico.

Además, al ser individuos fijos, el ciclo de vida normal de ellos podría impactar negativamente en el muestreo al no considerarse la totalidad de la vegetación adyacente a los pozos.

5 Resultados

5.1 Contenido de humedad del suelo

En la presente sección, se muestran los resultados de las mediciones de contenido de humedad gravimétrico de suelo (2022), realizado por los dos laboratorios Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA y Laboratorio Metalúrgico de SQM. Cabe señalar que el Plan de Seguimiento Biótico, específicamente en lo referido a la humedad de suelo, no establece límites para los distintos parámetros evaluados. Por lo anterior, en esta sección, se presentan los resultados gráficos y numéricos obtenidos en el periodo, sin contrastarse con límites o umbrales de control.

5.1.1 Laboratorio Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA

Los resultados del contenido de humedad del suelo reportados por Algoritmos SpA se presentan en Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA (ETFA) en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas , 2022.

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	0,279	0,394	0,356	0,506	0,384	0,094
1027	0,389	0,396	0,413	0,836	0,508	0,219
L2-4	0,277	0,270	0,249	0,349	0,286	0,044
L2-25	0,299	0,297	0,272	0,308	0,294	0,015
L27-14	0,133	0,174	0,163	0,160	0,158	0,017
L2-27	0,202	0,226	0,238	0,291	0,239	0,038
L1-3	0,006	0,022	0,016	0,006	0,013	0,008
L3-5	0,113	0,140	0,151	0,101	0,126	0,023
L2-26	0,066	0,068	0,077	0,046	0,064	0,013
L9-2	0,054	0,022	0,036	0,026	0,035	0,014
L2-28	0,104	0,183	0,108	0,101	0,124	0,039
L9-1	0,069	0,074	0,070	0,059	0,068	0,006
L3-15	0,033	0,043	0,039	0,009	0,031	0,015
L4-17	0,109	0,095	0,174	0,182	0,140	0,044
L5-7	0,147	0,151	0,131	0,167	0,149	0,015
L5-6	0,104	0,107	0,128	0,098	0,109	0,013
L3-3	0,049	0,066	0,073	0,073	0,066	0,011

Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA (ETFA) en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas , 2022.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g) por campaña de monitoreo				Promedio (g/g)	Desv. est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L4-3	0,003	0,008	0,004	0,001	0,004	0,003

Fuente: Elaboración propia en base a informe de resultados trimestrales de CHS ETFA Algoritmos y mediciones ambientales SPA (Anexo 2 Informe toma de muestras y análisis CHS).

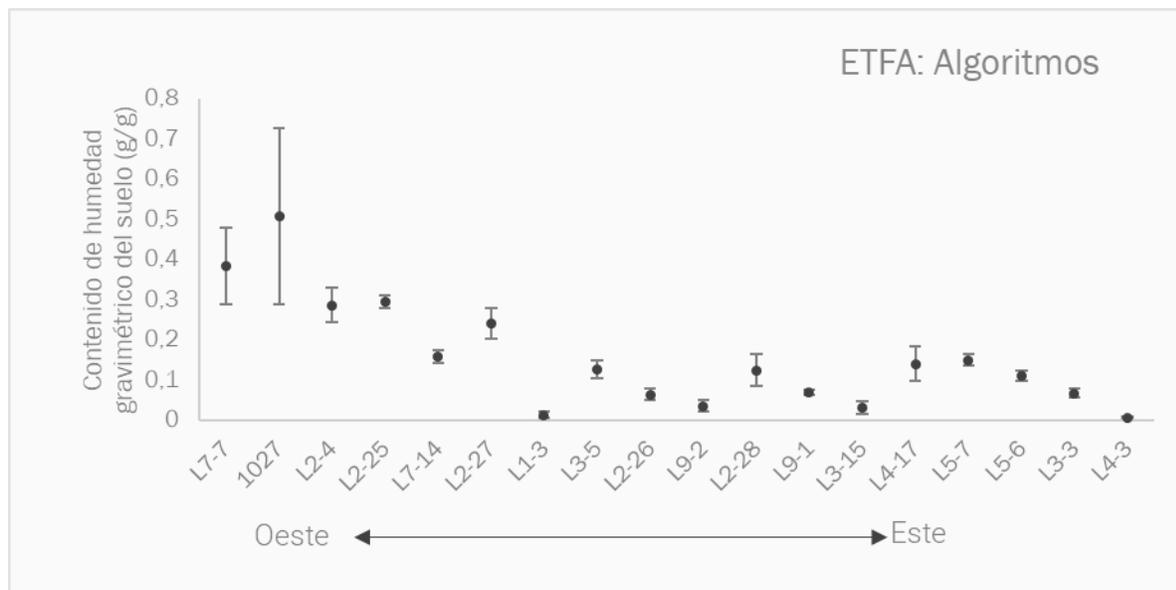
La Tabla 5-1 muestra el promedio del contenido de humedad gravimétrico del suelo obtenido durante las cuatro (4) campañas de monitoreo, para cada uno de los 18 puntos de medición evaluados el 2022, mientras que la Figura 5-1, ilustra el promedio anual de este parámetro y su desviación estándar. En ambos casos, los puntos de muestreo se presentan ordenados de oeste a este, bajo la hipótesis de que la ubicación espacial de ellos posee una relación con sus valores.

Tal como se espera, el mayor contenido de humedad gravimétrico del suelo se presenta en las parcelas ubicadas al oeste, es decir, hacia el núcleo del salar, en las parcelas L7-7, 1027, L2-4, L2-25, L7-14 y L2-27. El valor máximo alcanzó 0,836 g/g en la parcela 1027 en el mes de octubre, dando cuenta de un alto valor, considerando que el CHS varía entre 0,05 g/g y 0,5 g/g cuando se encuentra en su máxima capacidad de retención de agua (Santibáñez, s.f.). Paralelamente, el valor mínimo se registró en la parcela L4-3 en el mes de octubre, alcanzando los 0,001 g/g, lo que se considera acorde a la disponibilidad hídrica en el sector de emplazamiento del pozo, considerando la profundidad de la napa y a las acotadas lluvias estivales que se han presentado a la fecha.

En la Figura 5-1, se observa también que cuando los valores superan los 0,2 g/g y cercanos a 0,5 g/g, la desviación estándar de este parámetro es mayor, indicando que a través del año existe más variabilidad cuando el contenido de agua en las muestras aumenta (lo que podría estar relacionado con la profundidad de la napa freática hacia el oeste del salar).

Por otra parte, las muestras tomadas hacia el este poseen desviaciones estándar menores (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), lo que podría responder a la baja disponibilidad de agua subterránea en este sector, siendo el CHS menos sensible a sus variaciones.

Figura 5-1. Variación promedio anual del contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Algoritmos SpA, para el año 2022.



Fuente: elaboración propia

5.1.2 Laboratorio Metalúrgico SQM Salar

La Tabla 5-2 y Figura 5-2 muestra los resultados de las mediciones de contenido de humedad en las cuatro campañas correspondientes al monitoreo 2022, según los análisis del Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar. Los puntos de monitoreo se distribuyen de oeste a este.

Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2022.

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	0,390	0,559	0,508	0,527	0,496	0,074
1027	0,641	0,671	0,712	0,668	0,673	0,029
L2-4	0,336	0,356	0,299	0,337	0,332	0,024
L2-25	0,406	0,428	0,392	0,318	0,386	0,048
L7-14	0,137	0,251	0,188	0,166	0,185	0,048
L2-27	0,247	0,311	0,314	0,303	0,294	0,031
L1-3	0,004	0,019	0,008	0,005	0,009	0,007
L3-5	0,127	0,168	0,178	0,034	0,127	0,066

Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2022.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g) por campaña de monitoreo				Promedio (g/g)	Desv. est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L2-26	0,064	0,076	0,074	0,040	0,064	0,017
L9-2	0,048	0,028	0,031	0,009	0,029	0,016
L2-28	0,108	0,128	0,121	0,086	0,111	0,019
L9-1	0,065	0,074	0,074	0,035	0,062	0,018
L3-15	0,025	0,044	0,037	0,010	0,029	0,015
L4-17	0,122	0,102	0,211	0,128	0,141	0,048
L5-7	0,174	0,152	0,151	0,110	0,147	0,027
L5-6	0,114	0,114	0,137	0,053	0,104	0,036
L3-3	0,043	0,059	0,081	0,040	0,056	0,019
L4-3	0,004	0,006	0,059	0,003	0,018	0,027

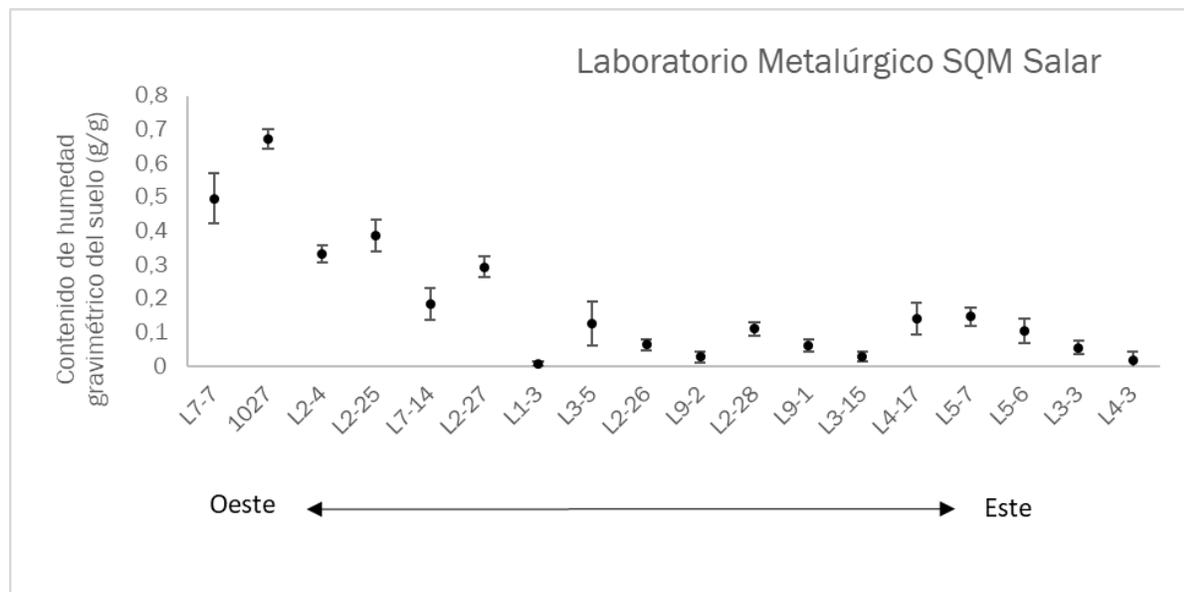
Fuente: elaboración propia

De igual forma que los análisis entregados por ETFA Algoritmos, el mayor contenido de humedad promedio anual se obtuvo principalmente en las parcelas ubicadas al oeste (L7-7, 1027, L2-4, L2-25, L7-14 y L2-27). El CHS promedio registró valores que varían entre 0,009 g/g y 0,673 g/g.

El valor máximo alcanzó 0,712 g/g en la parcela 1027 en el mes de julio. Mientras que el valor mínimo en el área de estudio se registró en la parcela L4-3 en el mes de enero, alcanzando los 0,003 g/g, valor considerado como 0 g/g, lo que se considera acorde a la disponibilidad hídrica en el sector de emplazamiento del pozo.

Al observar los datos, tanto los reportados por la ETFA Algoritmos SpA, como los análisis del laboratorio metalúrgico de SQM Salar, muestran una alta variabilidad estacional en el CHS de las parcelas ubicadas al oeste, respecto de aquellas ubicadas al este. Esto se considera un resultado esperable, ya que el CHS se vincula con la profundidad a la cual se encuentra el acuífero y dado que hacia el oeste la napa se ubica a profundidades menores, sus cambios a través del año repercutirían en los valores del CHS, haciéndolos más variables entre estaciones.

Figura 5-2. Variación promedio anual del contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar, para el año 2022.



El gráfico muestra el promedio anual y la desviación estándar de las mediciones.

Fuente: elaboración propia

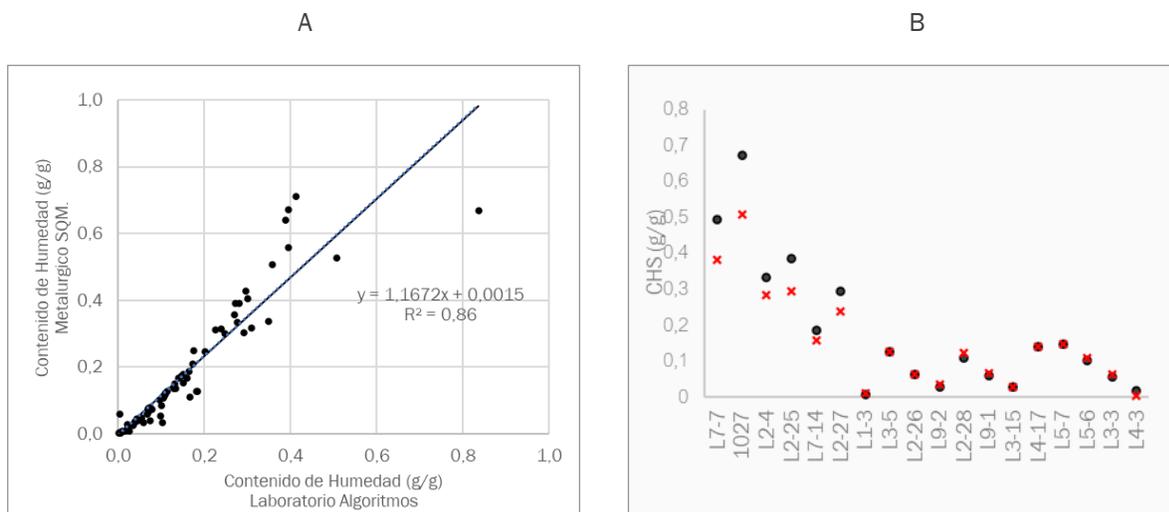
5.1.3 Relación de los valores reportados entre los laboratorios

La Figura 5-3 (A) muestra la relación existente entre los valores de humedad gravimétrica del suelo reportados por los laboratorios de SQM Salar y la ETFA Algoritmos SpA, de tal forma de evaluar la consistencia entre los resultados obtenidos.

De acuerdo con los registros, el laboratorio Algoritmos reportó valores más bajos de contenido de humedad del suelo que el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar en aproximadamente el 50% del total de muestras tomadas durante el año. Esta variación podría relacionarse con el tiempo de transporte de las muestras antes del análisis. En el caso de las muestras analizadas en el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar, el tiempo entre extracción y análisis es menor, ya que éste se ubica en el área industrial de la faena de SQM, por lo que las muestras son recibidas e ingresadas el mismo día de la colecta, a diferencia de las muestras de Algoritmos SpA, que son analizadas en la Región Metropolitana. A pesar de esto, la correlación entre ambos laboratorios es alta ($R^2 = 0,86$) indicando que, a pesar de las diferencias en magnitud, la tendencia es consistente entre ambos.

Se puede verificar en los certificados de laboratorio emitidos por Algoritmos SpA que existe un período de al menos 4 días desde la colecta hasta el ingreso de la muestra para su análisis, período de tiempo que tiene efectos en la pérdida de humedad de la muestra. Las diferencias observadas pueden sobrepasar el 15% en las muestras con mayor contenido de humedad, tal como se observa en la Figura 5-3 (B).

Figura 5-3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrico obtenido por el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar y Laboratorio Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA para el año 2022.



- A) Relación entre el contenido de humedad del suelo entre ambos laboratorios, en el eje X (horizontal) los datos entregados por la ETFA Algoritmos y mediciones ambientales SPA, en Y (vertical) datos proporcionados por el laboratorio de SQM.
- B) En puntos negros datos proporcionados por la ETFA Algoritmos y mediciones ambientales SPA, en X y color rojo datos proporcionados por el laboratorio de SQM.

Fuente: elaboración propia

5.2 Profundidad de la napa

La Tabla 5-3 muestra los resultados de las mediciones de profundidad de la napa en las cuatro campañas de terreno correspondientes al monitoreo del año 2022 según los datos reportados por la ETFA SEGEA Ltda.

Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2022.

Pozos (1) (oeste a este)	Profundidad napa (m) por campaña de monitoreo				Promedio (m)	Desv. est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L7-7	-	-	-	-	-	-
1027	-	-	-	-	-	-
L2-4	0,966	0,958	0,895	0,895	0,929	0,039
L2-25	0,635	0,641	0,623	0,616	0,629	0,011
L7-14	1,565	1,611	1,544	1,499	1,555	0,047
L2-27	1,434	1,784	1,254	0,933	1,351	0,355
L1-3	7,279	7,281	7,256	7,226	7,261	0,026
L3-5 ⁽²⁾	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
L2-26	4,005	4,026	3,995	3,96	3,997	0,028

Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2022.

Pozos (1) (oeste a este)	Profundidad napa (m) por campaña de monitoreo				Promedio (m)	Desv. est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L9-2	4,225	4,266	4,220	4,184	4,224	0,034
L2-28	3,528	3,575	3,403	3,334	3,460	0,111
L9-1	5,807	5,832	5,792	5,767	5,800	0,027
L3-15	3,691	3,705	3,654	3,633	3,671	0,033
L4-17	1,846	1,867	1,814	1,790	1,829	0,034
L5-7	1,915	1,903	1,783	1,758	1,840	0,081
L5-6	2,438	2,421	2,354	2,340	2,388	0,048
L3-3	3,410	3,373	3,270	3,249	3,326	0,078
L4-3	13,493	13,492	13,495	13,495	13,494	0,002

Los pozos fueron medidos por la ETFA SEGEA Ltda.

Empíricamente la profundidad del nivel no puede ser negativa, por lo que el promedio anual para estos casos se establece como cero para los cálculos.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-4, se ilustra la profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2022, en ella se aprecia que el pozo L3-5 tiene el menor valor promedio anual con cero metros en los cuatro periodos monitoreados. En contraposición, la mayor profundidad promedio de la napa se observó en el pozo L4-3, llegando a 13,5 m promedio, seguido por los pozos L1-3 (7,26 m) y L9-1 (5,8 m), lo que es consistente con lo esperado, de acuerdo con la ubicación de los pozos (este-oeste).

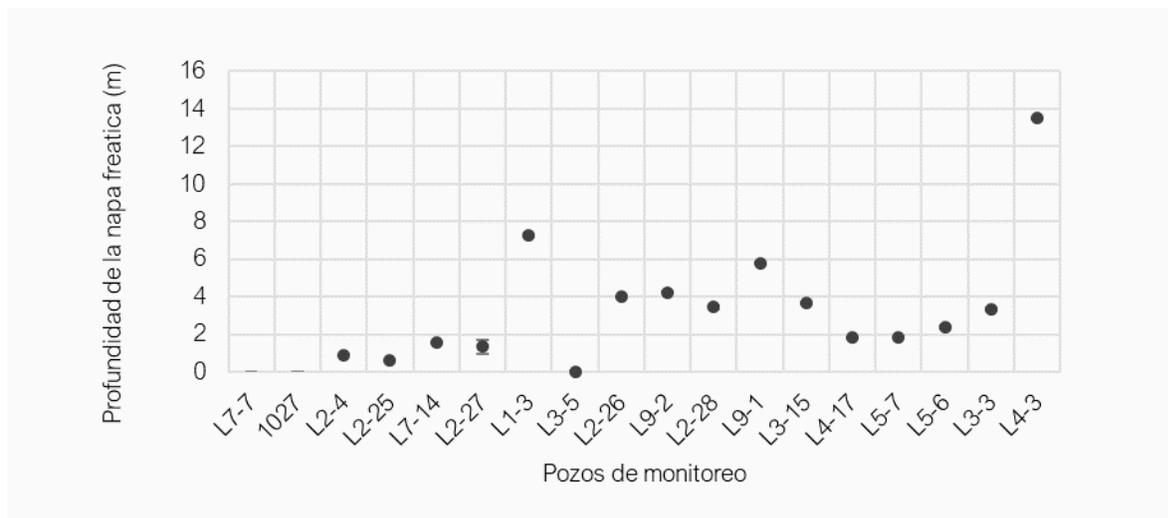
De la Figura 5-4 se extrae también que la variación de este parámetro es bajo alcanzando un promedio de 0,064 m (6,4 cm). La mayor variación de la profundidad de la napa se registró en el punto L2-27, al observarse una desviación estándar de 0,35 m (35 cm). Cabe destacar que, de acuerdo con los análisis realizados en el marco del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico, este pozo ha estado influenciado por la actividad extractiva de los pozos Allana-1 y Camar-27. Pese a lo anterior, no se han evidenciado efectos detrimentales en la vegetación aledaña al pozo L2-27, mostrándose estable⁸.

Por otra parte, la mayor homogeneidad de la profundidad de la napa durante el año se presentó en los pozos L2-25, L1-3 y L4-3, cuyas desviaciones estándar varían entre 0,0015 m y 0,025 m.

⁷ Pozo inoperativo desde 2018 y desmantelado en 2021, en conformidad a lo acordado con la Comunidad Atacameña de Camar.

⁸ Tal como se verifica en el informe "Análisis histórico de la vegetación para el Pozo L2-27 (2021)", reportado a la autoridad en marzo de 2021.

Figura 5-4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2022.



Fuente: elaboración propia

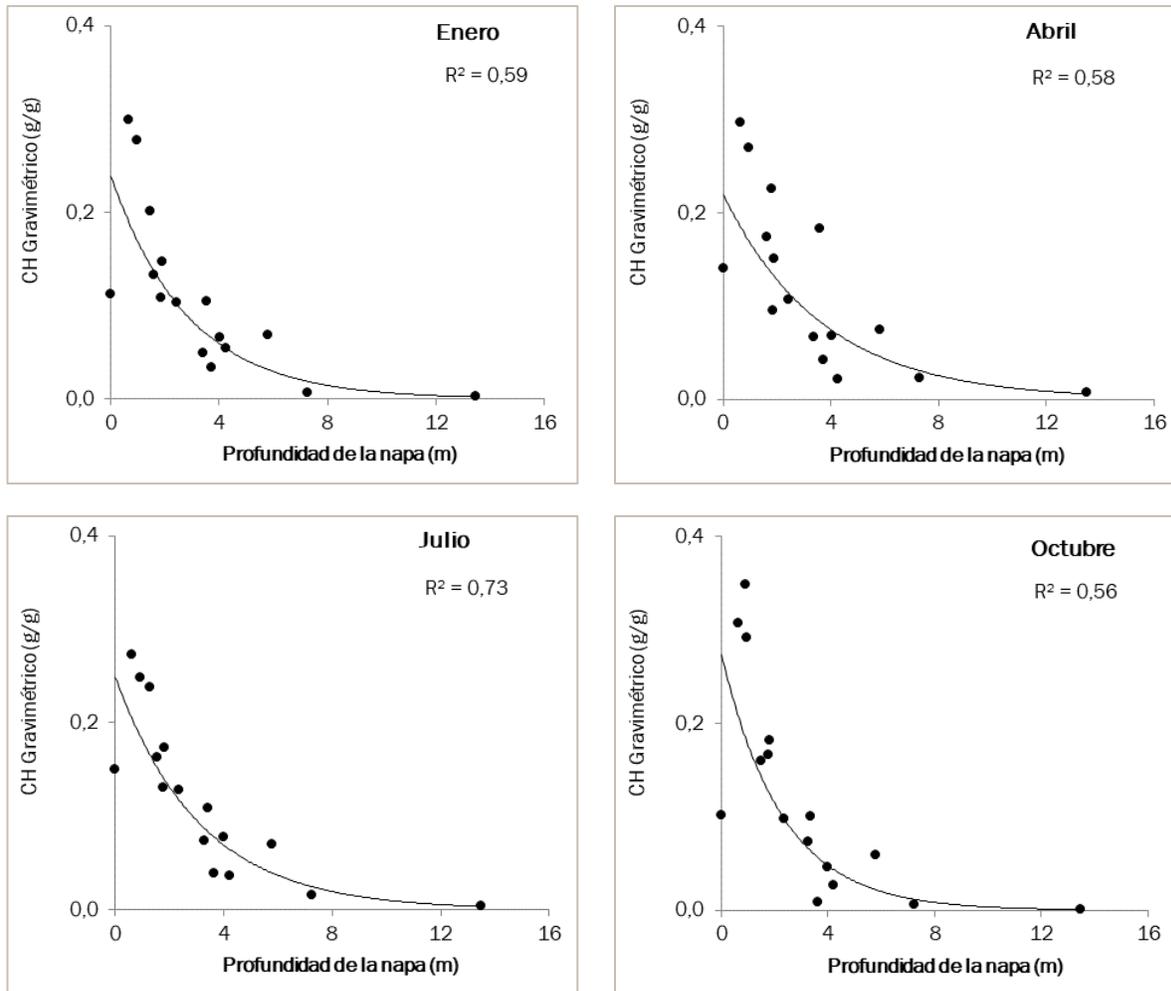
5.3 Relación Contenido de humedad y napa freática

La Figura 5-5 y Figura 5-6, muestran la relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por los laboratorios metalúrgicos de SQM Salar y Algoritmos SpA con la profundidad de la napa en cada campaña de monitoreo del año 2022, respectivamente.

5.3.1 Laboratorio Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA

En los cuatro monitoreos del año 2022, y de acuerdo con lo esperado, se aprecia una relación exponencial inversa entre ambas propiedades, indicando que el contenido de humedad gravimétrico del suelo aumenta cuando la profundidad de la napa disminuye. La relación de ambas mediciones muestra que existe una relación (expresada mediante el coeficiente de determinación R^2) que supera el 50% en todos los monitoreos, observándose una mejor correlación en el mes de julio, seguido de enero y abril, tal como se observa en la Figura 5-5. Estos resultados, responden al comportamiento esperado, donde el Contenido de Humedad del suelo es mayor cuando la napa subterránea se ubica a menor profundidad.

Figura 5-5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2022.

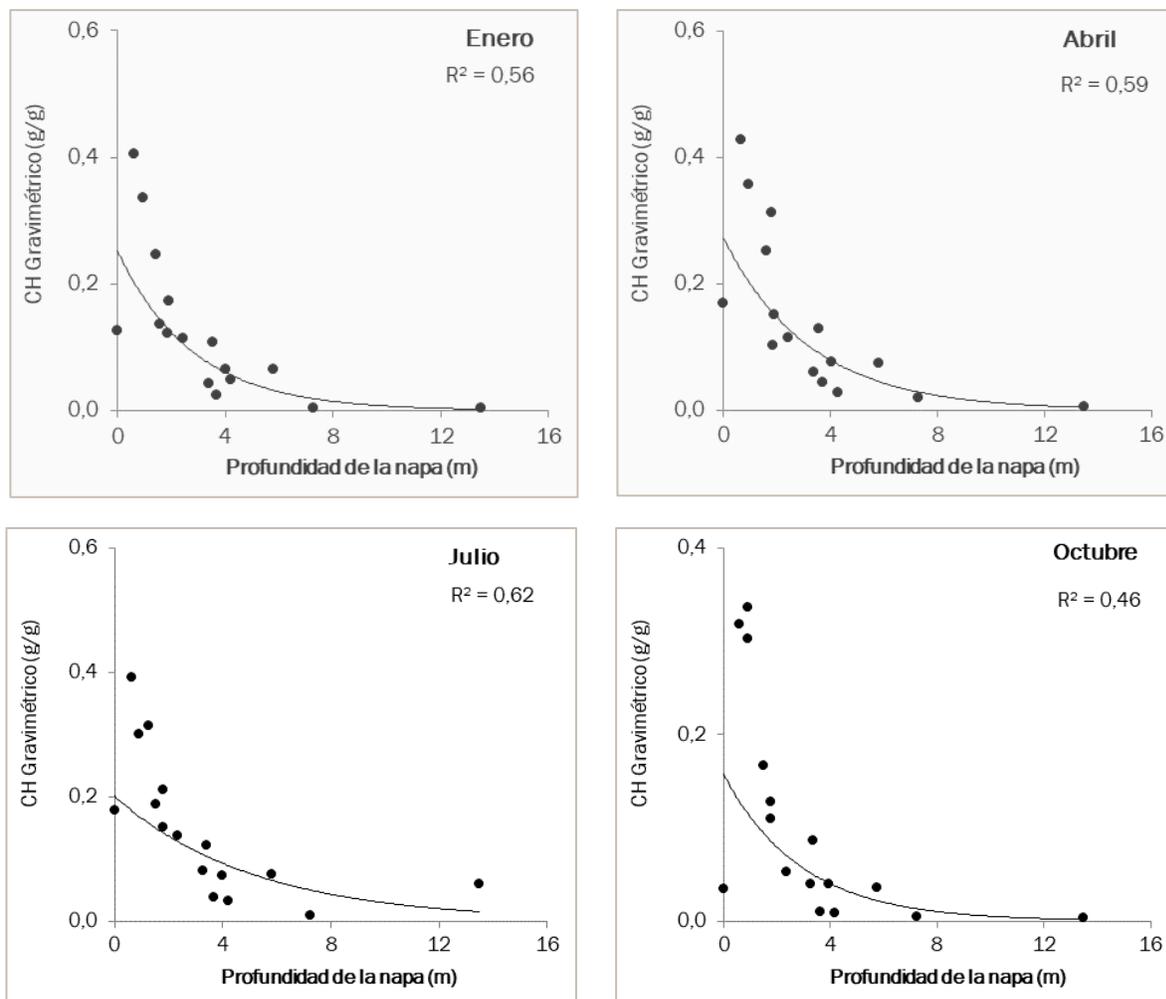


Fuente: elaboración propia

5.3.2 Laboratorio Metalúrgico SQM Salar

Al igual que los datos presentados en la sección anterior, los datos reportados por el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar muestran una relación exponencial inversa entre el CHS y la profundidad de la napa, indicando que, a mayor profundidad de la napa, el contenido de humedad gravimétrico del suelo disminuye. La relación de ambas mediciones muestra que existe una relación (R²) superior al 45% en todas las mediciones.

Figura 5-6. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2022.



Fuente: elaboración propia

5.4 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 5-4). Si bien la RCA N° 226/2006, contempla la realización de dos monitoreos al año, con el fin de aportar más información a los análisis, se monitorea la vegetación de forma trimestral, en paralelo a las mediciones de contenido de humedad del suelo y profundidad de la napa.

Tabla 5-4. Principales especies monitoreadas

Especie	N° de individuos a prospectar
<i>Atriplex atacamensis</i>	10

Tabla 5-4. Principales especies monitoreadas

Especie	N° de individuos a prospectar
<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 a monitorear no son fijos en el tiempo, por lo que año a año se debe evaluar la totalidad de ejemplares herbáceos presentes en cada parcela. A pesar de esto, los individuos registrados históricamente de *Distichlis spicata* varían entre 5 a 6 ejemplares y los individuos de *Nitrophila atacamensis* entre 1 a 2 ejemplares.

Fuente: Elaboración Propia

Cabe recordar que, producto del aluvión ocurrido en febrero del 2019, 26 plantas asociadas a las parcelas L3-15, L3-3 y L3-5 sufrieron daño y pérdida de sus placas de identificación⁹, razón por la cual, en abril del año 2020 fueron re-etiquetadas 25 plantas y en noviembre del mismo año, se re-etiquetó el individuo restante.

5.4.1 Fenología

El estado fenológico de los ejemplares por campaña de monitoreo se resume en la Tabla 5-5. Los detalles de cada punto de monitoreo se encuentran en el Anexo 1 Estado vital de la vegetación.

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

Categoría	Número de Individuos por clase de fenología				Proporción en % del número de individuos por clase de fenología			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
Senescente	71	72	74	89	50,4%	51,1%	52,5%	63,1%
Crecimiento vegetativo	52	67	67	49	36,9%	47,5%	47,5%	34,8%
Floración	18	2	0	3	12,8%	0,0%	0,0%	2,1%
Fructificación	0	0	0	0	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%
Total	141	141	141	141	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: elaboración propia

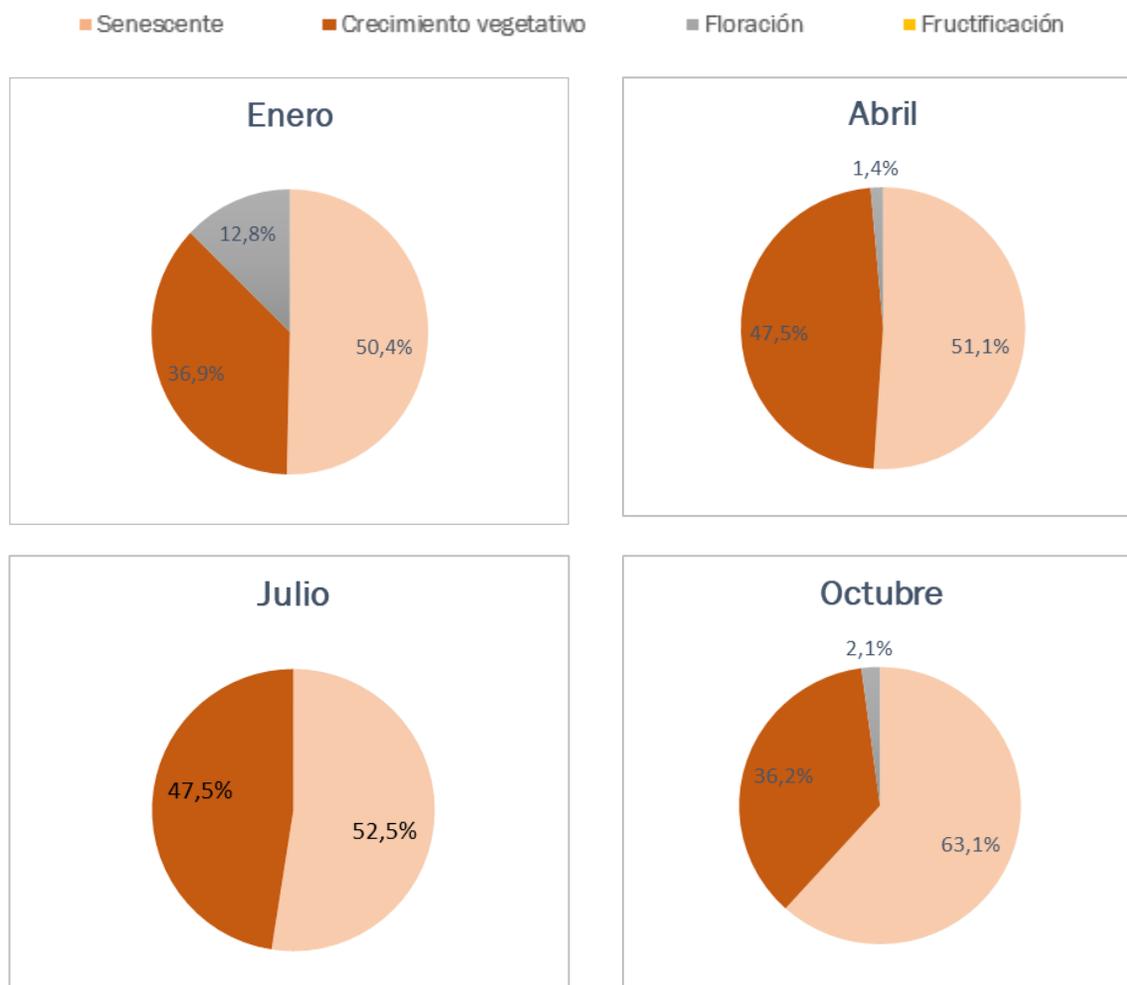
Tal como se observa en la Tabla 5-5 y Figura 5-7, en todos los meses de monitoreo la mayor parte de las plantas objeto de seguimiento se han registrado en la categoría fenológica de senescencia, siendo el mes de máxima expresión octubre con un 63,1% de los ejemplares monitoreados en esta categoría.

⁹ Aviso a la SMA mediante carta GMLP 56_2019, reportado en el SSA código 4549.

Con relación a los ejemplares bajo la categoría de crecimiento vegetativo, se observa que la mayor porción se presenta en los meses de abril y julio, donde un 47,5% respectivamente presentó esta fase fenológica. El mes de octubre fue donde se registró el menor número de individuos en esta categoría (34,8%).

En el mes de enero fue donde se presentó la mayor proporción de ejemplares con floración (12,8% del total de individuos), fase fenológica que se presentó totalmente ausente en los meses de abril y julio y sólo presentó un 2,1% en el mes octubre.

Figura 5-7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas 2022



Fuente: elaboración propia

5.4.1.1 Fenología según especie

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 en enero (verano); abril (otoño), julio: (invierno) y octubre (primavera).

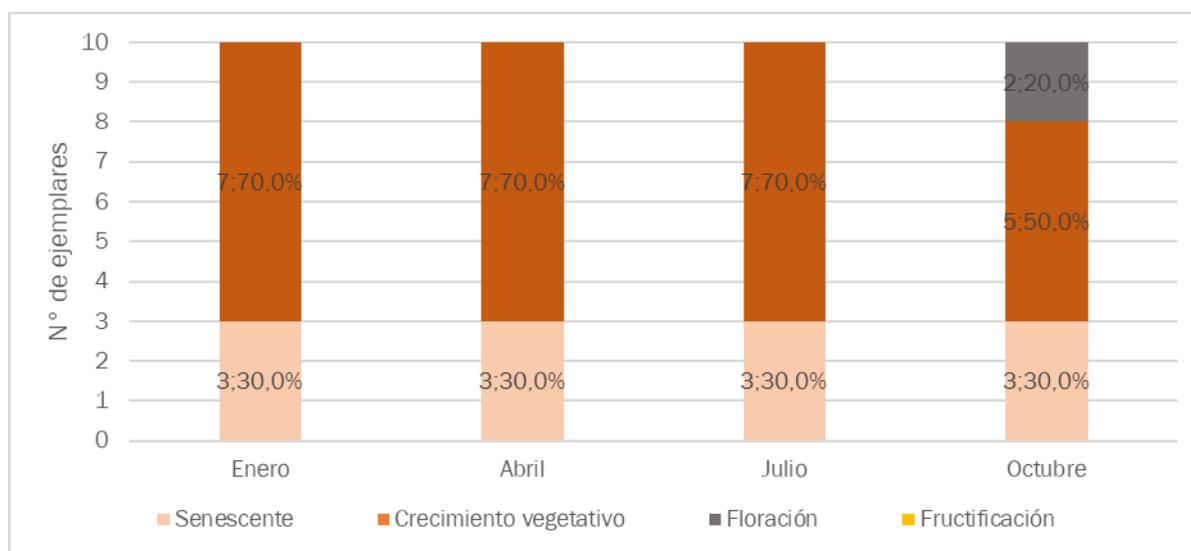
- ***Atriplex atacamensis***

En la Figura 5-8 se ilustra la evolución de la fenología de los 10 individuos de *Atriplex atacamensis* pertenecientes a este monitoreo. Se aprecia que, durante las prospecciones de enero, abril y julio, 7 individuos (equivalentes al 70% del total monitoreado) presentaron la etapa fenológica de crecimiento vegetativo, donde se encontraron plantas con desarrollo de hojas, ramas y brotes, mientras que el resto (3 ejemplares) se caracterizaron por poseer la etapa de senescencia.

Hacia la primavera (monitoreo de octubre), se observaron signos de floración en dos individuos (20% del total), así como crecimiento vegetativo en 5 ejemplares. Además, tres individuos se registraron en etapa de senescencia (30% del total).

No se registraron ejemplares con frutos.

Figura 5-8. Fenología de los individuos de *Atriplex atacamensis* monitoreados en las campañas 2022



Fuente: elaboración propia

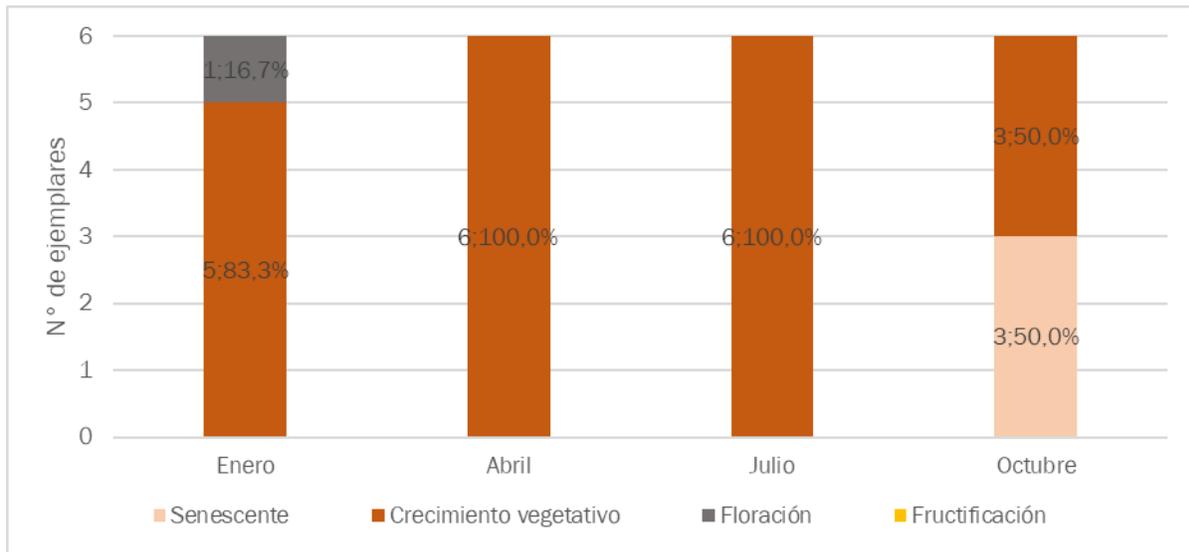
- ***Distichlis spicata***

Tal como se observa en la Figura 5-9 en el mes de enero, correspondiente a la prospección de verano, se observa la predominancia de los individuos con crecimiento vegetativo (83% del total), registrándose también, un ejemplar con floración.

En el mes de abril y julio, el total de los individuos se encontraron en etapa de crecimiento vegetativo (100% del total).

En el mes de octubre, tres individuos fueron encontrados en etapa de senescencia (50% del total), y tres individuos fueron encontrados en etapa de crecimiento vegetativo (83% del total).

Figura 5-9. Fenología de los individuos de *Distichlis spicata* monitoreados en las campañas 2022

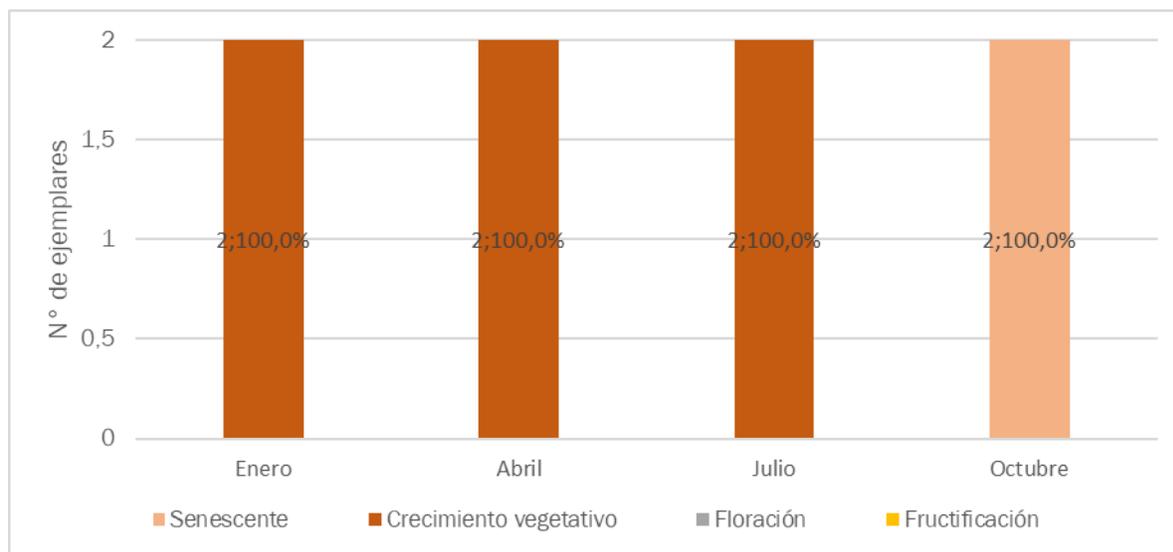


Fuente: elaboración propia

- ***Nitrophila atacamensis***

Los datos del mes de enero, abril, julio y octubre dan cuenta de dos ejemplares, los que corresponden a la totalidad de individuos evaluados históricamente, de estos, en los meses de enero, abril y julio, todos se encontraron en crecimiento vegetativo (Figura 5-10) y solo durante el mes de octubre, presentaron la categoría de senescencia.

La evolución anual de la fenología de esta especie es descrita con mayor detalle en la sección 6 del presente informe, donde se ilustran también los datos históricos por época de monitoreo.

Figura 5-10. Fenología de los individuos de *Nitrophila atacamensis* monitoreados en las campañas 2022

Fuente: elaboración propia

- ***Tessaria absinthioides***

Las prospecciones de fenología de *Tessaria absinthioides* (Figura 5-11) dan cuenta que, del total de ejemplares prospectados en el mes de enero, 68 individuos correspondientes al 55% del total, presentó la etapa fenológica Senescente, mientras que 38 presentaron crecimiento vegetativo (31% del total), y 17 presentaron floración (14% del total).

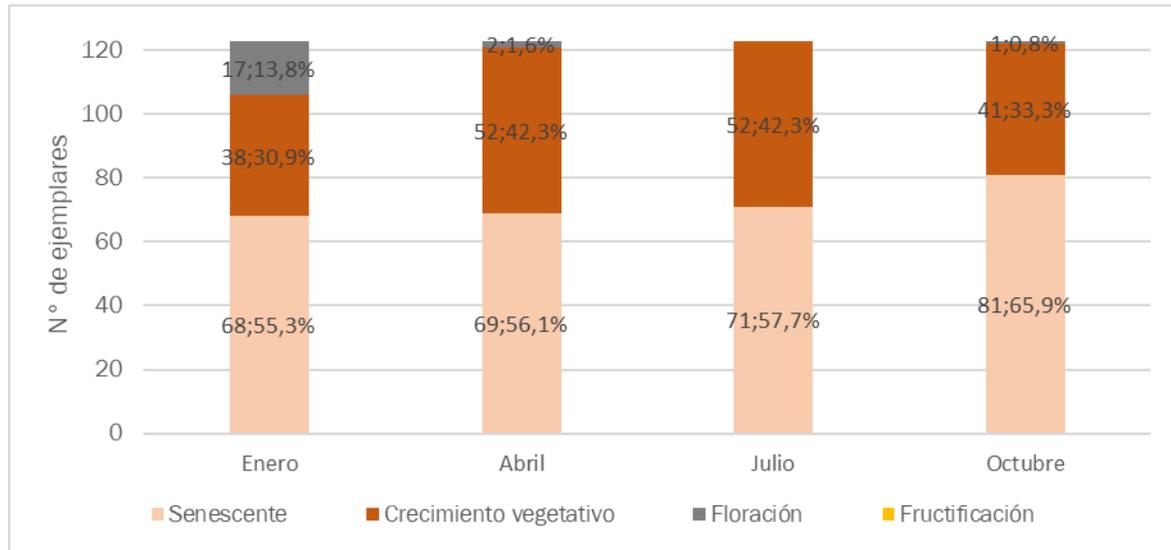
En el mes de abril, correspondiente a la estación de otoño, época de finalización del período de máxima expresión de la vegetación y comienzo de la fase recesiva de las plantas, se registraron 69 ejemplares senescentes (56% del total), mientras que 52 individuos presentaron crecimiento vegetativo (42% del total) y solo en 2 ejemplares se observó floración.

En el mes de julio, período invernal y plena fase recesiva de la vegetación, 71 individuos (58% del total) se catalogaron como senescentes, y 52 individuos (42% del total) se catalogaron en crecimiento vegetativo. No se registraron individuos en floración y/o fructificación.

En el monitoreo de octubre, correspondiente a la estación de primavera, se constataron 81 individuos en senescencia (65,9% del total) y 41 con crecimiento vegetativo (33,3% del total). Además, se registró un individuo en floración (0,8% del total).

Cabe mencionar que al tratarse de un monitoreo que evalúa ejemplares fijos es el tiempo, parte de los ejemplares de *T. absinthioides* catalogados como senescentes en todas las épocas de prospección, responderían a plantas que ya cumplieron su ciclo vital.

Figura 5-11. Fenología de los individuos de *Tessaria absinthioides* monitoreados en las campañas de 2022



Fuente: elaboración propia

5.4.2 Porcentaje de copa viva

A continuación, se presentan los resultados del monitoreo al porcentaje de copa viva, correspondiente a la proporción de la biomasa aérea vegetal que presenta follaje con capacidad fotosintética (verde), de acuerdo con lo señalado en la RCA N° 226/2006.

Los detalles de cada punto de monitoreo se encuentran en el Anexo 1 Estado vital de la vegetación. La Tabla 5-6 y Figura 5-12 resumen e ilustran la proporción de individuos en cada categoría de copa viva.

Tabla 5-6. Número y proporción de individuos por clase de copa viva

Clase de copa viva	Número de individuos por clase de copa viva				Proporción en % del número de individuos por clase de copa viva			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
0%	70	72	74	88	49,6%	51,1%	52,5%	62,4%
<5%	7	3	20	38	5,0%	2,1%	14,2%	27,0%
5-25%	1	4	15	1	0,7%	2,8%	10,6%	0,7%
25-50%	15	14	22	7	10,6%	9,9%	15,6%	5,0%
50-75%	19	24	5	3	13,5 %	17,0%	3,5%	2,1%
75-100%	29	24	5	4	20,1%	17,0%	3,5%	2,8%
Total	141	141	141	141	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: elaboración propia

Tal como se observó en la sección anterior, las fases fenológicas de las plantas evaluadas siguen un régimen estacional, donde la etapa de máximo crecimiento o expresión de la vegetación se da entre los meses de primavera y verano, época donde es posible visualizar el desarrollo vegetativo del follaje verde, además de estructuras reproductivas como flores y frutos. Mientras que, la etapa de receso vegetativo, donde las plantas disminuyen su follaje, se ve acentuada en los meses de otoño e invierno. A continuación, se presentan los principales resultados sobre la porción de follaje verde¹⁰ de los individuos evaluados:

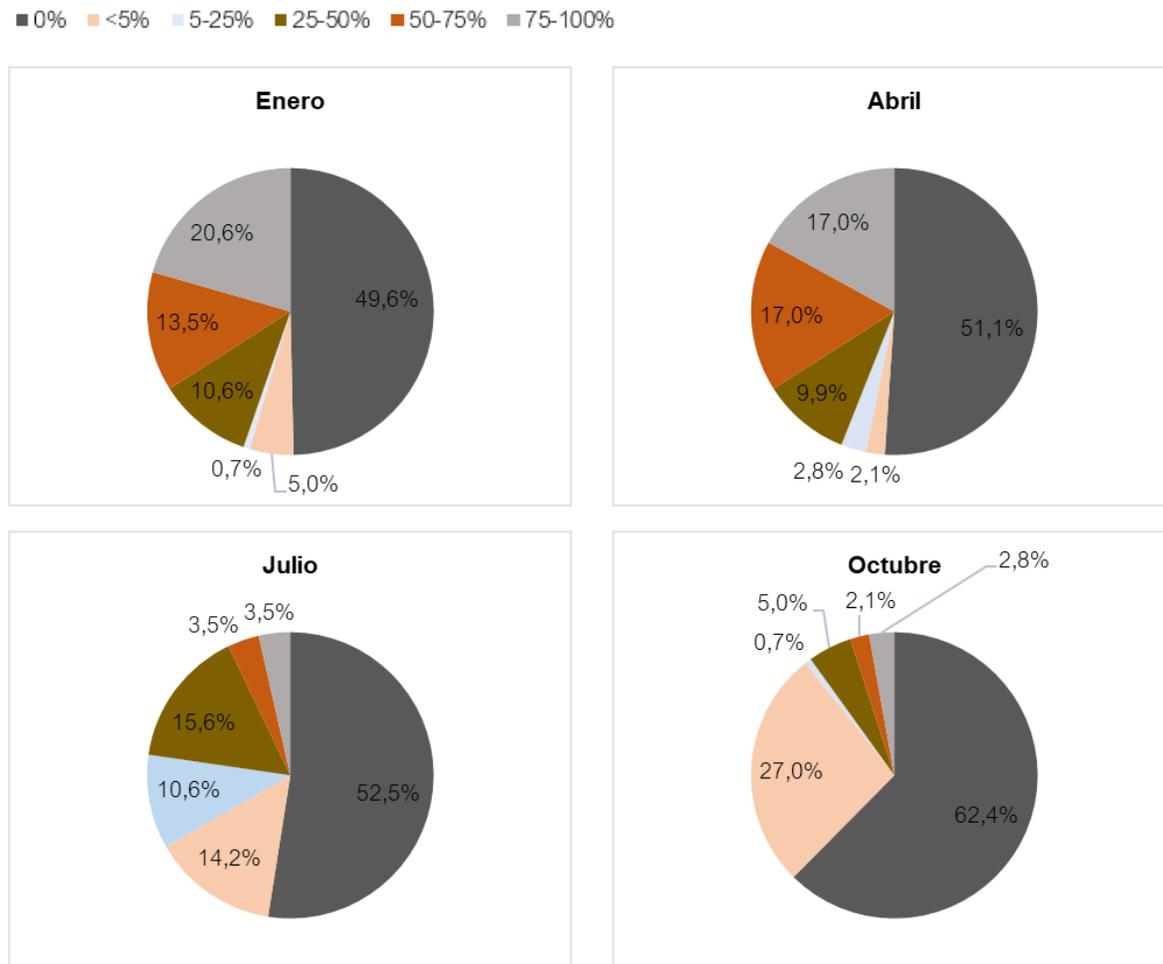
- En enero el 49,6% de los individuos no presentaron copa viva, es decir, la biomasa aérea vegetal no presentó follaje con capacidad fotosintética. De los ejemplares restantes, el 20,6% alcanzó la categoría 75-100%. Mientras que un 13,5% alcanzó la categoría 50-75%, un 10,6% presentó copa viva entre 25-50%, un 5,0% alcanzó la <5% de copa viva y finalmente un 0,7% se identificó con una porción de follaje entre 5-25% (Figura 5-12).
- En el mes de abril los individuos sin copa viva (0%) permanecen relativamente estables respecto al período anterior alcanzando el 51,1%. Por otra parte, los individuos con follaje verde menor al 5% registrados en el período anterior este mes mostraron una disminución de su copa (alcanzando el 2,1% del total). Mientras que, un 2,8% de los individuos se identificó en la

¹⁰ Porcentaje de copa viva según la RCA N°226/2006.

categoría con copa viva de 5-25%, un 9,9% en la categoría de copa viva 25-50%, un 17,0% en la categoría 50-75% e igualmente un 17,0% alcanzó la categoría 75-100%.

- En julio la porción de individuos sin follaje (0%) se mantiene estable respecto al mes anterior con el 52,5% de la muestra. Mientras que aumenta la porción de individuos con follaje <5%, 5-25% y 25-50% (14,2%, 10,6% y 15,6% respectivamente) y disminuyen aquellos con follaje entre 50-75% y 75-100% (3,5% del total cada uno).
- En el mes de octubre, la porción de individuos con copa 0% o sin follaje fotosintéticamente activo y con follaje <5% aumentan considerablemente, llegando al 62,4% y 27% respectivamente. Del resto de individuos un 0,7% registró copa viva entre 5-25%, un 5,0% registró copa viva entre 25-50%, un 2,1% presentó copa viva entre 50-75% y finalmente un 2,8% presentó copa viva entre 75-100%.

Figura 5-12. Porcentaje de copa viva de los individuos monitoreados en 2022



Fuente: elaboración propia

5.4.2.1 Porcentaje de copa viva según especie

A continuación, se analiza la evolución del porcentaje de copa viva, equivalente al follaje fotosintéticamente activo, en forma diferenciada para los individuos de *Atriplex atacamensis*, *Distichlis spicata*, *Nitrophila atacamensis* y *Tessaria absinthioides* monitoreados en enero (verano); abril (otoño), julio: (invierno) y octubre (primavera).

- ***Atriplex atacamensis***

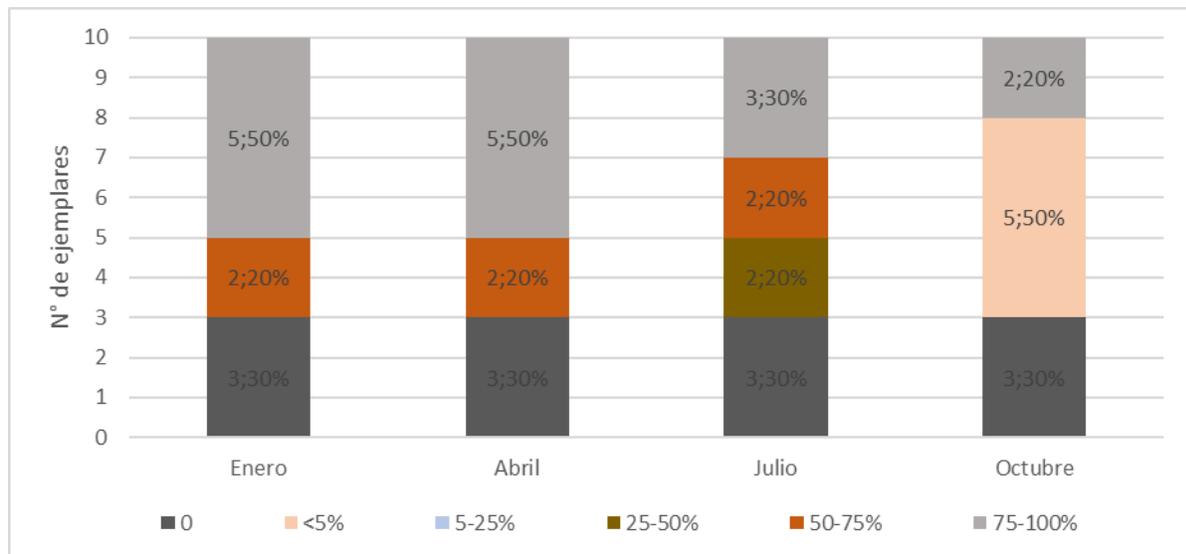
La Figura 5-13 ilustra la evolución del follaje verde de los individuos de *Atriplex atacamensis* en los meses de enero, abril, julio y octubre.

En el mes de enero y abril, cinco ejemplares equivalentes 50% del total tuvieron follaje verde en la categoría 75-100%, mientras que dos presentaron follaje entre 50-75% (20% del total). Además, tres individuos se catalogaron sin copa verde (30% del total), considerando su fenología en categoría de senescentes. Lo que concuerda con los análisis fenológicos que describen a estas plantas principalmente con floración y crecimiento vegetativo en esta época.

En el monitoreo de invierno (realizado en el mes de julio), se mantiene la cantidad de ejemplares sin follaje verde (3 individuos equivalentes al 30% del total), mientras que dos se observaron con follaje entre 25-50% (20% del total), dos ejemplares se observaron con follaje entre 50-75% (20% del total) y tres ejemplares se encontraron con follaje entre 75-100% (30% del total).

En el monitoreo realizado en el mes de octubre, los ejemplares sin follaje se mantienen en tres individuos, mientras que cinco (50% del total) se observaron con copa menor a <5% y sólo dos individuos (30% del total) se observaron con follaje entre 75-100%.

Figura 5-13. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Atriplex atacamensis* monitoreados en las campañas 2022



Fuente: elaboración propia

- *Distichlis spicata*

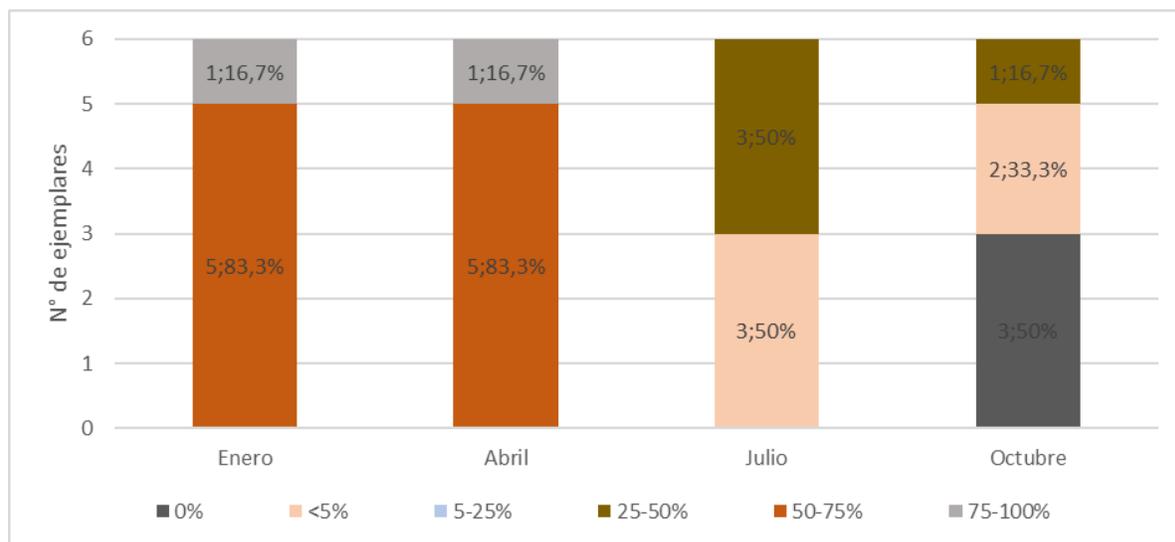
La Figura 5-14, muestra la evolución del porcentaje de copa viva (equivalente al follaje verde) de *Distichlis spicata* en los cuatro meses de monitoreo.

Se observa en la Figura 5-14 que, en la campaña de enero y abril, los individuos poseen follaje superior al 50%, predominando la categoría 50-75% donde se ubicaron cinco individuos (83,3% del total), seguido de la categoría 75-100% donde se registró un individuo (16,7% del total). Esto concuerda con la fase fenológica que se observó en ambos periodos, encontrándose mayoritariamente ejemplares en etapa de crecimiento vegetativo.

En la prospección de invierno (realizada en el mes de julio), la proporción de follaje fotosintéticamente activo disminuye, registrándose tres ejemplares con follaje inferior al 5%, y tres ejemplares con copa 25- 50%. Si bien el follaje disminuye en invierno, esto no compromete la reproducción de la especie, ya que, en esta época, los individuos prospectados se manifestaron principalmente en crecimiento vegetativo.

En la prospección de primavera (monitoreo de octubre), se observaron tres ejemplares sin follaje (50% del total), mientras que el 33,3% presentó follaje inferior al 5%, y sólo un individuo (16,7% del total) presentó follaje entre 25-50%.

Figura 5-14. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Distichlis spicata* monitoreados en las campañas de 2022



Fuente: elaboración propia

- *Nitrophila atacamensis*

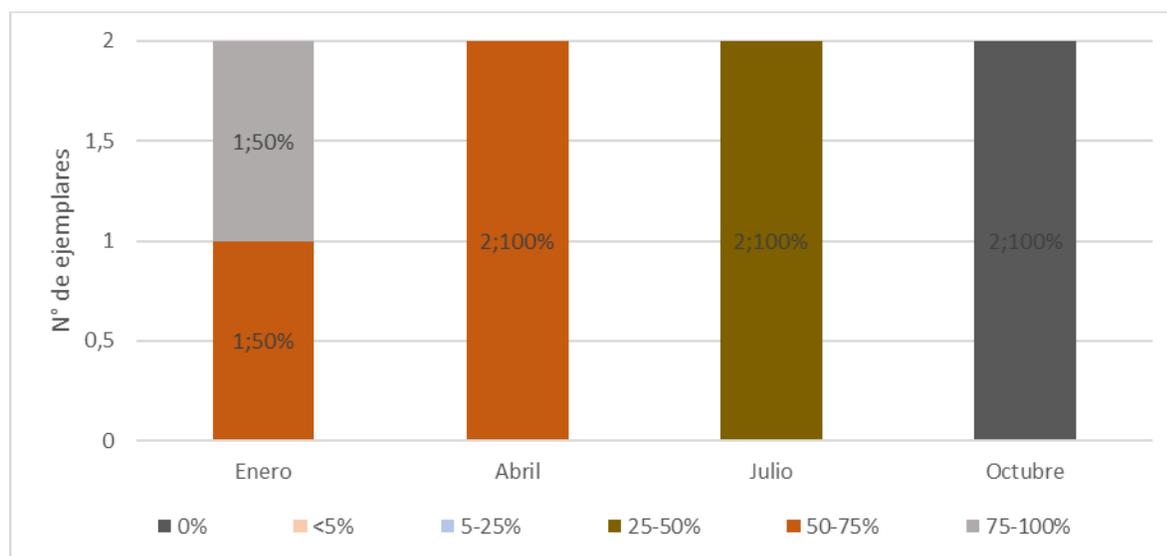
La Figura 5-15 muestra la evolución del porcentaje de copa viva (equivalente al follaje verde) de los 2 ejemplares de *Nitrophila atacamensis* monitoreados en las épocas de interés.

Los datos de monitoreo del mes de enero indican que los individuos de *N. atacamensis* presentan gran parte de su follaje verde, ya que se registró un individuo con follaje entre 50-75% y otro con follaje entre 75-100%.

Se observa también que en los meses siguientes el follaje comienza a disminuir de acuerdo a la estacionalidad y el carácter anual de la especie, observándose en abril ambos ejemplares con follaje 50-75%, en julio con follaje 25-50% y en octubre sin follaje (0%).

La expresión del follaje durante los cuatro meses de monitoreo se condice con los análisis fenológicos de la especie, que sitúan a estos individuos con crecimiento vegetativo en todos los monitoreos excepto en el mes de octubre, donde los dos ejemplares se observaron en condiciones de senescencia (Figura 5-15).

Figura 5-15. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Nitrophila atacamensis* monitoreados en las campañas 2022



Fuente: elaboración propia

- ***Tessaria absinthioides***

Esta especie corresponde a aquella con mayor cantidad de individuos evaluados en este monitoreo, donde anualmente se prospeccionan 123 ejemplares, los que fueron etiquetados en la primera campaña de monitoreo (año 2006).

Las prospecciones de copa viva de *Tessaria absinthioides* muestran que en el mes de enero predominan individuos sin presencia de follaje llegando a 67 (54,5% del total). Se registraron 7 individuos con follaje menor al 5% (5,7% del total), un ejemplar con follaje 5-25% (0,8% del total) y 15 con follaje entre 25-50% (12,2% del total). Los individuos con follaje verde entre 50-75% fueron 11 (8,9% del total) y aquellos con más del 75% de follaje llegaron a 22 (17,9% del total). Estos resultados son afines al análisis fenológico de esta especie, ya que los individuos sin follaje o follaje menor al 5% se catalogaron como senescentes (incluyendo a individuos con caída de follaje). Mientras que parte de los individuos con follaje mayor a 25% poseen categorías fenológicas de crecimiento vegetativo, y en menor medida a floración.

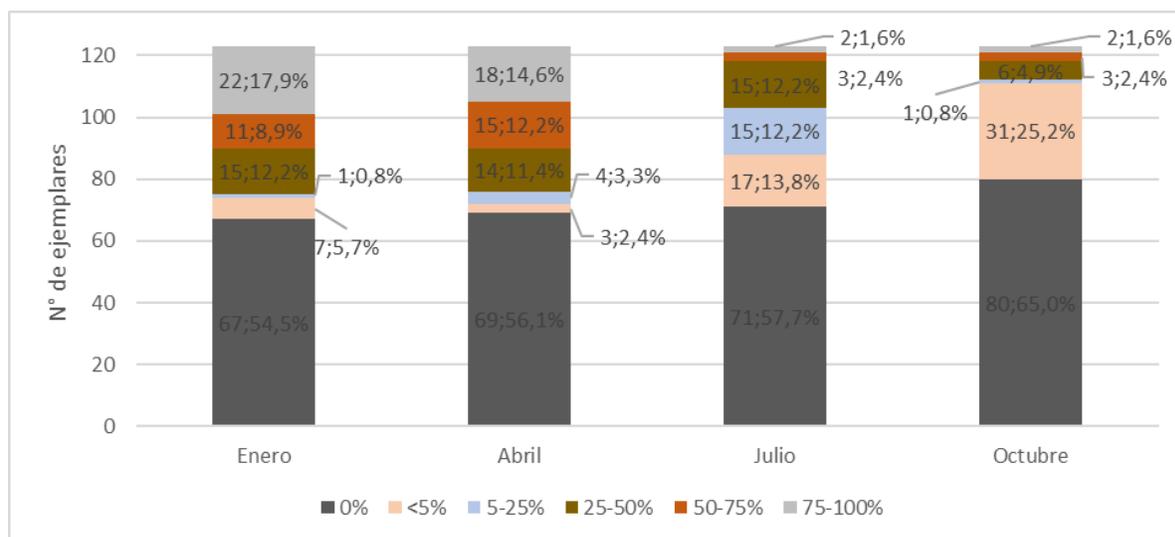
En el monitoreo de abril, correspondiente al término del periodo de máxima expresión de la vegetación y comienzo de la fase recesiva de las plantas, 69 individuos (56,1% del total) se registraron sin follaje

fotosintéticamente activo, mientras que 3 ejemplares presentaron follaje <5% (2,4% del total) y 4 (3,3% del total) se registraron con follaje entre 5-25%. Por otro lado, 47 individuos presentaron follaje verde por sobre el 25%, de estos, 14 se presentaron en la categoría 25-50% (11,4% del total), 15 en la categoría 50-75% (12,2% del total) y 18 en la categoría 75-100% (14,6% del total).

En el mes de julio, período invernal y plena fase recesiva de la vegetación predominaron los ejemplares sin follaje y con follaje menor a 5%, con 71 y 17 individuos cada uno (57,7% y 13,8% del total respectivamente). En menor proporción se registraron ejemplares con follaje entre 5-25% (15 individuos, 12,2% del total), 25-50% (3 individuos, 2,4% del total) y 75-100% (3 individuos, 1,6% del total). Estos resultados concuerdan con los datos fenológicos presentados en la sección anterior donde en su mayoría los ejemplares sin follaje se encontraron en etapa de senescencia y los individuos con mayor porcentaje de follaje presentaron crecimiento vegetativo.

En el mes de octubre, comenzando la primavera, predominaron los ejemplares sin follaje llegando a 80 individuos equivalentes al 65% del total. Se registraron 31 ejemplares (25,2% del total) en la categoría menor a 5%, un individuo en la categoría 5-25% (0,8% del total), 6 individuos en la categoría 25-50% (4,9% del total), 3 individuos (2,4% del total) en la categoría 50-75% y 2 individuos (1,6% del total) en la categoría 75-100%.

Figura 5-16. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Tessaria absinthioides* monitoreados en las campañas de 2022



Fuente: elaboración propia

5.4.3 Vitalidad

Los resultados del monitoreo de vitalidad de los individuos se presentan a continuación en la Tabla 5-7 y Figura 5-17. Los detalles de cada punto monitoreado se muestran en el Anexo 1 Estado vital de la vegetación.

Tabla 5-7. Resumen de individuos por categoría de vitalidad

Categoría	Número de Individuos por categoría de vitalidad				Proporción en % del número de individuos por categoría de vitalidad			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
Seco	71	72	74	89	50,4%	51,1%	52,5%	63,1%
Muy débil	19	20	52	43	13,5%	14,2%	36,9%	30,5%
Débil	9	11	11	6	6,4%	7,8%	7,8%	4,3%
Crecimiento normal	42	38	4	3	29,8%	27,0%	2,8%	2,1%
Excepcionalmente vigoroso	0	0	0	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total	141	141	141	141	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

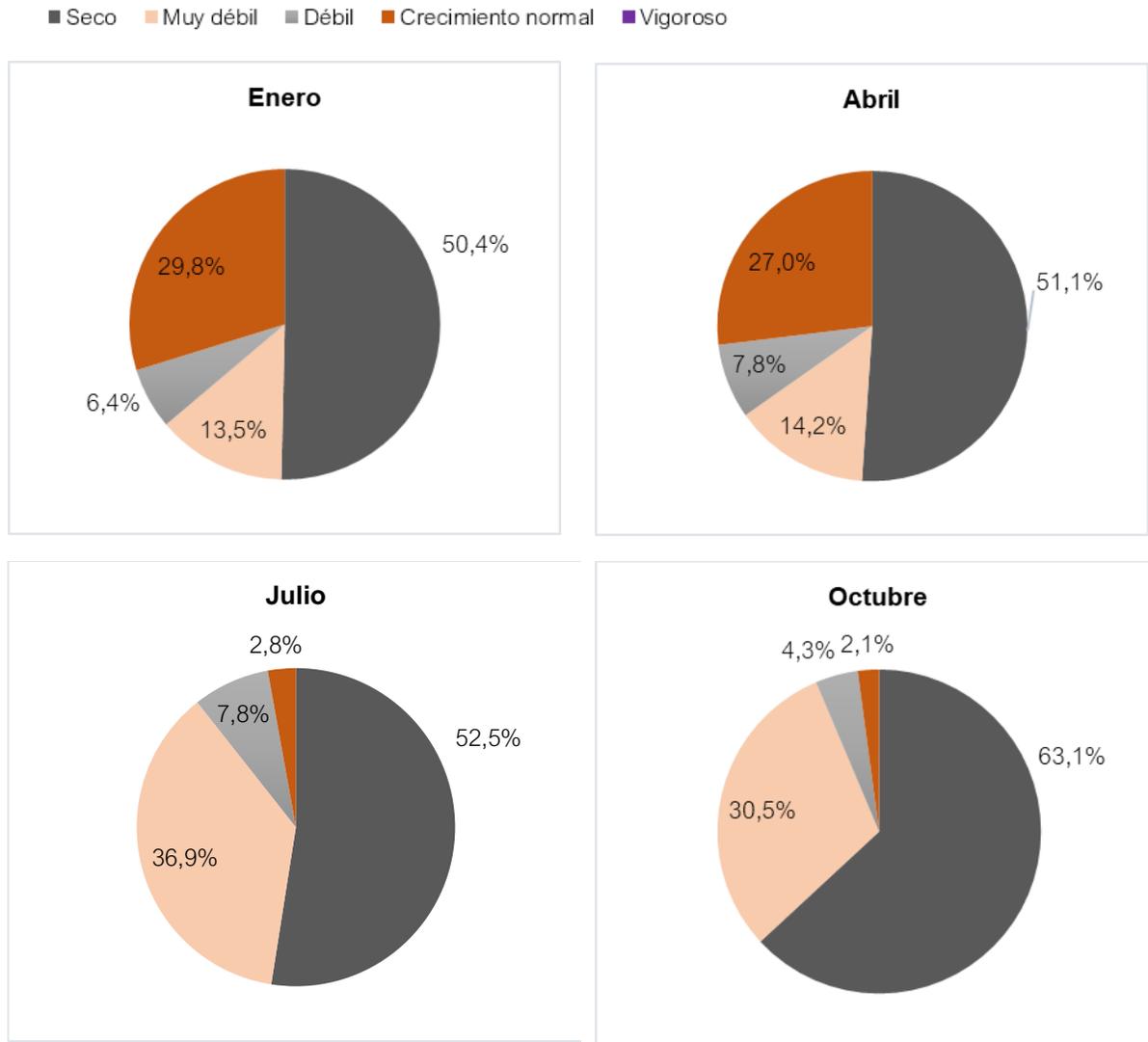
Fuente: elaboración propia

Considerando que las fases fenológicas de la mayoría de las plantas evaluadas siguen un régimen estacional donde hacia la primavera y el verano se presentan en su etapa de máximo crecimiento tanto vegetativo y reproductivo (desarrollo de flores y frutos), y que, hacia el otoño, comienza la fase recesiva de crecimiento vegetal, la cual se acentúa en invierno, a continuación, se presentan los principales resultados sobre la vitalidad de los individuos evaluados:

- En el mes de enero predomina la categoría de vitalidad seco (50,4% del total), mientras que los individuos en categoría de crecimiento normal poseen un porcentaje de ocupación correspondiente al 29,08% del total. Por otro lado, en el 13,5% de los individuos se observó en la categoría muy débil, mientras que el 6,4% presentó categoría débil.
- En el mes de abril, los porcentajes de individuos en cada categoría de vitalidad se presentan similares a los datos obtenidos en enero. En resumen, se observa un 51,1% de individuos secos, 14,2% muy débiles y 7,8% de ejemplares débiles. Además, un 27,0% de ejemplares se observó en etapa de crecimiento normal.
- En el monitoreo correspondiente al mes de julio, el 52,5% de los individuos se observaron secos, el 36,9% muy débiles y el 7,8% se catalogaron como débiles. Los individuos con crecimiento normal disminuyeron considerablemente respecto a los meses anteriores, llegando al 2,8%.
- En el mes octubre, los individuos secos alcanzan su máximo, con 63,1% del total y disminuyen los individuos muy débiles y débiles (30,5% y 4,3% respectivamente). Se observaron solo 3 individuos en etapa de crecimiento normal (2,1% del total).
- En ninguna época del año se observaron individuos en la categoría Excepcionalmente vigoroso.

Los resultados antes expuestos tienen estrecha relación con la época de monitoreo de las plantas y por ende a sus procesos fenológicos. Así, el aumento de ejemplares secos en octubre se explica en gran medida por la senescencia de algunos individuos en esa época, los que incluso pueden llevar a perder la totalidad de su follaje.

Figura 5-17. Vitalidad de los individuos monitoreados en las campañas de 2022



Fuente: elaboración propia

5.4.3.1 Vitalidad según especies

Los análisis siguientes responden a la evolución de la vitalidad, en forma diferenciada para los individuos de *Atriplex atacamensis*, *Distichlis spicata*, *Nitrophila atacamensis* y *Tessaria absinthioides* monitoreados en cuatro meses del año 2022, de acuerdo con las estaciones del año que representan (enero: verano; abril: otoño; julio: invierno y octubre: primavera).

- ***Atriplex atacamensis***

La Figura 5-18 muestra la evolución de la vitalidad de los individuos de *Atriplex atacamensis* en los meses de enero, abril, julio y octubre. Se aprecia que en el mes de enero tres individuos (30% del total) se catalogaron como secos, mientras que siete (70% del total) presentaron algún grado de vitalidad, estos se

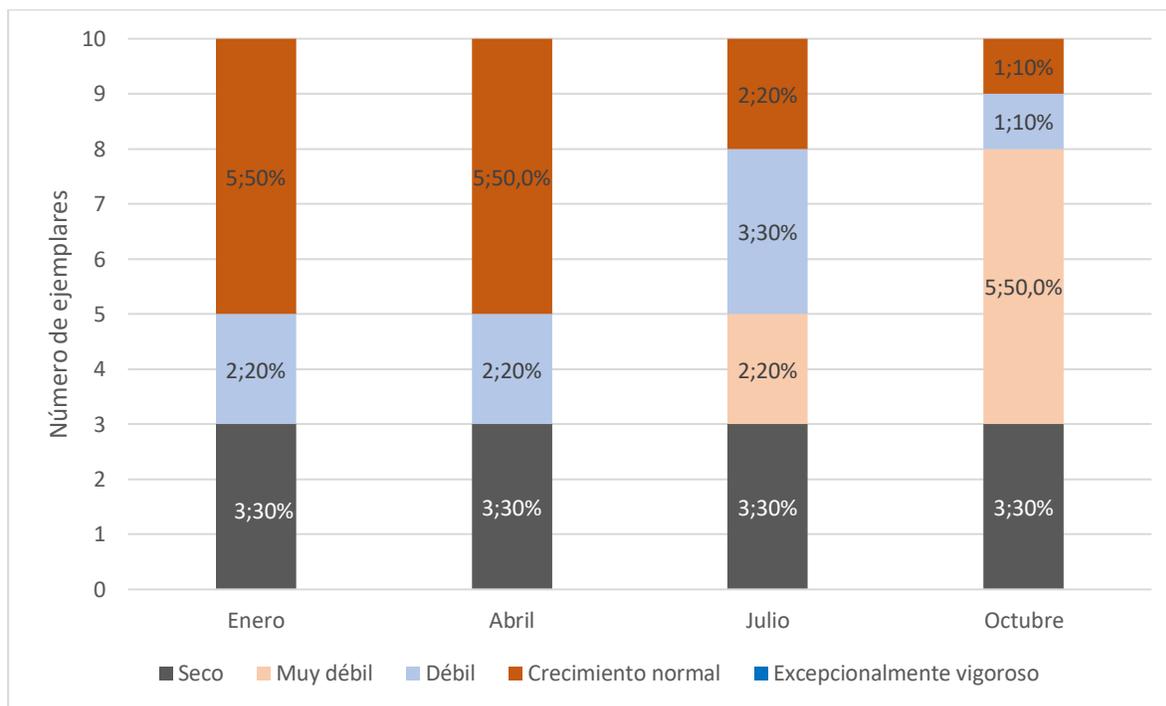
distribuyeron de la siguiente forma: dos ejemplares se registraron como débiles y cinco con crecimiento normal (20% y 50% respectivamente).

En el monitoreo correspondiente al mes de abril, se mantienen los tres ejemplares reportados como secos y predominan los individuos con crecimiento normal (llegando a 5 ejemplares; 50% del total), mientras que los individuos débiles se mantienen en 2 (20% del total).

Durante el monitoreo del mes de julio, los ejemplares secos continúan siendo tres (30% del total), mientras que dos se catalogaron como muy débiles (20% del total), 3 como débiles (30% del total) y 2 con crecimiento normal (20% del total).

En el monitoreo correspondiente al mes de octubre, no se observan cambios en la vitalidad de los individuos secos (manteniéndose en tres ejemplares). Por otra parte, se observó un ejemplar en la categoría débil, y solo 1 ejemplar con crecimiento normal, mientras que 5 ejemplares (60% del total) se catalogaron como muy débiles. No se registraron ejemplares excepcionalmente vigorosos.

Figura 5-18. Vitalidad de los individuos de *Atriplex atacamensis* monitoreados en la campaña 2022



Fuente: elaboración propia

- ***Distichlis spicata***

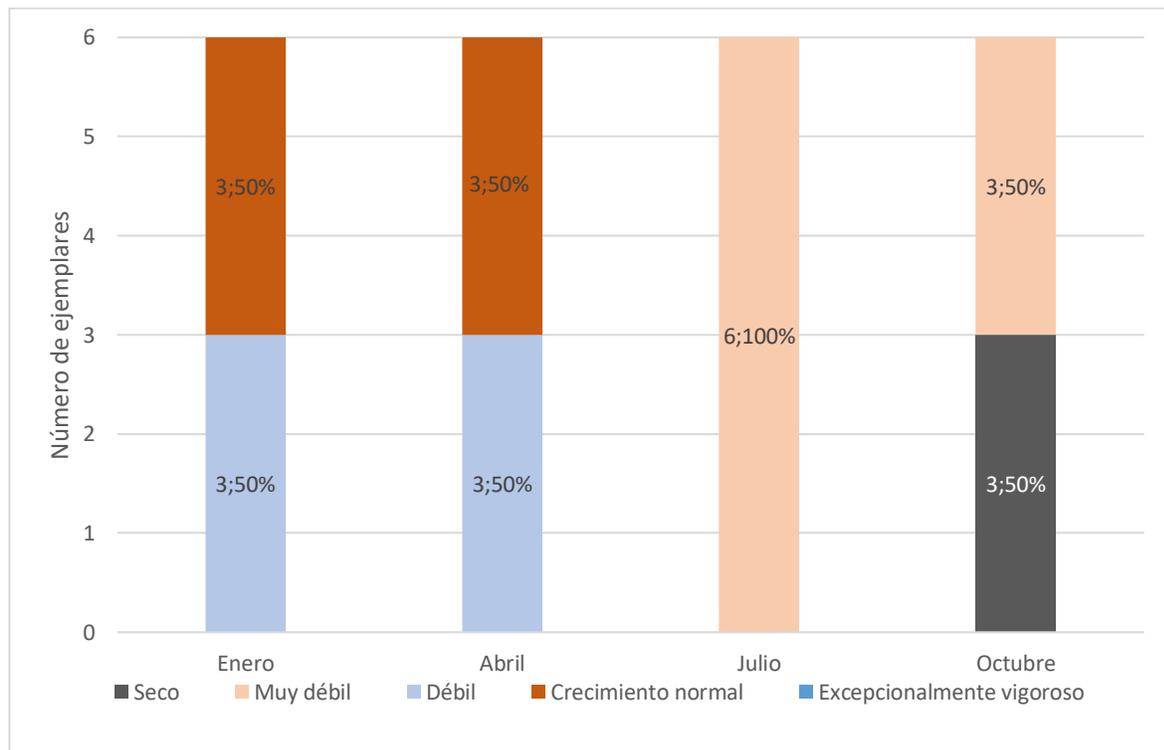
La vitalidad de *Distichlis spicata* se ilustra en la Figura 5-19. En el monitoreo correspondiente al mes de enero se observa que el estado vital de los ejemplares monitoreados fluctúa entre débil (3 individuos) y crecimiento normal (3 individuos), valoraciones que se condicen con los datos fenológicos descritos anteriormente, donde se registraron principalmente ejemplares con crecimiento normal (Figura 5-19).

Las mediciones de abril son similares a los valores reportados en el mes anterior, manteniéndose el número de individuos débiles (50% del total) y el número de individuos en crecimiento normal (50% del total).

En julio, la vitalidad de *Distichlis spicata* disminuye considerablemente al registrarse la totalidad de individuos débiles. Lo que es concordante con los datos fenológicos detectados, donde en esta época se ve un aumento en los ejemplares con crecimiento vegetativo y disminución de fases reproductivas de la planta.

En la campaña de octubre se observaron cinco individuos secos (50% del total) y cinco ejemplares muy débiles (50% del total).

Figura 5-19. Vitalidad de los individuos de *Distichlis spicata* monitoreados en las campañas de 2022



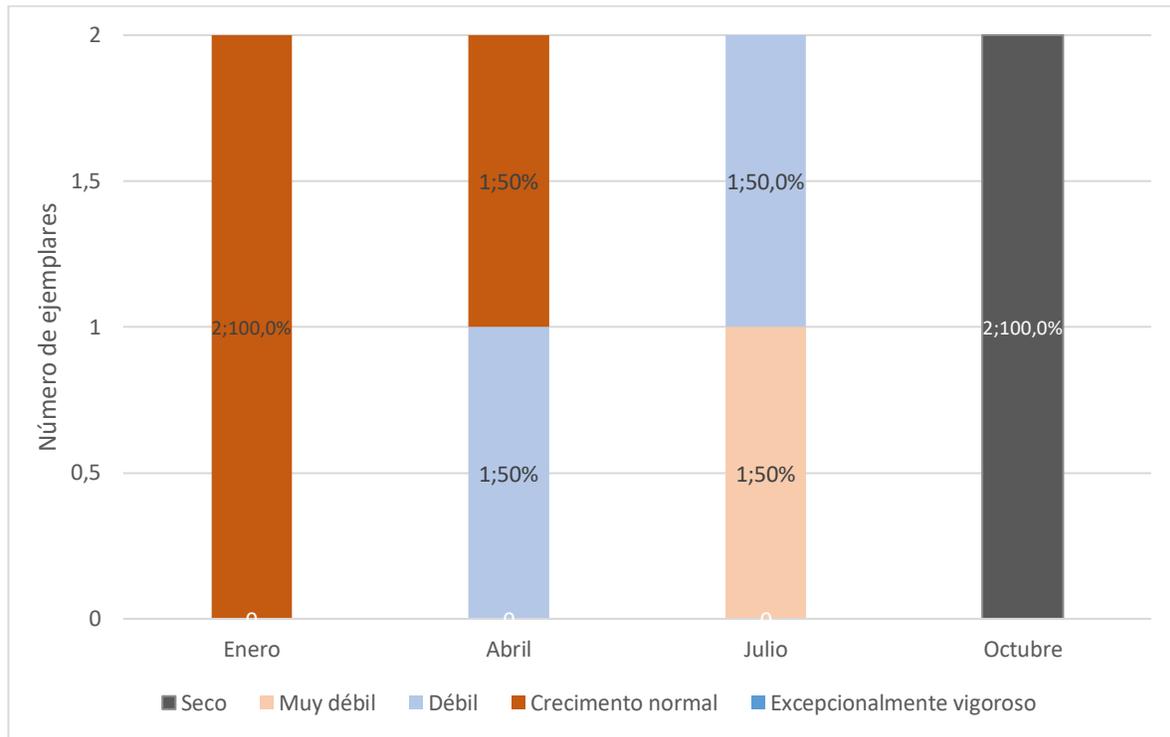
Fuente: elaboración propia

- **Nitrophila atacamensis**

La información recolectada para la especie *Nitrophila atacamensis* se detalla en la Figura 5-20. Donde se observa que en el mes de enero la totalidad de individuos de esta especie se registraron con crecimiento normal. Mientras que, en el mes de abril, se observó 1 individuo débil (50% del total) y 1 individuo en crecimiento normal (50% del total). En el monitoreo de julio se observa un decaimiento de la vitalidad, al registrarse un ejemplar débil y otro muy débil. Hacia el mes de octubre, el total de los individuos se observó seco.

La caracterización de la vitalidad de *Nitrophila atacamensis* a lo largo de los monitoreos del 2022, concuerdan con los registros fenológicos de la especie, al presentarse la fase vegetativa en los meses de enero y abril, y la recesión vegetativa en los meses de julio y octubre.

Figura 5-20. Vitalidad de los individuos de *Nitrophila atacamensis* monitoreados en las campañas de 2022



Fuente: elaboración propia

- **Tessaria absinthioides**

En el mes de enero el monitoreo de vitalidad de *Tessaria absinthioides* mostró que los individuos secos llegaron a 68 (55,3% del total), mientras que aquellos muy débiles llegaron a 19 (15,4% del total), y los ejemplares débiles fueron 4 (3,3% del total), mientras que 32 se catalogaron con crecimiento normal (26,0% del total).

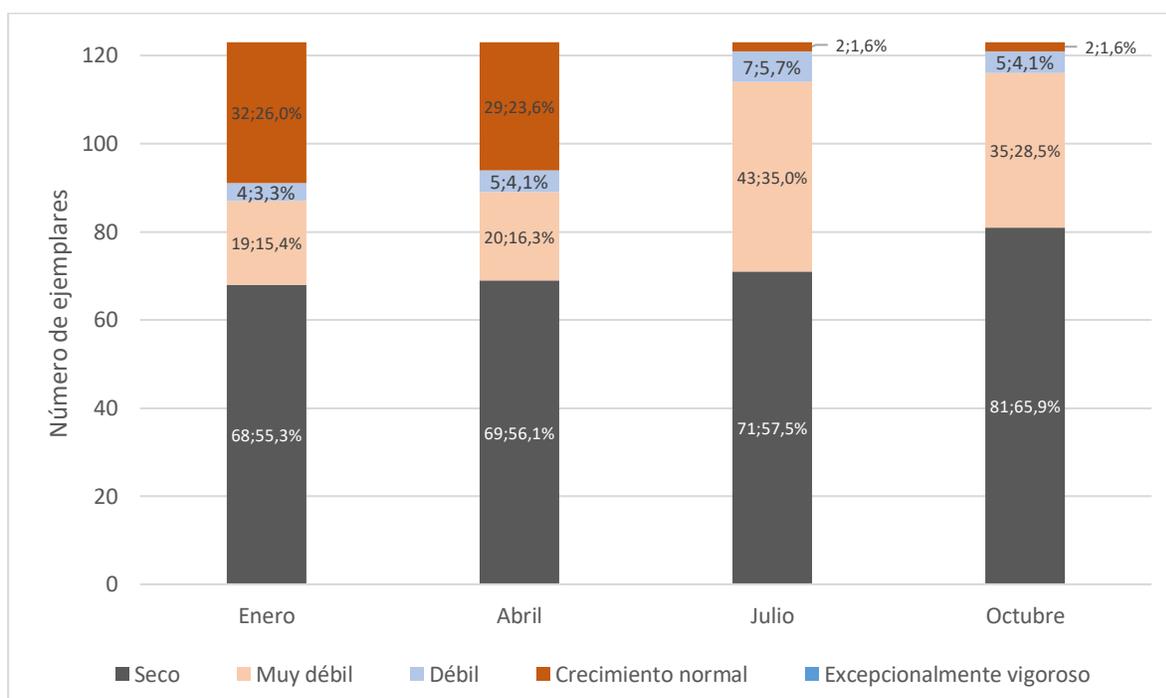
En el mes de abril, los individuos secos aumentaron en un ejemplar, llegando a 69 plantas (56,1% del total), aquellos individuos muy débiles aumentaron a 20 (16,3% del total), mientras que los débiles llegaron a 5 individuos (4,1% del total). Los ejemplares de crecimiento normal disminuyeron levemente, registrándose 29 ejemplares (23,6% del total).

En el mes de julio, período invernal y plena fase recesiva de la vegetación, los individuos secos aumentaron a 71 ejemplares (57,7% del total), mientras que las plantas muy débiles aumentaron a 43 individuos (35,0% del total), al igual que los individuos débiles, los que alcanzaron 7 ejemplares (5,7% del total). Los ejemplares de crecimiento normal disminuyeron considerablemente respecto al mes anterior, llegando sólo a 2 individuos (1,6% del total).

En el monitoreo de primavera (octubre), los individuos secos aumentan en cantidad, llegando a 81 ejemplares (65,9% del total), mientras que aquellos muy débiles y débiles disminuyeron levemente llegando a 35 y 5

individuos respectivamente (28,5% y 4,1% del total). Por otra parte, solo 2 individuos se observaron en crecimiento normal (29,5% del total).

Figura 5 21. Vitalidad de los individuos de *Tessaria absinthioides* monitoreados en las campañas de 2022



Fuente: elaboración propia

6 Discusión

En la siguiente sección, se presenta un análisis del período histórico de observación disponible de los parámetros contenido de humedad gravimétrico del suelo (CHS), profundidad de la napa freática y estado vital de la vegetación (fenología, follaje verde¹¹ y vitalidad de las plantas), el cual comenzó en 2007 y se extiende hasta la fecha (2022).

En la Figura 6-1 se muestra el comportamiento estacional de las mediciones de contenido de humedad gravimétrico del suelo por parcela de monitoreo según los dos laboratorios involucrados en los análisis del presente año. En los gráficos se exponen los valores promedio anual (2007 - 2022), para cada parcela de monitoreo. En todos los gráficos pertenecientes a la Figura 6-1, se evidencia que los valores reportados por los laboratorios mantienen las diferencias señaladas en la sección 5.1.3: Relación de los valores reportados entre los laboratorios. Donde se observa que el laboratorio ETFA presenta valores inferiores a los reportados por el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar, diferencia que se acrecienta en las muestras que poseen mayor contenido de humedad, sin embargo la muestra grafica de los datos, da cuenta de una tendencia similar entre ambos laboratorios.

Para realizar los análisis históricos respecto al contenido de humedad del suelo, se consideran solo los datos correspondientes al Laboratorio Metalúrgico de SQM, ya que éste contempla la toma de datos desde el año 2007, a diferencia de la EFTA que reporta datos solo a partir del año 2016.

Respecto a los valores históricos de CHS, las parcelas ubicadas al oeste presentan mayor contenido de agua y mayor variación, caso que se da en todos los períodos evaluados (Figura 6-1). Conforme a ello, el CHS en las parcelas 1027 y L7-7 alcanzan los valores promedio anuales máximos con 0,673 g/g y 0,496 g/g. Estos corresponden a valores altos considerando que el CHS generalmente varía entre 0,05 g/g y 0,5 g/g cuando se encuentran en su máxima capacidad de retención de agua (Santibáñez, s.f.), pudiendo ser mayor en la práctica, cuando el suelo se encuentra completamente saturado (Escobar, *et al.* 2016).

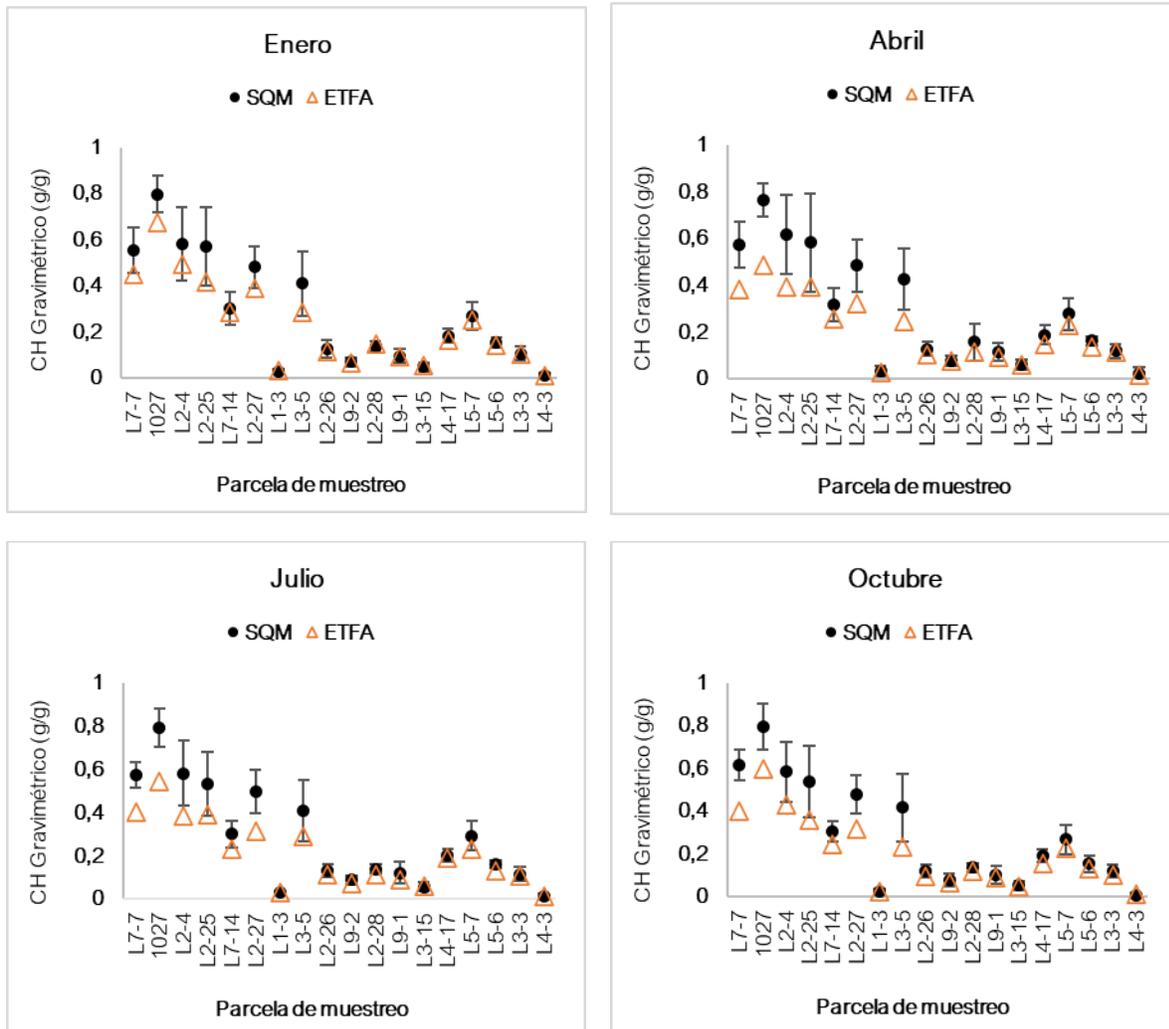
Por otra parte, las parcelas ubicadas al este del área de estudio poseen menor contenido de humedad gravimétrico del suelo, el que suele ser poco variable en los meses evaluados históricamente.

En la Figura 6-1 y desde la Tabla 6-1 a Tabla 6-10 se presentan los resultados de los monitoreos de contenido de humedad gravimétrico del suelo por trimestres de medición, para cada uno de los años de seguimiento (2007 a 2022).

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.

¹¹ Equivalente a la categoría "Porcentaje de copa viva".

Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2022



Los pozos son ordenados de este a oeste.

Los puntos señalan el promedio y las barras de representan la desviación estándar de las mediciones. El promedio y variaciones de los pozos L7-7 y 1027 no contienen datos de abril y octubre de 2019 debido a restricciones de acceso a Reserva Nacional Los Flamencos producto del protocolo de acceso aprobado por CONAF.

El promedio y variaciones de los pozos L7-7 y 1027 no contienen datos de abril, julio y octubre de 2020 debido al cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos producto de la pandemia.

El promedio y variaciones de los pozos L7-7 y 1027 no contienen datos de enero de 2021 debido a restricciones de acceso a Reserva Nacional Los Flamencos producto del protocolo de acceso aprobado por CONAF.

Los datos ETFA contemplan el CHS promedio por parcela de muestreo en los años 2017 a 2022, dado que durante el año 2017 comenzaron a realizarse las mediciones bajo estas entidades.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de enero, período 2007 – 2022

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	0,480	0,013	0,381	0,127	0,072	0,149	0,105	0,031	0,224	0,233	0,170	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	0,230	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	0,170	0,023	0,225	0,356	0,160	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	0,780	0,461	0,397	0,353	0,487	0,021	0,418	0,119	0,041	0,148	0,049	0,055	0,190	0,239	0,158	0,128	0,001
2013	0,559	0,876	0,622	0,792	0,364	0,555	0,033	0,560	0,105	0,085	0,085	0,114	0,085	0,225	0,339	0,163	0,112	0,044
2014	0,512	0,700	0,631	0,505	0,300	0,469	0,030	0,553	0,114	0,065	0,121	0,087	0,061	0,162	0,213	0,163	0,135	0,005
2015	0,550	0,734	0,549	0,426	0,316	0,464	0,029	0,480	0,114	0,090	0,122	0,118	0,057	0,143	0,329	0,155	0,092	0,003
2016	0,501	0,830	0,555	0,465	0,324	0,546	0,033	0,466	0,140	0,087	0,126	0,102	0,050	0,137	0,336	0,166	0,112	0,017
2017	0,531	0,785	0,480	0,477	0,354	0,460	0,024	0,378	0,106	0,067	0,139	0,125	0,040	0,217	0,361	0,167	0,085	0,006
2018	0,510	0,806	0,483	0,480	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	0,010
2019	0,632	0,913	0,717	0,577	0,340	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	0,780	0,559	0,476	0,221	0,488	0,031	0,163	0,110	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	0,220	0,103	0,079	0,139	0,107	0,070	0,176	0,266	0,146	0,120	0,018
2022	0,390	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
CHS promedio (g/g) ± Desviación estándar	0,554 ± 0,1	0,798 ± 0,08	0,583 ± 0,16	0,571 ± 0,17	0,302 ± 0,07	0,482 ± 0,09	0,027 ± 0,01	0,41± 0,14	0,127 ± 0,04	0,071 ± 0,02	0,137 ± 0,02	0,096 ± 0,03	0,048 ± 0,02	0,184 ± 0,03	0,27± 0,06	0,155 ± 0,02	0,106 ± 0,03	0,01± 0,01

S/I: 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.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de abril, período 2007 – 2022

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	0,040	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	0,180	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	0,600	0,381	0,552	0,086	0,540	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	0,010
2012	0,560	0,840	0,707	0,641	0,379	0,582	0,035	0,502	0,138	0,088	0,166	0,086	0,096	0,197	0,280	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	0,210	0,051	0,190	0,238	0,162	0,135	0,007
2015	0,551	0,718	0,628	0,400	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	0,500	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	0,320	0,533	0,027	0,429	0,139	0,100	0,135	0,112	0,06	0,16	0,302	0,162	0,104	0,018
2018	0,5	0,705	0,650	0,569	0,317	0,417	0,025	0,321	0,106	0,084	0,130	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	0,050	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	0,530	0,033	0,287	0,089	0,074	0,118	0,125	0,068	0,163	0,297	0,150	0,111	0,014
2021	0,482	0,711	0,434	0,475	0,282	0,320	0,026	0,189	0,095	0,065	0,100	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
CHS promedio (g/g) ± Desviación estándar	0,573 ±0,1	0,766 ±0,07	0,618 ±0,17	0,582 ±0,21	0,318 ±0,07	0,484 ±0,11	0,033 ±0,02	0,427 ±0,13	0,128 ±0,03	0,077 ±0,02	0,157 ±0,08	0,115 ±0,04	0,061 ±0,02	0,188 ±0,04	0,277 ±0,07	0,162 ±0,02	0,12 ±0,03	0,013 ±0,01

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de julio, período 2007 – 2022

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	0,410	0,160	0,069	0,159	0,093	0,050	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	0,010
2010	0,601	0,767	0,864	0,740	0,365	0,637	0,024	0,691	0,190	0,122	0,149	0,169	0,044	0,262	0,377	0,186	0,150	0,008
2011	0,530	0,802	0,534	0,446	0,230	0,490	0,022	0,419	0,122	0,071	0,140	0,138	0,031	0,250	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	0,390	0,119	0,071	0,129	0,090	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	0,470	0,106	0,076	0,119	0,098	0,050	0,179	0,284	0,174	0,113	0,015
2017	0,617	0,781	0,616	0,460	0,349	0,548	0,025	0,485	0,139	0,095	0,150	0,118	0,062	0,180	0,298	0,167	0,117	0,017
2018	0,496	0,799	0,448	0,488	0,328	0,506	0,030	0,390	0,151	0,084	0,116	0,094	0,056	0,163	0,267	0,161	0,090	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	0,090	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	0,600	0,480	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
CHS promedio (g/g) ± Desviación estándar	0,575 ±0,06	0,793 ±0,09	0,581 ±0,15	0,533 ±0,15	0,301 ±0,06	0,5 ±0,1	0,029 ±0,01	0,409 ±0,14	0,131 ±0,03	0,089 ±0,02	0,139 ±0,02	0,123 ±0,05	0,058 ±0,02	0,203 ±0,03	0,294 ±0,07	0,161 ±0,02	0,117 ±0,03	0,016 ±0,01

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de octubre, período 2007 – 2022

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	0,060	0,124	0,102	0,040	0,203	0,260	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	0,490	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	0,040	0,076	0,170	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	0,140	0,098	0,048	0,186	0,258	0,171	0,151	0,022
2016	0,570	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	0,510	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	0,150	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	-0,006
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
CHS promedio (g/g) ± Desviación estándar	0,616 ±0,07	0,796 ±0,11	0,584 ±0,14	0,539 ±0,17	0,306 ±0,05	0,481 ±0,09	0,027 ±0,01	0,417 ±0,16	0,123 ±0,03	0,081 ±0,03	0,136 ±0,02	0,104 ±0,04	0,053 ±0,02	0,191 ±0,03	0,268 ±0,07	0,154 ±0,04	0,123 ±0,03	0,01±0 ,01

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Promedio anual, período 2007-2022

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	0,320	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	0,180	0,120	0,007
2009	0,746	0,776	0,800	0,731	0,329	0,590	0,020	0,500	0,142	0,092	0,166	0,165	0,032	0,229	0,320	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	0,040	0,232	0,360	0,153	0,128	0,008
2011	0,554	0,821	0,590	0,554	0,353	0,528	0,020	0,524	0,139	0,051	0,131	0,102	0,044	0,211	0,268	0,179	0,107	0,005
2012	0,590	0,814	0,613	0,609	0,366	0,560	0,028	0,492	0,129	0,085	0,157	0,090	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	0,120	0,079	0,117	0,129	0,077	0,197	0,317	0,165	0,118	0,018
2014	0,564	0,710	0,546	0,468	0,326	0,493	0,035	0,457	0,122	0,070	0,126	0,107	0,063	0,176	0,240	0,167	0,127	0,006
2015	0,556	0,804	0,641	0,441	0,329	0,465	0,028	0,479	0,120	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	0,080	0,204	0,102	0,050	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	0,130	0,085	0,130	0,102	0,058	0,171	0,259	0,154	0,105	0,010
2019	0,620	0,863	0,620	0,515	0,286	0,432	0,053	0,385	0,160	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
CHS promedio (g/g)	0,577	0,788	0,595	0,563	0,306	0,489	0,029	0,420	0,128	0,080	0,143	0,109	0,055	0,192	0,278	0,159	0,117	0,014
Pendiente	-0,009	-0,006	-0,023	-0,027	-0,004	-0,014	0,000	-0,021	-0,004	-0,002	-0,002	-0,00	0,000	-0,005	-0,006	-0,004	-0,002	0,002
Valor-p	0,004	0,089	0,000	0,000	0,165	0,000	0,793	0,000	0,003	0,035	0,134	0,329	0,792	0,000	0,023	0,000	0,092	0,004
Resultado*	(S)	(N/S)	(S)	(S)	(N/S)	(S)	(N/S)	(S)	(S)	(S)	(N/S)	(N/S)	(N/S)	(S)	(S)	(S)	(N/S)	(S)

S: Significativo

N/S: No significativo

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-6. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017) y Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022). Enero

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	0,07	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	0,13	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
CHS promedio (g/g) ± Desviación estándar	0,414 ±0,11	0,619 ±0,19	0,457 ±0,15	0,399 ±0,07	0,26 ±0,07	0,358 ±0,12	0,03 ±0,02	0,259 ±0,13	0,108 ±0,03	0,067 ±0,01	0,141 ±0,03	0,088 ±0,01	0,051 ±0,02	0,156 ±0,03	0,234 ±0,05	0,136 ±0,02	0,096 ±0,03	0,008 ±0,01

(*): Si bien el año 2016 comenzaron las mediciones de CHS a través de Entidades Técnicas Fiscalizadores (ETFAs), se implementaron en el mes de octubre.

(**): Los datos ETFA se presentan diferenciados de los análisis del laboratorio metalúrgico de SQM debido a que las metodologías implementadas son distintas entre ellos.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-7. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017) y Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022). Abril

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	0,375	0,418	0,327	0,319	0,230	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	0,520	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	0,100	0,150	0,100	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	0,030	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	0,170	0,075	0,046	0,091	0,090	0,044	0,129	0,150	0,111	0,094	0,015
2022	0,394	0,396	0,270	0,297	0,174	0,226	0,022	0,140	0,068	0,022	0,183	0,074	0,043	0,095	0,151	0,107	0,066	0,008
CHS promedio (g/g) ± Desviación estándar	0,384 ± 0,08	0,464 ± 0,12	0,371 ± 0,09	0,377 ± 0,08	0,244 ± 0,05	0,307 ± 0,08	0,027 ± 0,01	0,229 ± 0,08	0,100 ± 0,03	0,066 ± 0,03	0,125 ± 0,04	0,090 ± 0,02	0,059 ± 0,02	0,139 ± 0,04	0,218 ± 0,06	0,130 ± 0,02	0,108 ± 0,04	0,016 ± 0,01

(*): Si bien el año 2016 comenzaron las mediciones de CHS a través de Entidades Técnicas Fiscalizadores (ETFAs), se implementaron en el mes de octubre.

(**): Los datos ETFA se presentan diferenciados de los análisis del laboratorio metalúrgico de SQM debido a que las metodologías implementadas son distintas entre ellos.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-8. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017) y Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022). Julio

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	0,357	0,410	0,350	0,327	0,272	0,303	0,030	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	0,800	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	0,360	0,136	0,091	0,146	0,105	0,105	0,276	0,347	0,127	0,170	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	0,090	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	0,070	0,039	0,174	0,131	0,128	0,073	0,004
CHS promedio (g/g) ± Desviación estándar	0,406 ± 0,10	0,547 ± 0,20	0,388 ± 0,09	0,394 ± 0,10	0,235 ± 0,07	0,314 ± 0,09	0,032 ± 0,01	0,289 ± 0,11	0,117 ± 0,03	0,071 ± 0,02	0,113 ± 0,02	0,090 ± 0,01	0,064 ± 0,02	0,189 ± 0,04	0,235 ± 0,07	0,134 ± 0,01	0,106 ± 0,03	0,014 ± 0,01

(*): Si bien el año 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 SQM debido a que las metodologías implementadas son distintas entre ellos.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-9. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA* SGS (2016-2017) y Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022). Octubre

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
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	0,330	0,397	0,319	0,290	0,239	0,187	0,029	0,325	0,111	0,084	0,120	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	0,260	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
CHS promedio (g/g) ± Desviación estándar	0,399 ± 0,11	0,599 ± 0,24	0,432 ± 0,13	0,359 ± 0,09	0,247 ± 0,06	0,320 ± 0,12	0,027 ± 0,01	0,232 ± 0,10	0,097 ± 0,03	0,068 ± 0,02	0,121 ± 0,02	0,091 ± 0,02	0,052 ± 0,02	0,157 ± 0,03	0,227 ± 0,06	0,133 ± 0,02	0,103 ± 0,03	0,012 ± 0,01

(*): Si bien el año 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 SQM debido a que las metodologías implementadas son distintas entre ellos.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-10. Contenido de humedad del suelo (g/g). ETFA SGS (2016-2017) y Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA (2018-2022). Promedio anual, período 2016 – 2022.

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
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	0,330	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	0,090	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	0,160	0,273	0,145	0,110	0,010
2019	0,515	0,757	0,535	0,485	0,277	0,388	0,050	0,358	0,143	0,087	0,150	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	0,070	0,163	0,263	0,140	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	0,120	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	0,140	0,149	0,109	0,066	0,004

(*): Si bien el año 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 SQM debido a que las metodologías implementadas son distintas entre ellos.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 6-2 se detalla la evolución histórica de los valores promedio anual de contenido de humedad por parcela de monitoreo, y en conjunto se señala la variabilidad de los datos expresado a través de la desviación estándar.

A continuación, se describirá el comportamiento del CHS en las parcelas donde existe una tendencia significativa al alza o baja de este parámetro, según los datos expuestos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

- Parcela L7-7: Corresponde a la parcela ubicada más hacia el oeste, en ella el CHS promedio anual posee tendencia significativa a la baja en el tiempo (pendiente= -0,009; valor-p=0,004). El valor máximo registrado a la fecha fue de 0,746 g/g identificado en 2009, mientras que el valor mínimo se observó en el monitoreo actual (2022) alcanzando 0,496 g/g. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 15% al 2022, respecto del año base (2007).

Se observa un aumento del CHS después del año 2007, el cual se acentúa hacia el 2009; para estabilizarse desde el año 2011 en adelante, donde esta variable oscilo entre 0,5 g/g y 0,6 g/g.

Tal como se observa en la Figura 6-2 para esta parcela, la desviación estándar del dato promedio anual disminuye en el tiempo, indicando que el CHS se ha vuelto más homogéneo entre las mediciones estacionales en los últimos años.

- Parcela L2-4: Se identifica que los valores de contenido de humedad del suelo poseen una tendencia estadísticamente significativa a la disminución (pendiente = -0,023; valor-p = 0,000). El valor máximo se registró el año 2010 y alcanzó los 0,813 g/g, mientras que el valor mínimo se observó en el monitoreo actual (2022) con 0,332 g/g. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 57,2% al 2022, respecto del año base (2007).

Para el año 2018 y 2019, los valores reportados por los laboratorios involucrados en los análisis tienden a aproximarse, a diferencia del año 2019 y 2022 donde la discrepancia entre ambos es más evidente. Además, se aprecia en la gráfica la clara tendencia a la disminución que viene dándose desde el año 2019.

- Parcela L2-25: En esta parcela, el contenido de humedad del suelo registra una tendencia estadísticamente significativa a la baja en el tiempo (pendiente= -0,027; valor-p= 0,000). El valor máximo registrado fue de 1,013 g/g registrado en 2007, mientras que el valor mínimo se observa en el período actual con 0,386 g/g. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 61,9% al 2022, respecto del año base (2007).

Se observan altas variaciones (desviación estándar) en los registros de los años 2008 a 2011, período en el cual se observa gran parte del descenso de esta variable. El 2012 se observa una leve recuperación del CHS en la parcela, que luego disminuye y presenta un nuevo aumento en el año 2019. En el presente año se observa una disminución de 0,092 g/g con respecto al año anterior.

- Parcela L2-27: El CHS promedio anual en esta parcela posee tendencia significativa a la baja en el tiempo (pendiente= -0,014; valor-p= 0,000). El CHS máximo registrado a la fecha fue de 0,590 g/g identificado en 2009, mientras que el valor mínimo se observó en la campaña actual alcanzando 0,294 g/g. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 44,3% al 2022, respecto del año base (2007).

Tal como se observa en la Figura 6-2 las mayores variaciones en esta parcela fueron registradas en los monitoreos de los años 2009, 2012, 2013 y 2020, mientras que las mayores diferencias entre los laboratorios abarcan las mediciones realizadas en los años 2016, 2017 y 2021.

- Parcela L3-5: Se identifica que los valores de contenido de humedad del suelo tienen una tendencia estadísticamente significativa a la disminución (pendiente= -0,021; valor-p= 0,000). El valor máximo se registró el año 2010 y alcanzó los 0,579 g/g, mientras que el valor mínimo se observó en el monitoreo actual (2022) con 0,127 g/g. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 75,8% al 2022, respecto del año base (2007).
- Parcela L2-26: En esta parcela, el contenido de humedad del suelo registra una tendencia estadísticamente significativa a la baja en el tiempo (pendiente= -0,004; valor-p= 0,003). El valor máximo fue registrado fue de 0,183 g/g registrado en 2010, mientras que el valor mínimo se observó en la campaña actual con 0,064g/g. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 60,7% al 2022, respecto del año base (2007).
- Parcela L9-2: El CHS promedio anual en esta parcela posee tendencia significativa a la baja en el tiempo (pendiente= -0,002; valor-p= 0,035). El CHS máximo registrado a la fecha fue de 0,119 g/g identificado en 2007, mientras que el valor mínimo se observó en el monitoreo actual alcanzando 0,029 g/g. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 75,6% al 2022, respecto del año base (2007).
- Parcela L4-17: El CHS promedio anual en esta parcela posee tendencia significativa a la baja en el tiempo (pendiente= -0,005; valor-p= 0,000). El CHS máximo registrado a la fecha fue de 0,232 g/g identificado en 2010, mientras que el valor mínimo se observó en el presente año 2022 alcanzando 0,141 g/g. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 37,3% al 2022, respecto del año base (2007).
- Parcela L5-7: El CHS promedio anual en esta parcela posee tendencia significativa a la baja en el tiempo (pendiente= -0,006; valor-p= 0,023). El CHS máximo registrado a la fecha fue de 0,360 g/g identificado en 2010, mientras que el valor mínimo se observó en el presente año 2022 alcanzando 0,147 g/g. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 54% al 2022, respecto del año base (2007).
- Parcela L5-6: Se identifica que los valores de contenido de humedad del suelo han sido oscilantes en el tiempo, mostrando una tendencia estadísticamente significativa a la disminución (pendiente= -0,004; valor-p= 0,000). El valor máximo se registró el año 2007 y alcanzó los

0,199 g/g, mientras que el valor mínimo se observó en el presente monitoreo con 0,104 g/g. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 47,7% al 2022, respecto del año base (2007).

- Parcela L4-3: El CHS promedio anual en esta parcela posee tendencia significativa al alza en el tiempo (pendiente= 0,002; valor-p= 0,005). El CHS máximo registrado a la fecha fue de 0,0218 g/g identificado en el monitoreo del 2015, mientras que el valor mínimo se observó en la campaña del 2007 con 0,004 g/g.

Las mediciones efectuadas en 2022 mostraron una reducción general en el promedio anual del contenido de humedad gravimétrico del suelo por tercer año consecutivo, lo que posiblemente pueda ser una respuesta natural posterior a los eventos de lluvia del 2019, el cual afectó principalmente a las parcelas ubicadas al este del Salar, donde la napa es más profunda y la humedad del suelo depende en gran medida de este tipo de eventos.

La mayor reducción en el CHS en 2022 se identificó en la parcela L7-14 (0,298 g/g en 2021 y 0,185 g/g en 2022). Mientras que, las parcelas 1027 y L2-28 presentaron mayor estabilidad, pasando de 0,658 g/g en 2021 a 0,673 g/g en 2022 y de 0,125 a 0,111 g/g respectivamente. Ambas parcelas presentan una diferencia de 0,015. Si bien se observa una disminución del CHS al comparar el año inicial con el monitoreo actual, se aprecia que en el 50% de las parcelas no hay diferencias estadísticamente significativas hacia el alza o baja de sus valores (Tabla 6-5).

En la Tabla 6-5, se aprecia que la mayoría de los puntos de monitoreo con tendencia significativa se ubican hacia el oeste del área de estudio.

Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2022

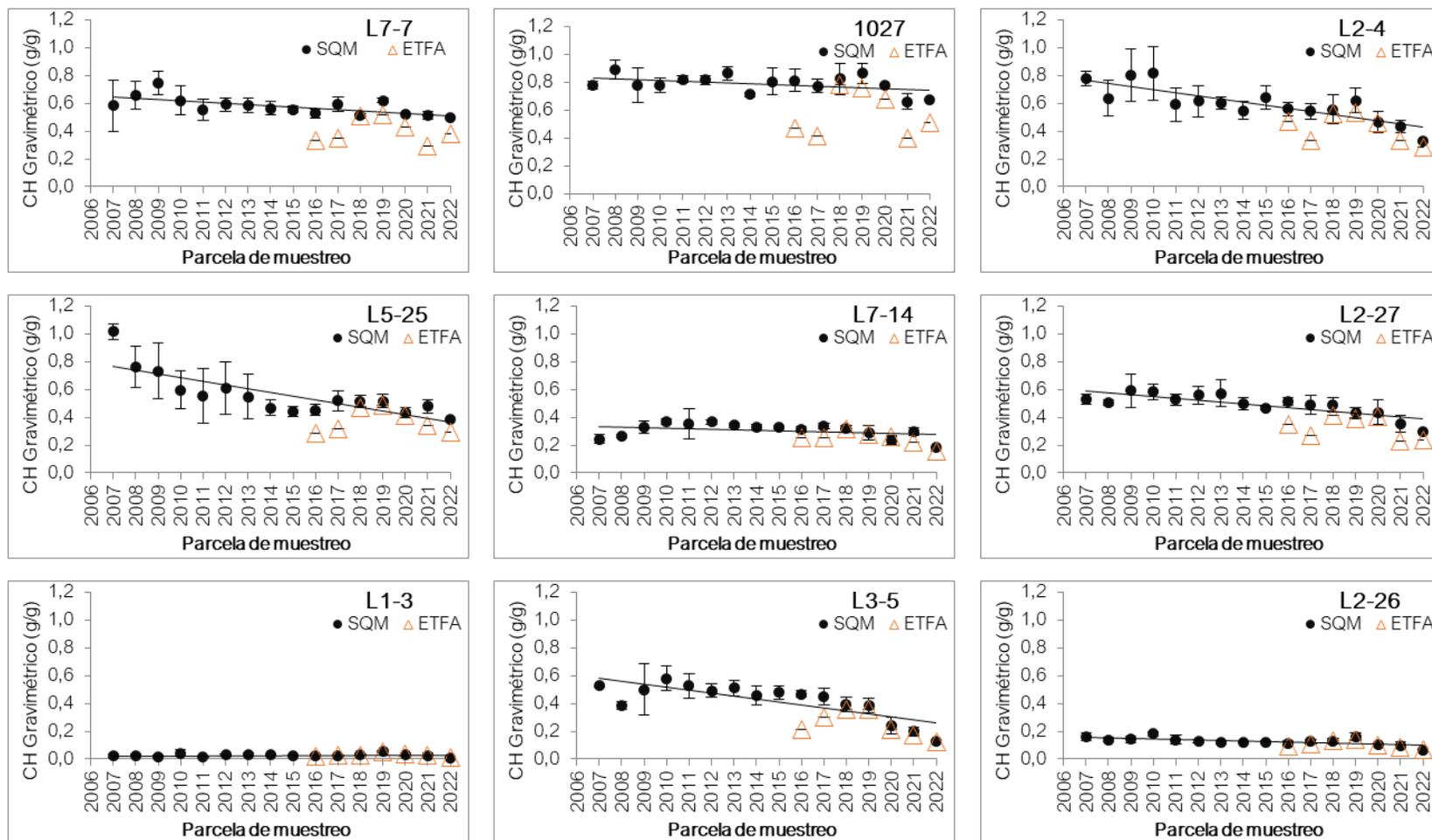
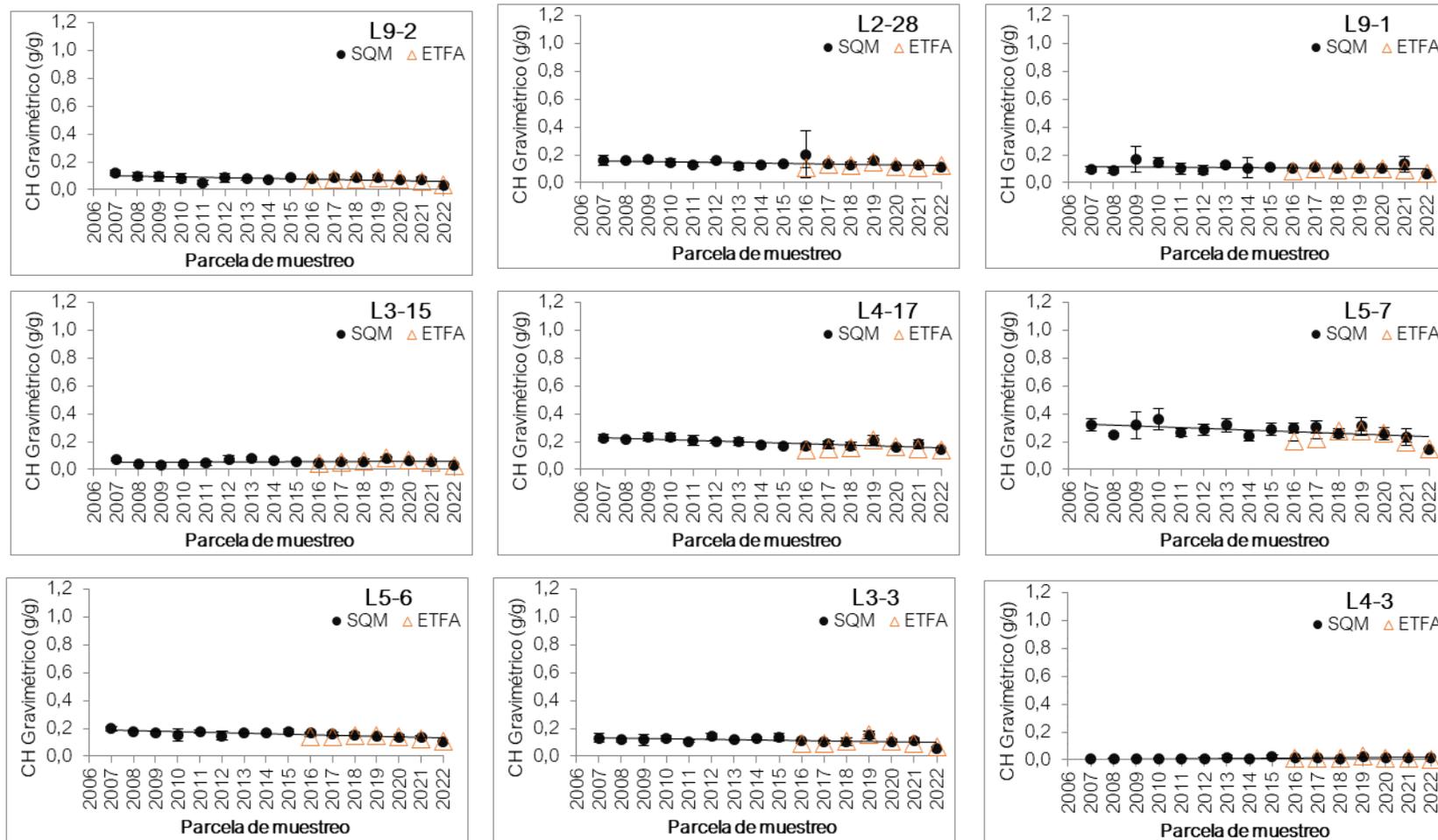


Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2022

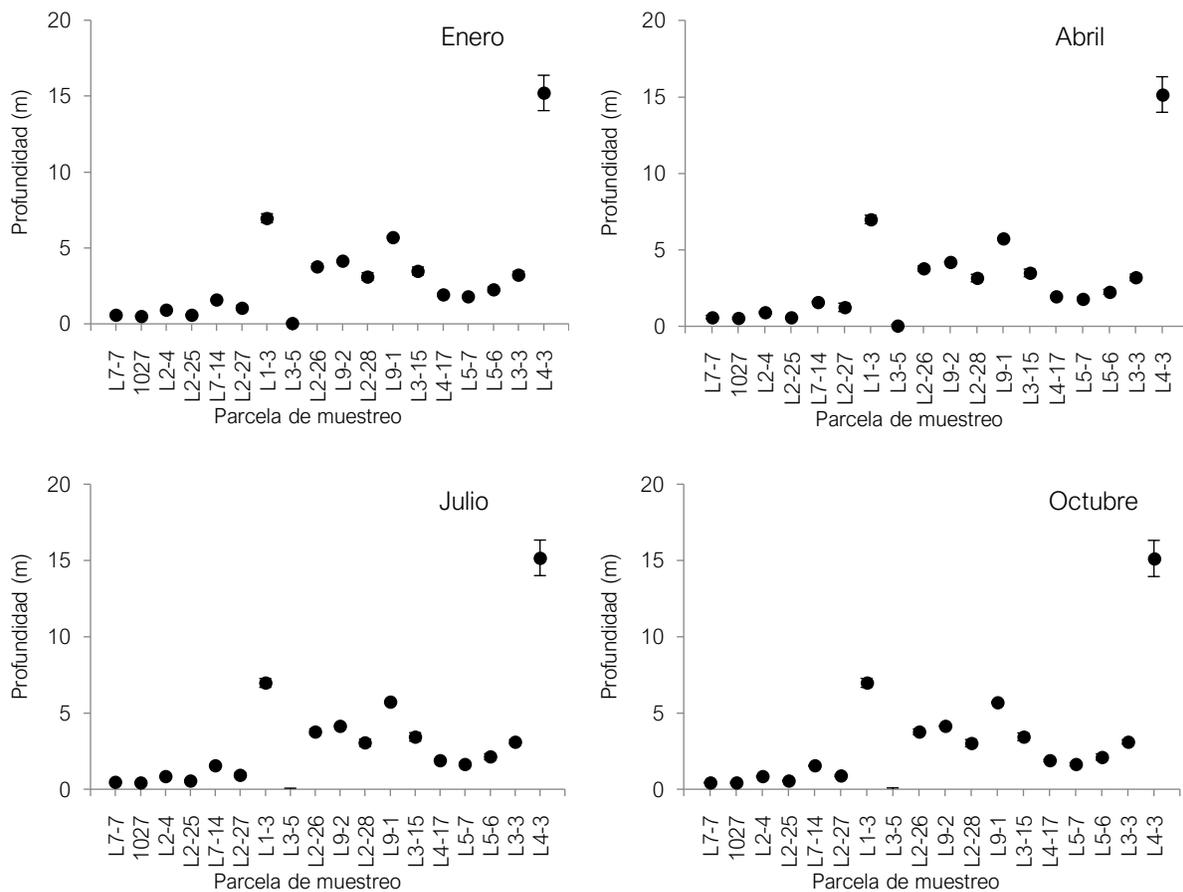


Fuente: elaboración propia

6.1 Variación de la profundidad de la napa en el tiempo

Los resultados históricos de profundidad de la napa se presentan en la Tabla 6-11 a la Tabla 6-15, y son representados gráficamente en la Figura 6-3. La campaña de enero de 2007 no es presentada ya que el monitoreo comenzó en abril de dicho año. Se aclara que el monitoreo inició una vez que los pozos fueron habilitados, esto es, en julio de 2007.

Figura 6-3. Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2022), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados



Cabe mencionar que en febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por lluvias estivales; razón por la cual 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

Respecto a la Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2022), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados, se puede mencionar:

- La variabilidad histórica del promedio anual para el periodo comprendido entre el 2006 y 2022 en la profundidad de la napa medida en los pozos objeto de estudio ha sido en términos generales baja, identificándose a los pozos L4-3, L1-3 y L3-15, como aquellos con mayor desviación estándar en todos los meses de monitoreo.
- En dos pozos disminuyó la profundidad de la napa correspondiente a los pozos L3-5 y L4-3. En el pozo L3-5 se registró una disminución promedio de la profundidad de la napa del orden de 0,006 m, mientras que en el pozo L4-3 se observó una disminución promedio de la profundidad del orden de los 2,547 metros respecto al año 2007.
- En el 2007, el pozo L4-3 registró una profundidad del nivel freático promedio de 16,04 m. Mientras que, en el período 2022, en el mismo pozo presentó una profundidad promedio de 13,494 m, es decir, la profundidad de la napa disminuyó significativamente (p -valor= 0,000).
- El pozo L3-5 se ha mostrado surgente en el tiempo y con variaciones esporádicas que sitúan la napa a muy poca profundidad (año 2012 alcanza 0,08 m), y actualmente el agua se encuentra al nivel de la superficie.
- Se reportaron 16 pozos donde hubo un aumento en la profundidad de la napa respecto al año base (2007). De estos, el pozo L3-15 tuvo el mayor aumento de la profundidad promedio, al verificarse una diferencia de 0,75 m entre las campañas 2007 y 2022. No obstante, los valores registrados son menores a los observados en años previos. Por otro lado, el pozo L7-14 refleja el mínimo aumento promedio de la profundidad de la napa con 0,002 m.
- El contenido de humedad del suelo en las parcelas asociadas a los pozos L3-15 y L7-14 se encuentra relativamente estable en el tiempo. En efecto, el pozo L3-15 registró un CHS promedio de 0,029 g/g con una desviación estándar de 0,015 g/g; mientras que el punto L7-14 ha registrado un CHS promedio de 0,185 g/g, con una variabilidad de 0,048 g/g.
- Teóricamente, dependiendo del tipo de suelo, el CHS puede ser sensible a variaciones en la profundidad de la napa freática. En el caso de los pozos monitoreados, desde el 2007 al 2022, la profundidad de la napa aumentó en 16 de los 18 pozos objeto de estudio.

Tabla 6-11. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de enero durante el período 2007 a 2022

Pozos Años	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-31	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2008	0,521	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	2,944	16,022
2009	0,507	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	2,967	16,034
2010	0,536	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	3,006	16,138
2011	0,491	0,461	0,868	0,549	1,567	0,948	6,600	0,069	3,580	4,122	2,863	5,657	3,241	1,888	1,707	2,134	3,030	16,254
2012	0,550	0,490	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	3,074	16,258
2013	0,590	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	3,152	16,387
2014	0,577	0,519	0,883	0,551	1,620	1,003	7,032	0,025	3,745	4,172	3,047	5,717	3,493	1,992	1,785	2,241	3,177	16,390
2015	0,548	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	3,283	15,863
2016	0,618	0,542	0,911	0,542	1,650	0,972	7,171	0,071	3,857	4,133	3,178	5,683	3,607	2,006	1,744	2,274	3,355	15,417
2017	0,572	0,503	0,920	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	3,416	14,687
2018	0,620	0,588	0,940	0,650	1,543	1,042	7,108	0,034	3,910	4,174	3,356	5,751	3,795	2,035	1,916	2,438	3,507	14,250
2019	0,642	0,606	0,970	0,654	1,570	1,090	7,172	0,053	3,944	4,239	3,378	5,813	3,779	2,027	1,933	2,456	3,522	13,853
2020	S/l	0,631	0,976	0,639	1,534	S/l	7,188	-0,066	3,941	4,162	3,268	5,740	3,684	1,978	1,931	2,459	3,445	13,611
2021	1,003	S/l	0,98	0,643	1,585	1,421	7,261	-0,107	3,992	4,188	3,464	5,763	3,703	1,903	1,909	2,441	3,445	13,523
2022	S/l	S/l	0,966	0,635	1,565	1,434	7,279	-0,148	4,005	4,225	3,528	5,807	3,691	1,846	1,915	2,438	3,41	13,493
Prof. prom	0,598 ±0,13	0,527 ±0,053	0,913 ±0,04	0,583 ±0,05	1,591 ±0,043	1,059 ±0,162	6,961 ±0,295	0,033 ±0,078	3,775 ±0,183	4,171 ±0,043	3,121 ±0,252	5,725 ±0,05	3,481 ±0,263	1,944 ±0,077	1,799 ±0,098	2,264 ±0,162	3,249 ±0,209	15,212 ±1,166

1 en febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido.

2 S/l: Sin mediciones dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de falta de permiso de ingreso según Protocolo de acceso aprobado por CONAF -: 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.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-12. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de abril durante el periodo 2007 a 2022.

Pozos Años	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-31	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2008	0,663	0,527	0,864	0,584	1,601	1,189	6,550	0,087	3,562	4,180	2,865	5,695	3,045	1,845	1,710	1,994	2,937	15,982
2009	0,628	0,510	0,861	0,621	1,598	1,181	6,554	0,083	3,554	4,190	2,890	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	3,570	4,195	2,914	5,729	3,194	1,927	1,680	2,060	3,018	16,154
2011	0,601	0,504	0,882	0,551	1,603	1,148	6,608	0,088	3,599	4,200	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	2,910	5,683	3,327	1,941	1,759	2,181	3,001	16,299
2013	0,570	0,518	0,874	0,539	1,593	1,037	6,981	0,114	3,695	4,190	3,006	5,725	3,429	1,973	1,800	2,243	3,170	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	0,530	1,553	0,924	7,128	0,041	3,812	4,175	3,119	5,729	3,580	1,934	1,596	2,131	2,879	15,705
2016	0,713	0,615	0,958	0,535	1,688	1,273	7,190	0,107	3,910	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	4,250	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	3,040	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	3,410	5,785	3,720	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
Prof. pro- medio	0,600 ±0,11	0,536 ±0,06	0,899 ±0,05	0,583 ±0,05	1,595 ±0,06	1,240 ±0,27	6,984 ±0,28	0,031 ±0,10	3,780 ±0,18	4,200 ±0,04	3,155 ±0,25	5,748 ±0,05	3,493 ±0,25	1,952 ±0,06	1,801 ±0,10	2,258 ±0,16	3,197 ±0,21	15,155 ±1,16

1 En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido.

2 S/I: Sin mediciones dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de falta de permiso de ingreso según Protocolo de acceso aprobado por CONAF.

-: 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.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-13. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2022

Pozos Años	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-31	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2007	0,545	0,442	0,798	0,563	1,565	0,864	6,527	0,012	3,517	4,120	2,733	5,645	2,863	1,769	1,520	1,735	2,893	16,089
2008	0,480	0,420	0,784	0,548	1,560	0,855	6,547	0,056	3,524	4,140	2,737	5,678	3,013	1,820	1,542	1,852	2,913	15,987
2009	0,475	0,416	0,798	0,544	1,557	0,854	6,550	0,057	3,509	4,151	2,757	5,689	3,070	1,835	1,565	1,900	2,921	16,047
2010	0,487	0,420	0,819	0,544	1,573	0,866	6,590	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	-0,010	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	7,090	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	0,550	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	0,840	0,527	1,645	0,878	7,251	-0,060	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	0,640	1,534	1,002	7,148	-0,018	3,920	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	1,110	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
Prof. pro- medio	0,494 ±0,04	0,449 ±0,04	0,840 ±0,04	0,566 ±0,04	1,574 ±0,05	0,945 ±0,15	6,970 ±0,29	-0,031 ±0,10	3,774 ±0,19	4,171 ±0,04	3,052 ±0,24	5,727 ±0,05	3,430 ±0,28	1,908 ±0,07	1,662 ±0,09	2,128 ±0,20	3,105 ±0,15	15,173 ±1,16

1 En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido.

2 S/I: Sin mediciones dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de falta de permiso de ingreso según Protocolo de acceso aprobado por CONAF.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-14. Profundidad de la napa (m) por pozo de monitoreo de octubre durante el período 2007 a 2022.

Pozos Años	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-31	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
2007	0,405	0,394	0,785	0,561	1,540	0,850	6,525	0,000	3,523	4,087	2,655	5,620	2,980	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	1,950	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	0,820	0,523	1,564	0,839	6,976	0,070	3,650	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	1,580	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	0,420	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	3,130	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	1,650	2,189	3,192	14,830
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	0,920	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	0,960	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	0,610	1,507	0,943	7,236	-0,207	3,969	4,159	3,285	5,740	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	3,960	4,184	3,334	5,767	3,633	1,790	1,758	2,340	3,249	13,495
Prof. pro- medio	0,432 ±0,03	0,426 ±0,04	0,843 ±0,04	0,561 ±0,04	1,546 ±0,05	0,876 ±0,05	6,973 ±0,29	-0,030 ±0,12	3,765 ±0,18	4,139 ±0,04	3,021 ±0,24	5,703 ±0,05	3,438 ±0,25	1,887 ±0,07	1,641 ±0,10	2,115 ±0,21	3,104 ±0,15	15,132 ±1,18

1 En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido.

2 S/I: Sin mediciones dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de falta de permiso de ingreso según Protocolo de acceso aprobado por CONAF.

Fuente: elaboración propia

Tabla 6-15. Profundidad promedio anual (m) por pozo de monitoreo durante el período 2007 a 2022.

Pozos Años	L7-7	1027	L2-4	L2-25	L7-14	L2-27	L1-31	L3-5	L2-26	L9-2	L2-28	L9-1	L3-15	L4-17	L5-7	L5-6	L3-3	L4-3
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	0,860	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	0,870	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
Prof. promedio	0,535 ±0,07	0,488 ±0,055	0,866 ±0,044	0,569 ±0,043	1,576 ±0,043	1,001 ±0,129	6,938 ±0,291	0,039 ±0,029	3,75 ±0,178	4,164 ±0,032	3,048 ±0,233	5,718 ±0,05	3,427 ±0,276	1,922 ±0,075	1,708 ±0,103	2,16 ±0,201	3,142 ±0,176	15,308 ±1,101
Pendiente	0,011	0,010	0,009	0,006	-0,001	0,021	0,060	-0,004	0,039	0,006	0,051	0,009	0,059	0,011	0,022	0,043	0,038	-0,215
p-valor	0,007	0,001	0,000	0,022	0,810	0,003	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
Resultado	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo	No significativo	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo	Significativo

1 En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido.

2 S/I: Sin mediciones dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de falta de permiso de ingreso según Protocolo de acceso aprobado por CONAF.

Fuente: elaboración propia

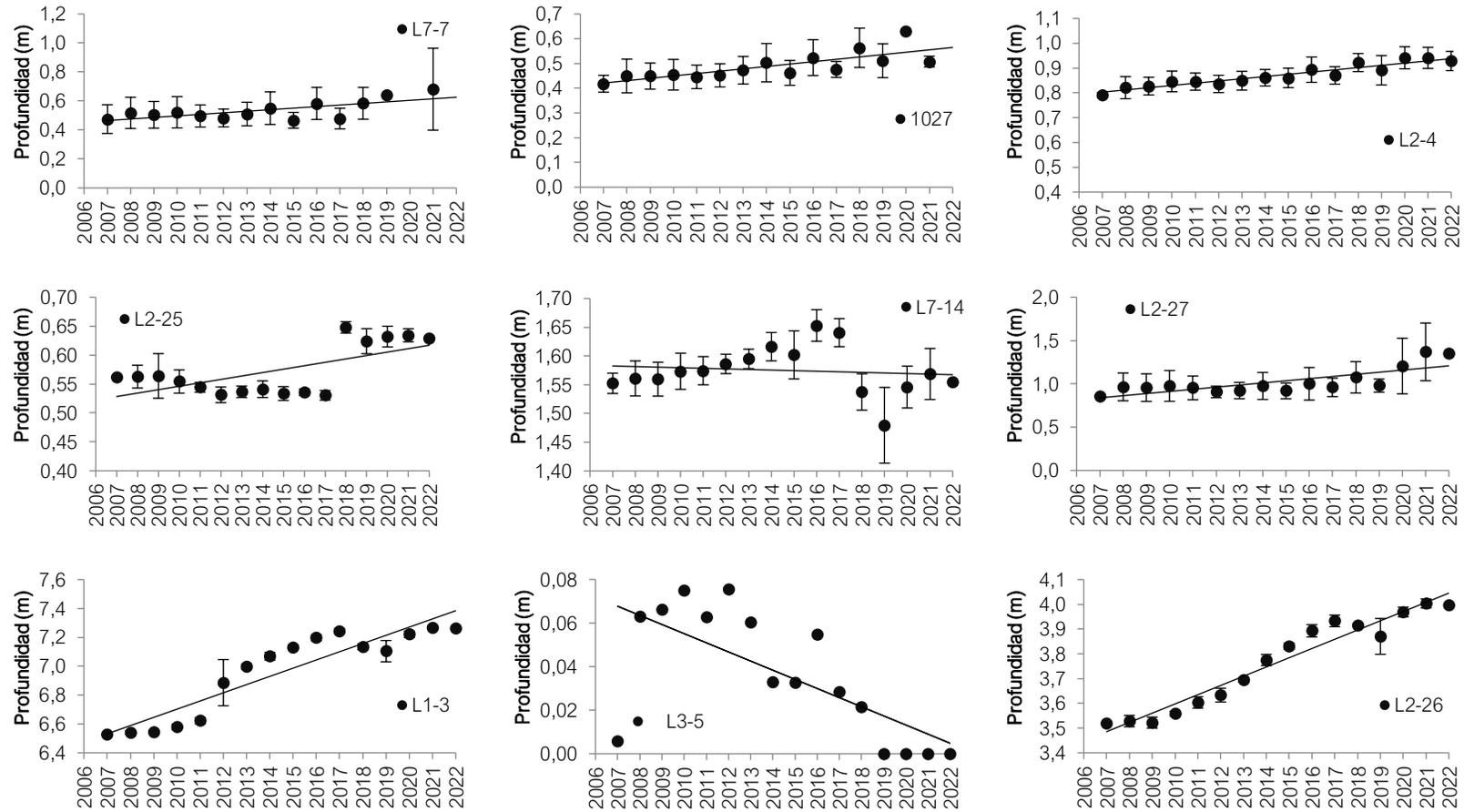
En la mayoría de los pozos estudiados (16 de los 18 pozos) se observa una mayor profundidad respecto del monitoreo inicial (2007), con excepción de los pozos L3-5 y L4-3, los cuales registran un aumento en el nivel freático y por lo tanto una disminución en la profundidad de la napa, tal como se verifica en la Figura 6-4.

Los pozos donde este incremento superó los 60 cm de profundidad promedio anual fueron los pozos L1-3, L2-28, L3-15 y L5-6, los que se analizan a continuación:

- Pozo L1-3: Se ubica a 7,36 km al sureste del pozo de extracción Mullay-1 y a 6,54 km al noreste de Allana-1, cercano a la ruta B-355, frente a las Vegas de Carvajal. Si bien este pozo tuvo que ser reemplazado por otro ubicado a pocos metros del original, en el monitoreo del 2007 la profundidad de la napa registrada en la zona fue de 6,53 m y para el actual monitoreo llegó a 7,27 m; aumentando en 0,74 m en 15 años de monitoreo y en 0,05 m respecto al año anterior. La profundidad máxima histórica en este pozo fue en 2021 donde alcanzó los 7,27 m.
- Pozo L2-28: Pozo de observación ubicado a 4,2 km al noreste del pozo Camar-2 (detenido desde 2018) y 5,17 km al sur este del pozo de extracción Allana-1. Se encuentra cercano a la ruta B-355, frente al sector Aguas de Quelana de la RN Los Flamencos. En 2007 este pozo registró una profundidad de la napa promedio de 2,69 m y para el actual monitoreo llegó a 3,43 m; aumentando en 0,74 m en 15 años de monitoreo y en 0,11 m respecto al año anterior. La profundidad máxima histórica se registró en el actual monitoreo.
- Pozo L3-15: Se ubica 2,3 km al este del pozo de bombeo Camar-2 (detenido desde 2018). A inicios del monitoreo (2007) la profundidad de la napa en este punto fue de 2,92 m, paulatinamente en el tiempo esta fue aumentando, llegando a un máximo de 3,77 m en 2018. En la actualidad, la profundidad alcanza 3,68 m (igual a lo registrado el año anterior). De esta forma, desde el 2007 a la fecha, la profundidad de la napa aumentó en 0,76 m.
- Pozo L5-6: Tal como se observa en la Figura 4-1 este pozo de monitoreo se ubica al suroeste del pozo de bombeo Socarire-5, específicamente a 2,7 km de distancia de este. Actualmente, los registros indican que la napa en este punto se ubica a 2,39 m de profundidad, correspondiente a 0,68 m bajo lo reportado en 2007, donde la napa se ubicó a 1,72 m. En 2021 la profundidad es 0,01 m menor que el año anterior.

Por otra parte, la pendiente de la recta que describe las profundidades promedio anuales de los cuatro pozos descritos anteriormente es positiva y significativa, al igual que la mayoría de los pozos evaluados (Tabla 6-15). Solo el pozo L7-14 no posee tendencia en el tiempo. Mientras que en los pozos L3-15 y L4-3 la tendencia es significativa hacia la disminución de la profundidad en el tiempo.

Figura 6-4. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2022.



*Pozo L7-7 y pozo 1027 sin medición en los cuatro trimestres debido a restricciones para ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, de acuerdo con el protocolo de ingreso a la unidad.

Fuente: elaboración propia

6.2 Variación interanual de la vegetación

6.2.1 Antecedentes relevantes en la adquisición de datos en terreno

Es relevante señalar que durante los tres últimos monitoreos anteriores al monitoreo actual (2019, 2020 y 2021) se produjeron tres situaciones que impactan en el análisis de este capítulo:

- La primera asociada a las fuertes lluvias registradas en la zona durante la época estival del año 2019 (Anexo 3, Registro de precipitaciones mensuales periodo 2007-2022), las que produjeron un aluvión que descendió desde la quebrada de Camar y afectó las parcelas asociadas a los pozos de monitoreo L3-15, L3-3, L3-5, L2-27 y L2-28, perdiendo parte de los ejemplares existentes a ellas. No obstante, durante la campaña de abril del año 2020, SQM re-etiquetó los ejemplares afectados por el aluvión del año 2019.
- La segunda situación corresponde a la crisis sanitaria producto de la pandemia de COVID-19, que obligó al cierre de las áreas silvestres protegidas del estado, incluyendo la Reserva Nacional Los Flamencos. Esto detuvo los permisos de ingreso según el protocolo de ingreso a áreas de la Reserva Nacional Los Flamencos (Anexo 9, Medio de verificación ingreso Reserva Nacional Los Flamencos), impidiendo el monitoreo de las parcelas asociadas a los pozos de monitoreo L7-7 y 1027 en los meses de abril y octubre del año 2019, y en los meses de abril, julio y octubre del año 2020. El efecto del aluvión y la imposibilidad de ingreso a la Reserva producto de la pandemia se analizarán desde la perspectiva de cada especie afectada en los acápite siguientes.
- Por otra parte, y acorde al protocolo de ingreso a la Reserva Nacional Los Flamencos, adjunto en Anexo 9 que restringe el acceso a la Reserva en el periodo comprendido de octubre a febrero según calendario de nidificación indicado en el documento “Conservación de flamencos altoandinos en el norte de Chile” (Rodríguez et al., 2006), lo que impidió el monitoreo de las plantas ubicadas en las inmediaciones de los pozos L7-7 y 1027.

6.2.2 Análisis general de la vitalidad

La variación de la vitalidad de la vegetación en las parcelas prospectadas se muestra en la Figura 6-5, la cual se caracteriza considerando las siguientes categorías: seco, muy débil, débil, crecimiento normal y excepcionalmente vigoroso por trimestre de medición.

La vitalidad de las plantas por época de monitoreo para el período 2006-2022 se ilustra en la Figura 6-5. En ella se aprecia que en el trimestre 1 y 2 las plantas de crecimiento normal históricamente han tendido a disminuir, y aquellas secas y débiles aumentan, mientras que las plantas vigorosas y muy débiles poseen bajas cantidades de individuos a lo largo de los años.

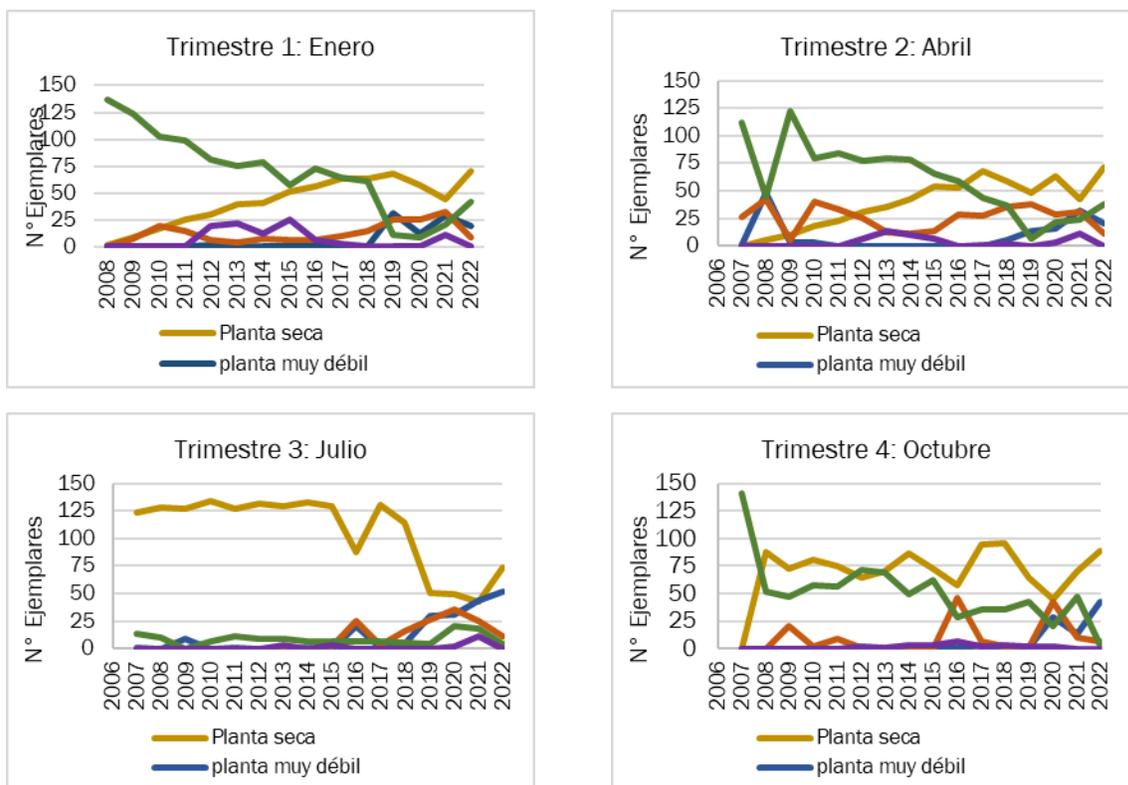
Para el trimestre 3 las plantas secas aumentan notoriamente, manteniéndose entre los años 2006 y 2015 en cantidades que superaban los 100 individuos. En los años siguientes se observa que la cantidad

individuos secos disminuye, mientras que aquellos muy débiles, débiles, de crecimiento normal, e incluso algunos vigorosos aumentan.

Para el trimestre 4 los ejemplares secos han tendido al aumento en los últimos años, mientras que aquellos de crecimiento normal disminuyen. Los ejemplares débiles se presentan esporádicamente a lo largo de los monitoreos, mientras que aquellos muy débiles se visualizaron en los años 2020 y 2021, acentuando la tendencia al aumento en el presente monitoreo 2022.

Más detalles de estos resultados se muestran en las secciones 6.4 y 6.5, donde se analiza la relación del contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa freática, con las variaciones de la Vitalidad en el tiempo, con el fin de determinar si los cambios reportados en ellos se relacionan con la variabilidad de la vegetación.

Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vitalidad, según trimestre de monitoreo desde el año 2007 a 2022.



Fuente: elaboración propia

6.2.3 Análisis por especie

A continuación, se analizan los resultados de vitalidad, porcentaje de copa viva y fenología por especie monitoreada.

6.2.3.1 *Atriplex atacamensis*

A continuación, presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares de *Atriplex atacamensis* monitoreados en el período 2007-2022, tal como se presenta en la Figura 6-6 (A):

- El primer trimestre se caracteriza por el predominio de plantas con flores y en menor medida plantas con crecimiento vegetativo de ramas, aunque en el monitoreo actual, se evidencian mayoritariamente individuos en crecimiento vegetativo. Hacia el segundo trimestre, históricamente, los individuos de esta especie muestran signos del comienzo de la producción de frutos. Sin embargo, en este monitoreo no se reportaron individuos en floración ni con frutos. Hacia el tercer trimestre las flores y frutos dejan de predominar, dando lugar a plantas con crecimiento vegetativo de ramas y hojas, lo cual se mantiene constante en el monitoreo actual. Hacia el cuarto trimestre, los ejemplares con crecimiento vegetativo predominan y sólo unos pocos individuos presentan floración.
- Durante los años de monitoreo se aprecian variaciones de la dinámica antes descrita. Por ejemplo, durante el año 2017 se aprecia un adelantamiento del periodo de fructificación (enero) y una posterior aparición de flores en abril, dando pie al periodo recesivo de crecimiento durante julio y octubre. En 2018 esta mecánica continua, sin embargo, el período de fructificación solo alcanza 4 individuos en octubre. Estas variaciones pueden reflejar decaimiento o fortalecimiento de la vegetación. Es probable que episodios de condiciones climáticas adversas expliquen dicho comportamiento para el presente monitoreo.
- El año 2022 se caracteriza por presentar un número de individuos con crecimiento vegetativo y senescentes que se mantiene constante durante todos los trimestres, reportando muy pocos individuos en floración y ninguno reportado con fructificación, lo cual varía en relación con la histórica de la fenología en casi todos los trimestres.

La Figura 6-6 (B) muestra la vitalidad de *Atriplex atacamensis* para todos los monitoreos. Al respecto se puede mencionar:

- Los ejemplares secos no muestran una tendencia temporal ni estacional. Para el año 2022 se observa un número constante de ejemplares secos en los trimestres uno, dos y tres (enero, abril y julio), lo cual no varía con respecto al monitoreo anterior. Sin embargo, estos se encuentran dentro de lo registrado históricamente.
- Los individuos de *Atriplex atacamensis* en pocas ocasiones se presenta en la categoría muy débil. Se destacan solo las observaciones del año 2009 donde nueve ejemplares presentaron esta categoría. En el resto de los años (y trimestres) los ejemplares muy débiles variaron entre 1 y 2 ejemplares. En el 2022 se registraron ejemplares en esta categoría en el tercer y cuarto trimestre (julio y octubre).
- La categoría muy débil se caracteriza históricamente por predominar en los trimestres dos y tres (abril y julio), coincidiendo con la época de receso vegetativo de las plantas. Sin embargo, en este monitoreo, se observa que esta situación se extiende hasta el mes de octubre.

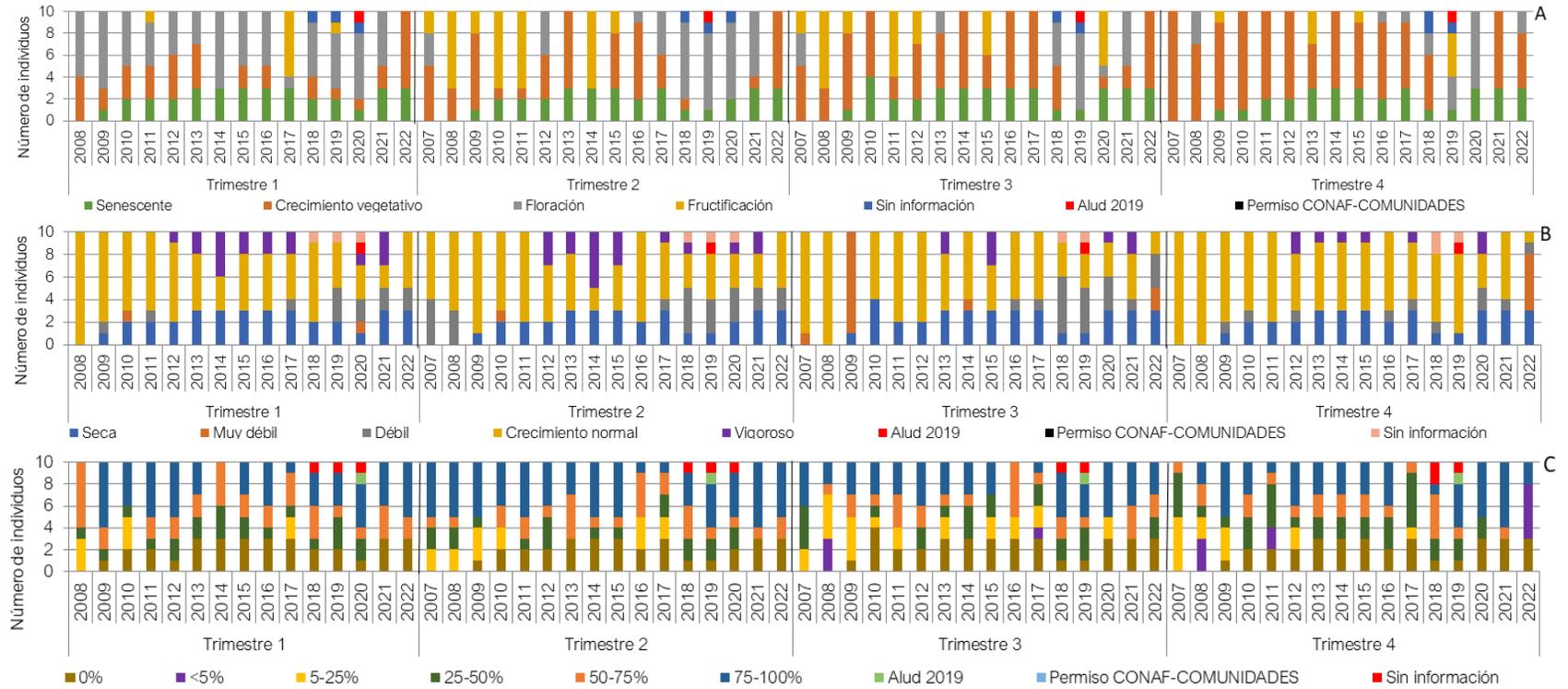
- Los individuos con crecimiento normal solo predominan en los dos primeros trimestres, disminuyendo en el mes de julio. La variación de esta categoría en el tiempo fluctúa entre 1 a 10 individuos, donde el máximo se alcanza en los primeros años del monitoreo.
- Los ejemplares excepcionalmente vigorosos comienzan a identificarse a partir del año 2012, cuyo máximo se registró abril del 2014, con 5 individuos. En el monitoreo actual, no se registraron individuos en esta categoría.

La Figura 6-6 (C) representa el comportamiento de la copa viva de *Atriplex atacamensis* en la serie de tiempo 2007-2021. De la figura se destaca lo siguiente:

- No se registran individuos con copa 0% en los períodos 2007 y 2008. Del 2009 a la actualidad la cantidad de ejemplares en esta categoría fluctúa entre 1 y 4 individuos. No se detecta tendencia al incremento o descenso en el tiempo y tampoco entre los trimestres analizados.
- Los registros de individuos con porcentaje de copa <5% se registran aisladamente en los años 2008, 2011 y 2017, en los meses de julio y octubre. Particularmente en este monitoreo se solo se reportaron individuos con copa <5% en el cuarto trimestre (octubre).
- La categoría de 5-25% presenta su máximo número de individuos en los meses de julio y octubre, lo que coincide con el periodo de crecimiento recesivo de las plantas. Sin embargo, en este monitoreo particularmente no se observaron individuos en esta categoría. No se detecta tendencia en el tiempo.
- Las categorías de copa viva 25-50% y 50-75% han tendido a reportar entre 1 a 5 ejemplares desde el comienzo del monitoreo. La variación de los ejemplares no demuestra una tendencia al detrimento de las plantas, sino que se relacionaría a los cambios fenológicos acordes a las épocas de monitoreo. En este presente monitoreo se reportan individuos en esta categoría particularmente en el tercer trimestre (julio).
- Respecto de la categoría 75-100%, el mayor número de ejemplares se registra en el monitoreo de abril y octubre, los que tienden a reducirse en el primer y tercer trimestre. En el presente año, el mayor número de ejemplares se registra en el monitoreo de enero y abril, los que tienden a reducirse en el tercer y cuarto trimestre.

De acuerdo con lo reportado en los informes de los años 2019 y 2020 hay ejemplares que no se pudieron monitorear en dichos períodos, esto ocasionado por el aluvión que descendió de la quebrada de Camar durante la época estival del 2019, el cual afectó varias parcelas de monitoreo. Además, algunos ejemplares no fueron monitoreados debido a restricciones de acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos. En 2022, todos los ejemplares de *Atriplex atacamensis* fueron monitoreados.

Figura 6-6. *Atriplex atacamensis*: Número de individuos por categoría de fenología (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por clase de copa viva (C), Campañas 2007 a 2022



Fuente: elaboración propia

6.2.3.2 *Distichlis spicata*

La especie *Distichlis spicata* tiene variaciones respecto al número total de individuos registrados en terreno, debido principalmente a la dificultad de prospectar esta especie. Las características fisiológicas de *D. spicata* permiten el rebrote desde su raíz rastrera (Freas, 1987), por lo que en terreno estos individuos no se encuentran etiquetados ya que tienden a aparecer y desaparecer debido a su capacidad de eliminar biomasa aérea en distintos periodos. Sin embargo, históricamente se han encontrado entre cuatro y seis individuos de esta especie.

A continuación, se analiza la fenología, vitalidad y la copa viva de la especie.

La fenología de *Distichlis. spicata* se presenta en la Figura 6-7 (A).

- Los monitoreos trimestrales muestran diferencias que evidencian las etapas de desarrollo de la especie a nivel anual. Así, durante la prospección de los trimestres uno y dos (enero y abril), los individuos presentan mayoritariamente crecimiento vegetativo, y en menor medida, ejemplares senescentes (en toda la serie temporal).
- El crecimiento vegetativo de las plantas disminuye el tercer trimestre (julio), dando pie al periodo recesivo donde se aprecia un elevado número de individuos senescentes. Sin embargo, durante los últimos tres años de monitoreo (2019, 2020 y 2021) se observa ausencia de ejemplares senescentes dando pie a ejemplares con crecimiento vegetativo y floración. Lo que podría estar vinculado a las fuertes lluvias ocurridas en febrero del 2019, dando pie al desarrollo o fortalecimiento de estos ejemplares, así como al crecimiento de individuos producto de las raíces rizomatosas de *D. spicata*.
- En el cuarto trimestre (octubre) los ejemplares disminuyen su vitalidad, apareciendo algunos registros de individuos senescentes. No se observan individuos en floración ni en fructificación.
- A nivel general, la especie se comporta según lo esperado en cada trimestre, no observándose tendencias aparentes en el tiempo.

Respecto a la vitalidad se observa en la Figura 6-7 (B) lo siguiente:

- La categoría seco se presenta relativamente constante en el tiempo, alcanzado su máximo dentro del tercer trimestre de medición (julio) con seis individuos en el año 2010. Para el monitoreo actual se registraron individuos secos sólo en el cuarto trimestre (octubre).
- Los individuos muy débiles se presentan de forma aislada y sin una tendencia clara dentro de todas las fechas de monitoreo. En el 2022 predominan en el tercer trimestre (julio).
- Los individuos débiles se presentan de forma más constante a partir del año 2016. En el 2022 se observan en el primer y segundo trimestre (enero y abril).
- Con respecto a los datos históricos, aquellos individuos con crecimiento normal representan la máxima expresión dentro del trimestre dos y cuatro (abril y octubre), correspondiendo a los periodos de final e inicio de máximo crecimiento de la vegetación. En estos periodos se observa una tendencia a la disminución de individuos bajo esta categoría (lo que se observa a partir del

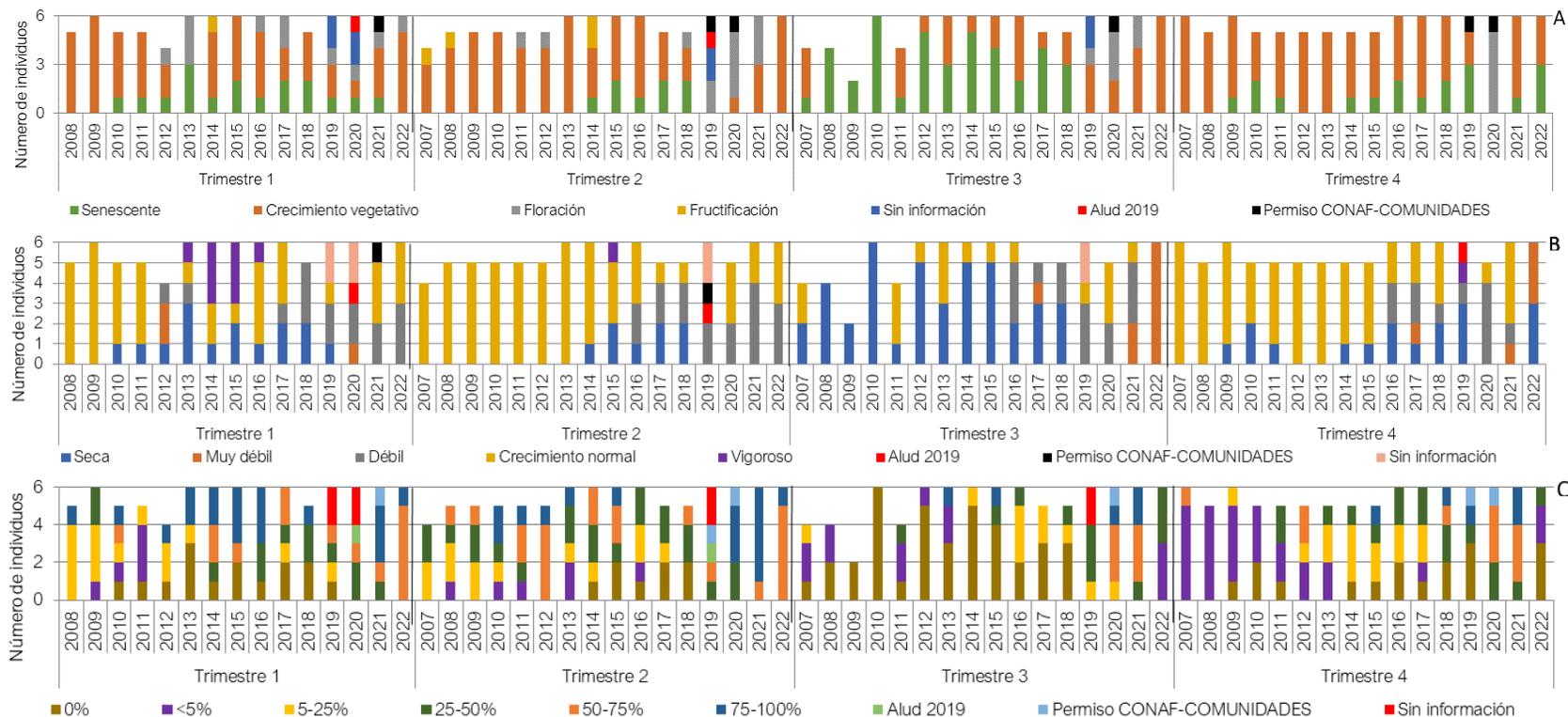
año 2016 aproximadamente), en su reemplazo se observa un aumento de ejemplares secos y débiles. En el monitoreo actual, se reportaron ejemplares en crecimiento normal en los trimestres uno y dos (enero y abril), observándose una disminución de ejemplares particularmente en el cuarto trimestre con respecto a los últimos años.

- Los individuos excepcionalmente vigorosos, se presentan de forma puntual y aislada en el área de monitoreo sin responder a una tendencia clara en el tiempo. No se observan durante el monitoreo actual.

El comportamiento y evolución histórica de la copa viva (porción de follaje fotosintéticamente activo) de *D. spicata* se presenta en la Figura 6-7 (C), en la cual se aprecia que:

- En el primer trimestre (enero) se observa una mayor cantidad de individuos con follaje superior al 25%. Este mes se caracteriza también por poseer históricamente registros variables, pudiendo ubicar ejemplares en todas las categorías de copa viva evaluadas (desde 0% a 100%). En el monitoreo actual se reportan todos los individuos con follaje superior al 50%.
- Durante el segundo trimestre (abril), se observa el primer indicio del comienzo del periodo recesivo de las plantas disminuyendo la cantidad de registros en las categorías mejores de copa viva (>50%) y aumentando los registros de individuos con porcentajes de copa viva menores al 50%, con excepción del año 2012, donde la mayoría de los individuos prospectados tuvieron porcentajes de copa viva entre 50-75% y desde el año 2020 hasta el actual predominaron individuos con follaje superior al 50%.
- En contraste al segundo trimestre, en julio aumentan los individuos dentro de la categoría de copa viva 0% en la mayoría de los años de monitoreo y aproximadamente desde el 2014 los individuos registrados con copa viva tuvieron porcentajes mayores a lo reportado años anteriores. Del mismo modo, desde esa fecha el número de individuos registrados aumentó. En los últimos tres monitoreos no se registraron ejemplares sin copa en este período, en 2022 los registros dan cuenta de tres ejemplares con copa entre <5%, tres ejemplares entre 5-25% de copa viva.
- En los primeros años de monitoreo se observa que en el cuarto trimestre predominan ejemplares con copa viva <5%. Desde 2014 se observa un aumento del follaje y ausencia de la categoría <5%. En 2022 se observan ejemplares sin follaje, y solo un individuo con copa viva superior al 25%, presentando diferencias con respecto al registro de años anteriores.

Figura 6-7. *Distichlis spicata*: Número de individuos por categoría de fenología (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por clase de copa viva (C), Campañas 2007 a 2022



Fuente: elaboración propia

6.2.3.3 *Nitrophila atacamensis*

Tal como se estableció en la RCA 226/2006, el número de individuos prospectado es variable en cada monitoreo, evaluándose los ejemplares existentes en cada parcela. Cabe señalar que, parte de esta variabilidad se produce porque la especie tiende a eliminar la biomasa aérea rebrotando en otro lugar en la temporada siguiente.

A continuación, se analiza la fenología, vitalidad y la copa viva de la especie.

Respecto a las observaciones del monitoreo de la fenología (Figura 6-8 A), se extrae lo siguiente:

- El comportamiento estacional de la planta se demuestra al observar los períodos de crecimiento vegetativo y senescencia a lo largo de los años, en donde en los meses previos al invierno los ejemplares presentan mayoritariamente crecimiento vegetativo y luego entran en fase de senescencia.
- Solo en los trimestres uno y dos se evidenció presencia de frutos (monitoreos de 2008 y 2009) y flores (2017, 2018 y 2020).
- En tres de cuatro de los monitoreos de 2022 se registraron plantas con crecimiento vegetativo.

De los resultados de vitalidad de la especie que se muestran en la Figura 6-8 (B), se extrae:

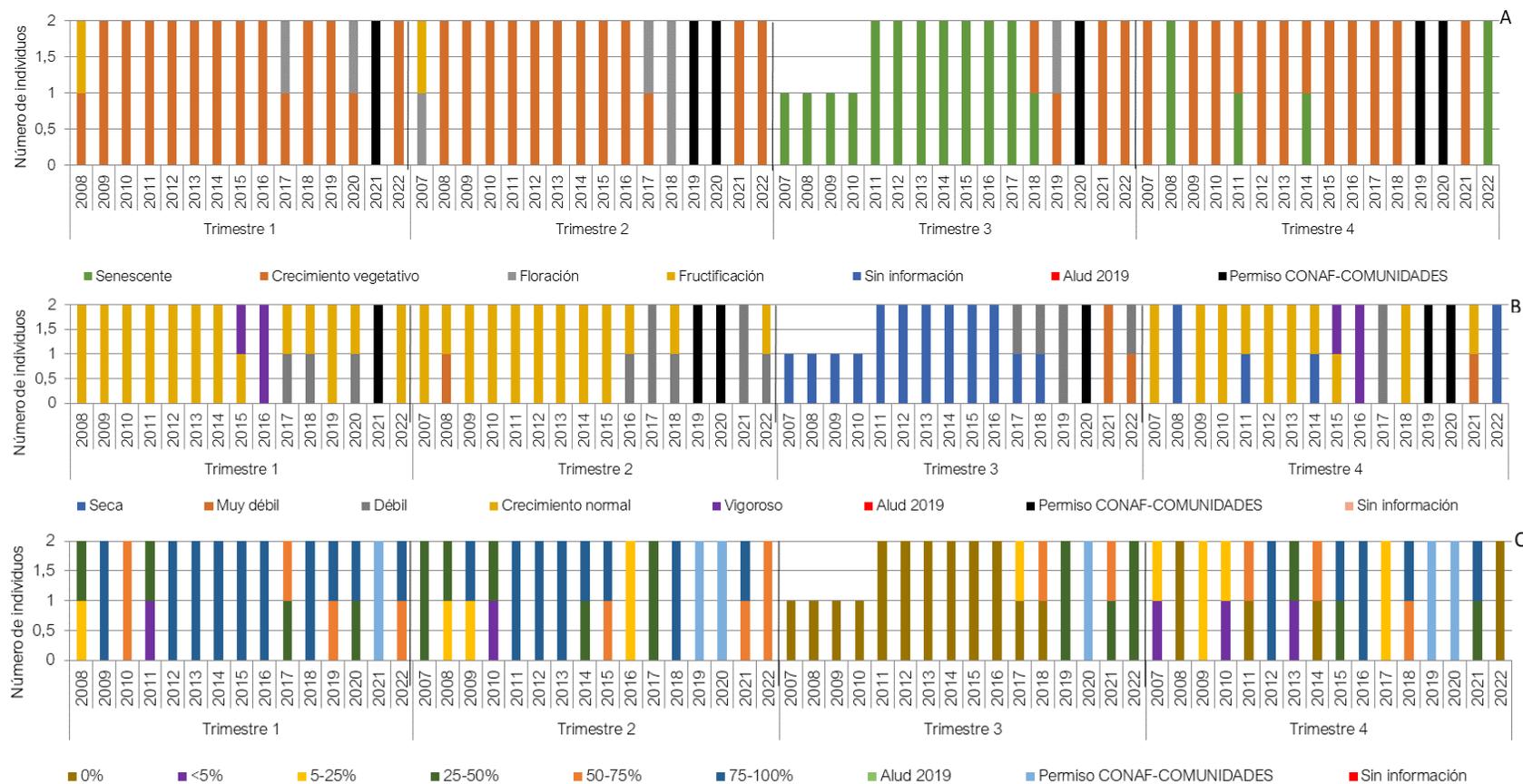
- En los primeros dos trimestres (enero y abril) predominan individuos con crecimiento normal, salvo en algunos años de monitoreo donde además de la categoría antes mencionada, predominaron ejemplares vigorosos (como el caso de enero de 2015 y 2016) o ejemplares débiles (como en los años 2017, 2018, enero de 2020 y abril de 2021).
- En el tercer trimestre del año (monitoreo de julio) los ejemplares se aprecian bajo la categoría seco, rebrotando hacia el mes de octubre. Solo en el año 2022 se registraron todos los ejemplares en crecimiento vegetativo.
- La vitalidad responde a patrones estacionales que se evidencian al observar la Figura 6-8 (B) conforme a la distribución dentro de todos los años de monitoreo. Dada la baja cantidad de individuos monitoreados históricamente, no es posible identificar alguna relación o tendencia de la vitalidad en el tiempo.

Los resultados del monitoreo de porcentaje de copa viva se presentan en la Figura 6-8 (C) y se comentan a continuación:

- La especie alcanza su máxima expresión de copa viva en torno a los monitoreos de enero y abril (predominando follaje verde superior al 25%).
- Durante la mayor parte de los años prospectados se observa una marcada tendencia de *N. atacamensis* a descartar toda su biomasa aérea en el período invernal (trimestre 3). Salvo los años 2017 a 2019, 2021 y 2022, donde se observa algún porcentaje de follaje en los 2 ejemplares monitoreados en esta época.

- Se aprecia que hacia el mes de octubre el follaje es variable entre categorías en el tiempo, si bien se muestran porcentajes menores que en los meses de verano y otoño, se considera una respuesta normal del rebrote en primavera. En el presente monitoreo se observan ambos individuos en categoría 0%.

Figura 6-8. *Nitrophila atacamensis*: Número de individuos por categoría de fenología (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por clase de copa viva (C), Campañas 2007 a 2022



Fuente: elaboración propia

6.2.3.4 *Tessaria absinthioides*

El estado vital de *Tessaria absinthioides* se evalúa en un total 123 ejemplares los que fueron identificados y etiquetados la primera campaña de monitoreo (2007). El seguimiento de estos individuos da cuenta, entre otras cosas del ciclo de vida de los individuos objeto de estudio.

A continuación, se analiza la fenología, vitalidad y la copa viva de la especie.

En la Figura 6-9 (A) presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares monitoreados. Al respecto:

- A través del tiempo se observa que hacia el primer trimestre (enero) los individuos con crecimiento vegetativo disminuyen, aumentando aquellos senescentes. Además, existe una cantidad variable de ejemplares con floración, que no muestra una tendencia hacia el alza o baja en el tiempo.
- En el segundo trimestre (abril) continúa predominando la senescencia (la cual aumenta en el tiempo) y crecimiento vegetativo (que disminuye en el tiempo). En algunos años se observaron individuos con frutos y flores. En el monitoreo actual, aumentó el número de individuos en crecimiento vegetativo y no se reportan individuos en floración.
- En el trimestre tres (julio), plena época de recesión vegetativa de las plantas, se observa predominio de ejemplos senescentes y solo en ocasiones puntuales (y en baja cantidad) se registran individuos con crecimiento vegetativo y floración. Sin embargo, en el monitoreo actual no disminuye el número de individuos con crecimiento vegetativo.
- En el cuarto trimestre (octubre), predominan los ejemplares senescentes y no se observa una tendencia hacia el alza o baja de su cantidad. Los ejemplares con crecimiento vegetativo también abundan, pero en menor medida. En los años 2016, 2019 y 2020 se registraron algunos individuos con flores.

La Figura 6-9 (B) muestra la vitalidad de la especie para todos los monitoreos, se extrae:

- En el primer trimestre (enero) los ejemplares secos muestran una tendencia al aumento. Por otra parte, los ejemplares con crecimiento normal muestran una disminución en este período a lo largo del tiempo. Sin embargo, a partir del año 2019 hasta el presente, se observa un aumento de esta categoría. Los individuos débiles se muestran en baja cantidad, mientras que aquellos muy débiles solo se han observado en los años 2019, 2020 y 2021. En el presente año, el número de individuos disminuye en relación con el año anterior. Los ejemplares vigorosos son escasos y se han presentado puntualmente entre los años 2012 a 2017 y en el 2021.
- En el segundo trimestre (abril), se observa que aumenta la vitalidad de las plantas, disminuyendo la cantidad de individuos secos y aumentando los débiles. Para el monitoreo 2022, se observan una tendencia al aumento de individuos secos, así como también de los individuos en crecimiento normal.
- En el tercer trimestre (julio), los individuos secos predominan en todos los años de monitoreo y solo desde el año 2019 hasta el presente, se ha observado un aumento del vigor para esta

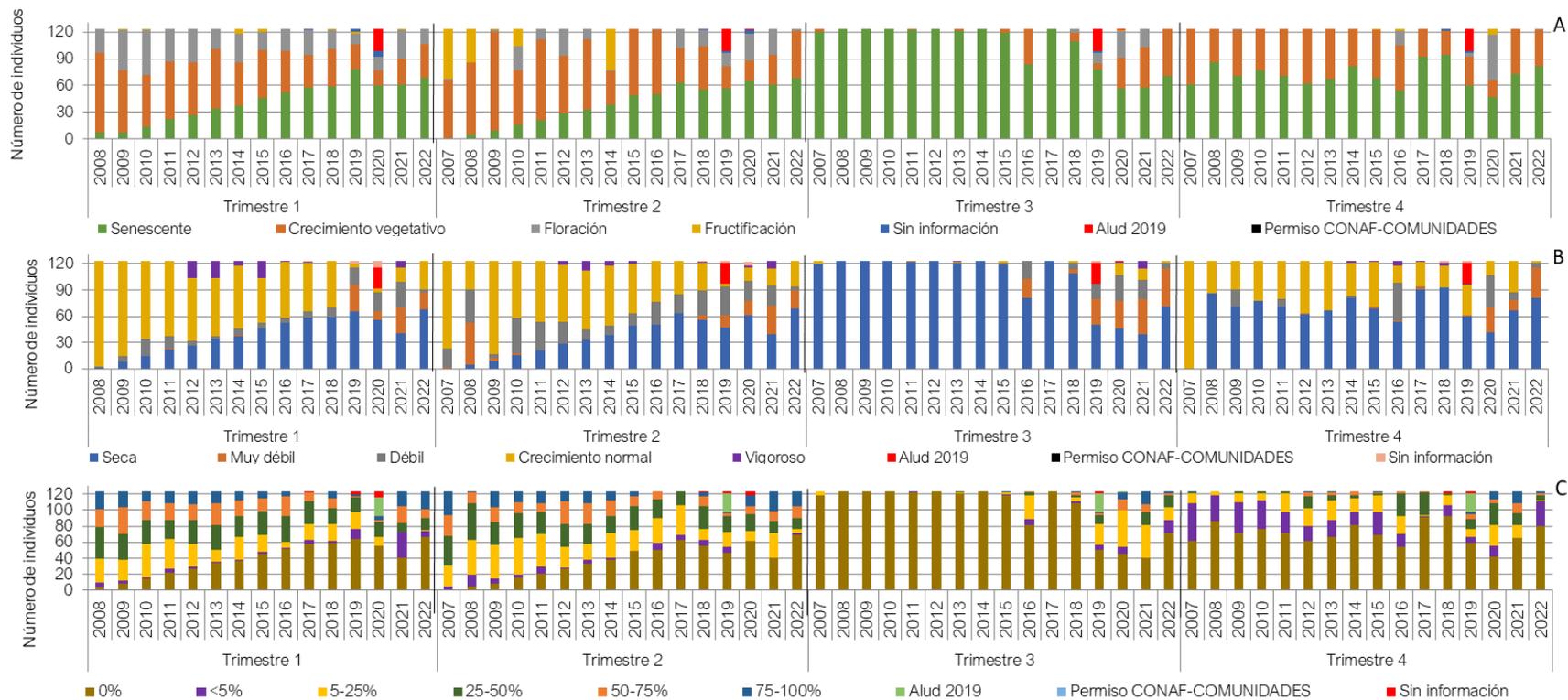
época (aumento de ejemplares muy débiles, débiles y solo unos pocos individuos con crecimiento normal).

- Hacia el cuarto trimestre (octubre) predominan los ejemplares secos sin observarse una tendencia hacia el alza o baja de su cantidad. Los ejemplares con crecimiento normal disminuyen considerablemente y abundan los individuos muy débiles.

La Figura 6-9 (C) representa el comportamiento de la Copa viva de en *Tessaria absinthioides*. De la figura se destaca lo siguiente:

- En el primer y segundo trimestre (enero y abril) los ejemplares sin copa muestran una tendencia al aumento. Los ejemplares con follaje menor al 5% son escasos. Se observa una predominancia de aquellos sobre 25-50%. En ambos trimestres se observa una importante cantidad de ejemplares con follaje superior al 50%.
- Hacia el tercer trimestre (julio), plena etapa de receso vegetativo de las plantas, se observa menor follaje, incluso un predominio de ejemplares sin copa viva. Se observa también un aumento del follaje, detectándose un número considerable de individuos en las categorías 5 -25% y 25-50%.
- En el cuarto trimestre las plantas comienzan a rebrotar, se observan signos de follaje (inferior al 5%), además de ejemplares con copa 5-25% en todos los años. Se observan individuos con follaje superior al 75% en los años 2020 y 2021. Este año particularmente se observan muy pocos individuos en altas categorías de follaje, y la gran mayoría corresponden a individuos sin follaje y con follaje <5%.
- En general, *Tessaria absinthioides* se comporta según lo esperado en un año de monitoreo. Si bien en los últimos años de monitoreo se venía observando un aumento de la vitalidad, en general, presenta tendencias hacia una disminución de esta variable en el tiempo, principalmente, en los primeros dos trimestres del año, lo que puede estar relacionado al muestreo de ejemplares fijos en el tiempo. Este año particularmente se observa que en el cuarto trimestre hay una tendencia a la disminución de individuos con follaje.

Figura 6-9. *Tessaria absinthioides*: Número de individuos por categoría de fenología (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por clase de copa viva (C), Campañas 2007 a 2022



Fuente: elaboración propia

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

La Tabla 6-16 y Figura 6-10, representan los estadígrafos asociados a la relación entre el contenido de humedad del suelo y la vitalidad de la vegetación presente en cada parcela de monitoreo para el periodo 2007 - 2022. La información del CHS proviene de los análisis del Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar en faena.

Tabla 6-16. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (g/g) por categoría de vitalidad para el período 2007-2022.

Vitalidad	N	Media	D.E	Min	Max	Mediana	Q1	Q3
0 - Seco	4.160	0,23	0,17	0,00	1,00	0,16	0,11	0,32
1-Muy débil	494	0,20	0,15	0,00	1,00	0,15	0,10	0,28
2-Débil	890	0,26	0,20	0,01	1,00	0,18	0,11	0,43
3-Crecimiento normal	3001	0,27	0,23	0,00	1,08	0,18	0,11	0,43
4-Excepcionalmente vigoroso	199	0,28	0,22	0,03	0,92	0,17	0,07	0,47

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

Fuente: elaboración propia

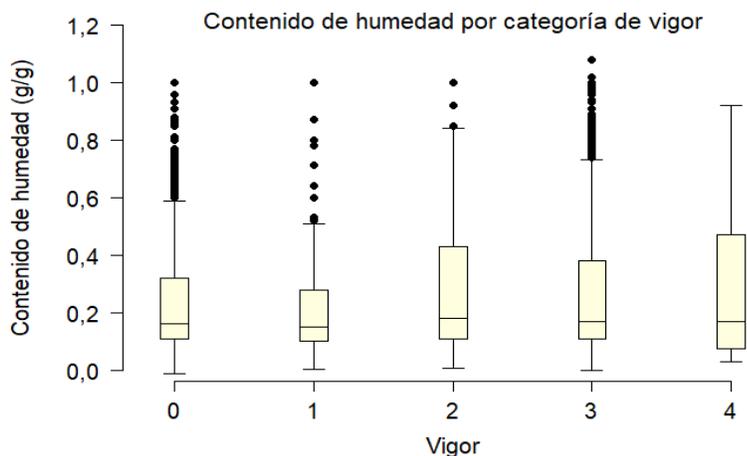
Teóricamente se puede esperar que las parcelas con mayor disponibilidad del CHS posean un mejor estado de vitalidad de sus individuos (normales o excepcionalmente vigorosos). Esto se confirma con el resultado del modelo multinivel disponible en el Anexo 5 Resultado modelo estadístico, donde se observa una relación significativa y positiva entre el CHS y la vitalidad de las plantas.

En las parcelas L7-7, 1027 y L2-25 (calificadas como parcelas pertenecientes al oeste del área estudiada), se presentan los máximos de contenido de humedad (saturación), observándose profundidad de napa promedio entre 0,39 m y 0,67 m. Pese a esta condición, en estas parcelas se registran individuos en todas las categorías de vitalidad, lo que tendría relación con los ciclos de vida de las plantas, ya que, al evaluarse individuos fijos en el tiempo, en el periodo 2006 - 2022 (16 años de monitoreo), algunos individuos pudieron completar su ciclo vital, lo cual estaría relacionado con la fisiología de la planta y no con el proyecto.

El promedio del CHS varía poco respecto a las categorías de vitalidad estudiadas, siendo mayor en la categoría excepcionalmente vigoroso. Los datos suelen estar más dispersos hacia el tercer cuartil (75% de los datos), es decir, hacia CHS mayores. Al igual que el año anterior, en la categoría seco (0), muy débil (1), débil (2) y crecimiento normal (3) se observan valores atípicos, lo que es esperable ya que se podrían estar evaluando individuos cuyo ciclo de vida haya terminado a pesar de las condiciones de humedad del sitio donde se establecen.

Figura 6-10. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad

Categoría de vitalidad: 0=Seco; 1=Muy débil; 2=Débil; 3=Normal; 4=Excepcionalmente vigoroso.



Fuente: elaboración propia

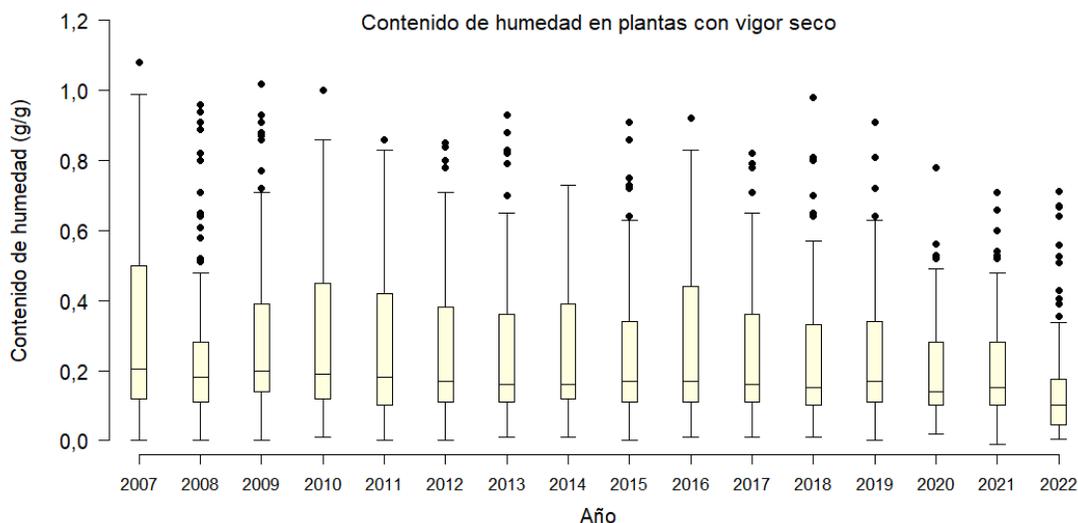
Por lo demás, las figuras siguientes ilustran el comportamiento temporal de la vitalidad de las plantas y el contenido de humedad gravimétrico del suelo asociado a las parcelas de monitoreo, en forma diferenciada por categoría de vitalidad para el período 2007 – 2022.

- **Categoría seco** (Figura 6-11): Desde el año 2007 se han reportado plantas bajo esta categoría de vitalidad. La serie completa de tiempo reporta valores de CHS promedio de 0,23 g/g; mediana 0,16 g/g y valor máximo 1,00 g/g. Los valores de CHS tienden a dispersarse de forma similar entre el primer y tercer cuartil de los datos en los dos primeros años de monitoreo (2007 y 2008), mientras que desde el año 2009 en adelante se observa mayor dispersión del CHS hacia el tercer cuartil (75% de los datos), es decir, hacia contenidos de humedad del suelo mayores.

En esta categoría de vitalidad el CHS tiende a disminuir en el tiempo, lo que se aprecia al observar la amplitud del rango intercuartílico hacia los últimos años de monitoreo, el cual se hace más pequeño en el tiempo. Así como la magnitud de los valores máximos, la cual también disminuye en el tiempo.

Al igual que los años anteriores, en el monitoreo actual 2022, hay individuos en categoría seco en suelos con alto contenido de humedad, lo que podría estar relacionado al término del ciclo vital de algunos individuos, hecho que pudo ocurrir independiente de las condiciones del sitio donde se hayan ubicado.

Figura 6-11. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad seco, desde el año 2007 al 2022



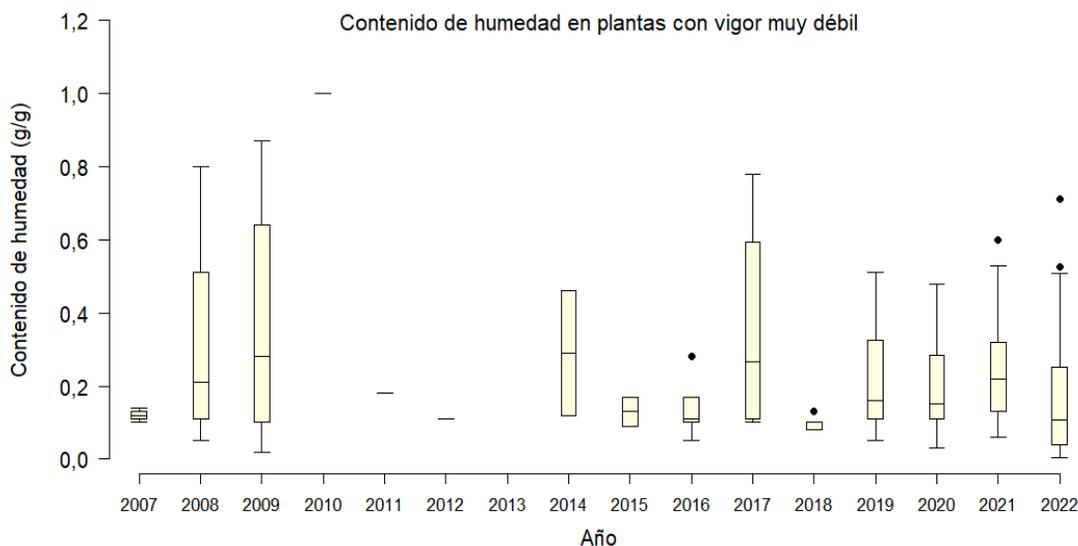
Fuente: elaboración propia

- **Categoría muy débil** (Figura 6-12): La presencia de individuos bajo esta categoría es ocasional en el tiempo, con observaciones particularmente altas en 2008, 2009, 2014, 2017, 2019, 2020, 2021 y 2022. En el año base se reporta un valor de contenido de humedad promedio de 0,12 g/g, mientras que en el período siguiente (2008) el valor promedio incrementa a 0,32 g/g con una mediana de 0,21 g/g y valor máximo de 0,80 g/g. A pesar del incremento en el CHS, la ocurrencia de plantas muy débiles aumentó, lo que indicaría que esto se podría deber a que el vigor es una variable cualitativa, la cual depende en muchas ocasiones del parámetro establecido por el observador.

En el reporte del presente año, se observa un leve aumento en la cantidad de plantas en esta categoría respecto del año anterior y una concentración similar de los datos en ambos cuartiles para el CHS, indicando que las plantas de vigor muy débil se han observado en situaciones variadas de CHS, incluso en sectores donde se alcanzan los 0,7 g/g.

El contenido de humedad promedio (2007 - 2022) de las parcelas donde se ubican estos ejemplares es relativamente alto (0,20 g/g), mediana de 0,15 g/g, máximo de 1,00 g/g y mínimo de 0,00 g/g, indicando una baja relación entre el CHS y el número de individuos en esta categoría. Además, no muestra una tendencia marcada en el tiempo.

Figura 6-12. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad muy débil, desde el año 2007 al 2022



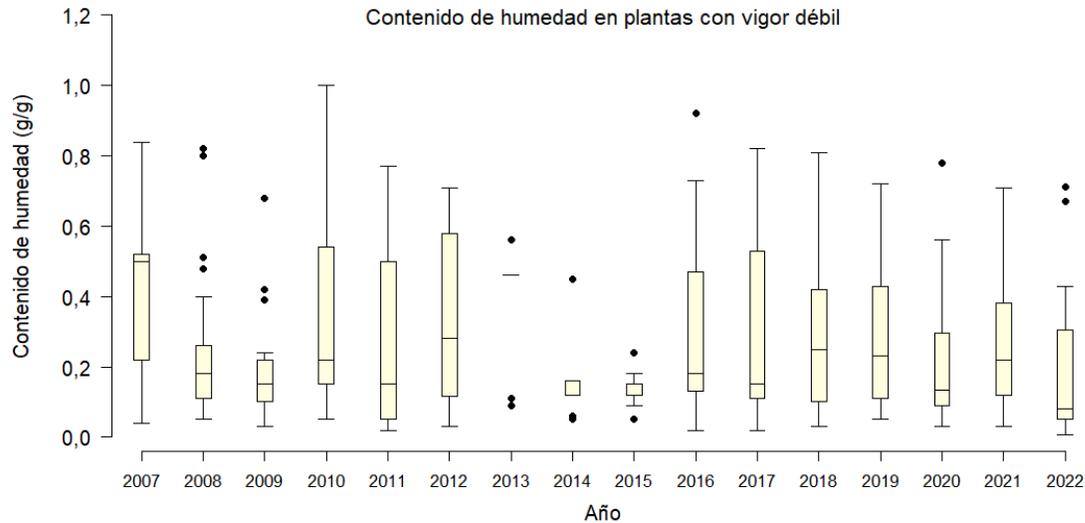
Fuente: elaboración propia

- **Categoría débil** (Figura 6-13), En el monitoreo del 2007 el valor promedio de contenido de humedad fue de 0,45 g/g, mediana de 0,5 g/g con un máximo de 0,84 g/g. El contenido de humedad para el período 2007-2022 reporta un promedio de 0,26 g/g, mediana de 0,18 g/g y un máximo de 1,00 g/g. A través de los años se observa que los monitoreos de 2013, 2014 y 2015 concentran la mayor cantidad de individuos bajo esta categoría en CHS inferiores a 0,2 g/g.

A diferencia del año anterior, en el 2022 se observa una mayor dispersión hacia el tercer cuartil de los datos (75% de la muestra). Por otra parte, el rango de CHS para las plantas en esta categoría es menor que el año anterior, a pesar de que algunos datos atípicos se acercan a los valores máximos reportados en el año 2021 (aproximadamente 0,7 g/g).

A través de los años, se observa que el CHS donde se emplazan ejemplares débiles es variable y no muestra una tendencia en el tiempo.

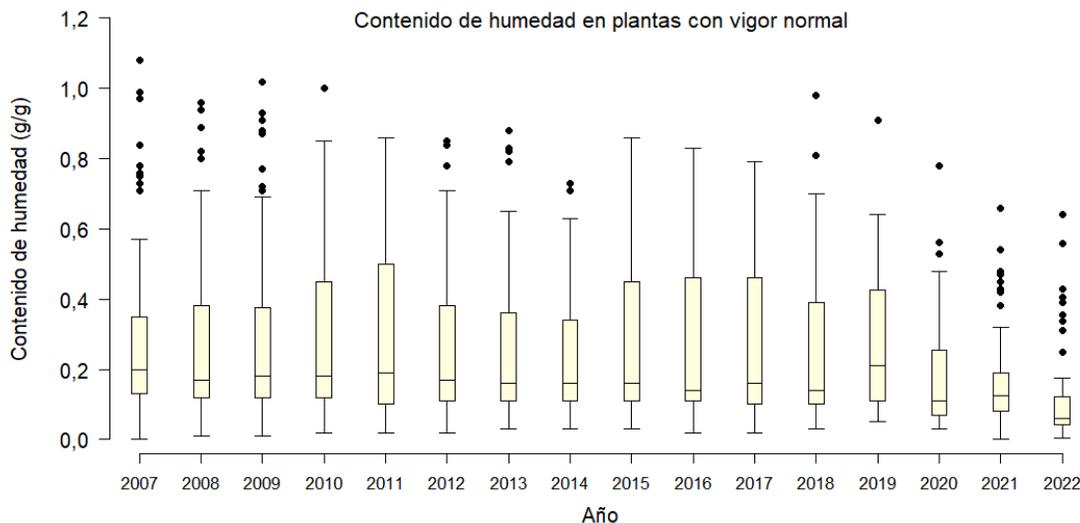
Figura 6-13. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad débil, desde el año 2007 al 2022



Fuente: elaboración propia

- **Categoría normal** (Figura 6-14): En general, esta categoría se ha mantenido estable en el tiempo respecto al contenido de humedad del suelo, con variaciones que se observan a lo largo de todo el periodo de análisis, además de una tendencia a la baja de los valores máximos de CHS a partir del año 2015. Durante el año base (2007) el valor promedio del CHS alcanzó 0,28 g/g, mediana de 0,20 g/g con un máximo de 1,08 g/g. Considerando el período de monitoreo 2007 - 2022, estos valores alcanzaron 0,27 g/g de promedio, mediana 0,18 g/g y máximo 1,08 g/g. A diferencia de los monitoreos anteriores, los datos del 2022 muestran una concentración de los individuos normales a contenidos de humedad del suelo inferior a 0,15 g/g, además de varios valores atípicos, lo que podría indicar que las plantas se encuentran en buenas condiciones de vitalidad a bajo contenido de humedad del suelo (a la profundidad de la toma de muestras).

Figura 6-14. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad crecimiento normal, desde el año 2007 al 2022



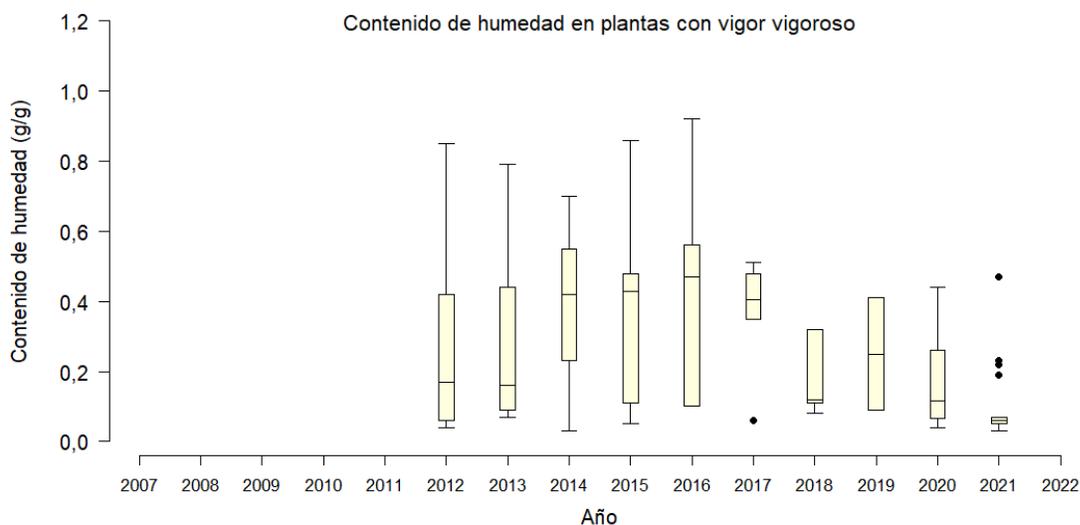
Fuente: elaboración propia

- **Categoría excepcionalmente vigoroso** (Figura 6-15): Los individuos caracterizados bajo esta categoría han sido escasos en el tiempo y reportados a partir del año 2012 (Ver sección 6.3). Al igual que para otras categorías de vitalidad, los individuos vigorosos están presentes bajo niveles de CHS muy variables, pero por lo general se presentan en condiciones de alta humedad.

El año 2022 no presentó individuos en esta categoría, por lo que no es posible llevar a cabo una comparación respecto a la situación que se evidenció en el año 2021, donde se observó una serie de datos atípicos con ejemplares vigorosos donde hay un CHS bajo.

A través de los años, se observa que el CHS donde se emplazan ejemplares excepcionalmente vigorosos es variable y no muestra una tendencia marcada en el tiempo.

Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad excepcionalmente vigoroso, desde el año 2007 al 2022



Fuente: elaboración propia

6.4 Relación de la vitalidad de la vegetación y la profundidad de la napa

La Tabla 6-17 representa los estadígrafos generales para la relación entre la profundidad de la napa freática y la vitalidad de las plantas (seco (0), muy débil (1), débil (2), crecimiento normal (3) y excepcionalmente vigoroso (4)) y la Figura 6-16 ilustra estos resultados. Se puede apreciar que las profundidades promedio de la napa reportada para cada categoría de vitalidad varían entre 2,32 m y 2,70 m, siendo similares los promedios entre las categorías de vitalidad seco y normal. Una mayor diferencia se aprecia al comparar las medianas, donde la categoría excepcionalmente vigoroso (4) presenta los valores más cercanos a la superficie (1,99 m) y la categoría muy débil (1) presenta los valores de mayor profundidad (2,36 m).

El resultado del modelo multinivel, disponible en el Anexo 5, muestra una relación significativa y positiva entre la profundidad y la vitalidad de las plantas ($p=0,003$), hecho que no es biológicamente razonable, dado que es de esperar que, a mayor disponibilidad de agua (menor profundidad de la napa), las plantas presenten mejores categorías de vitalidad. Este resultado podría estar relacionado al diseño muestral, ya que se evalúa individuos fijos en el tiempo, dado que se podrían estar evaluando ejemplares que ya han cumplido su ciclo vital (secos) en todos los sectores donde se evalúa la profundidad. Si bien, este método es utilizado ampliamente para describir el crecimiento de poblaciones vegetales (principalmente bosques) en el tiempo (Gadow et al, 1999), posee limitaciones que podrían estar influyendo en los resultados del presente informe. Las parcelas permanentes suelen ser representativas de sí mismas (Gadow et al, 1999) y no de una unidad de vegetación, por lo que es probable excluir variables poblacionales de interés. Además, de contar con información incompleta para estudios de dinámica ya que solo proporcionan información sobre los ejemplares

incluidos en el muestreo y mortalidad, por lo que no permiten verificar regeneración u otros parámetros (Felfili et al, 2005).

El promedio de la profundidad de la napa se mantiene relativamente constante respecto a las categorías de vitalidad estudiadas. Las categorías con mayor promedio corresponden a muy débil y débil. Los datos tienden a estar más dispersos hacia el primer cuartil (25% de los datos), es decir, hacia niveles más profundos; en la categoría seco (0) se observan valores atípicos de profundidad, lo que es esperable ya que se podrían estar evaluando individuos cuyo ciclo de vida haya terminado a pesar de las condiciones de humedad del sitio donde se establecen.

Tabla 6-17. Resumen de la variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad

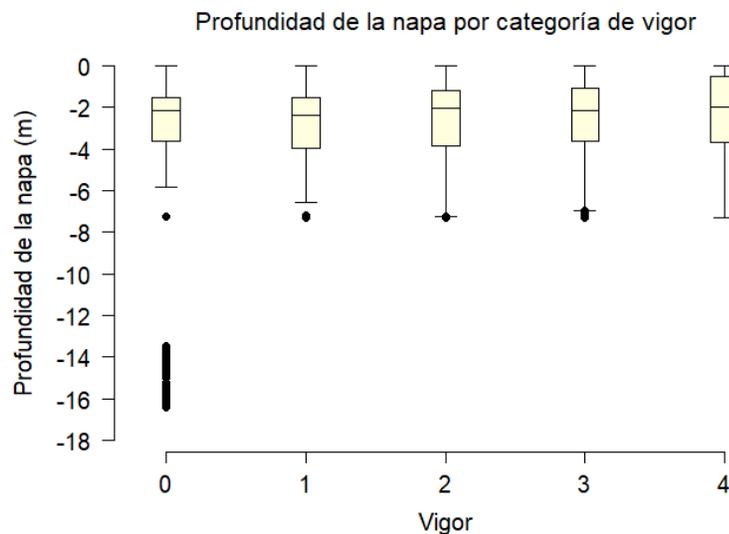
Vitalidad	N	Media	D.E.	Min	Max	Mediana	Q1	Q3
0-Seco	4.160	2,67	2,10	0,00	16,41	2,14	1,56	3,64
1-Muy débil	494	2,70	1,71	0,00	7,28	2,36	1,51	3,94
2-Débil	870	2,70	1,84	0,00	7,28	2,03	1,18	3,82
3-Crecimiento normal	3.001	2,65	1,82	0,00	7,28	2,18	1,07	3,63
4-Excepcionalmente vigoroso	199	2,32	2,02	0,00	7,28	1,99	0,52	3,70

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

Fuente: elaboración propia

Figura 6-16. Variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad

Categoría de vitalidad: 0=Seco; 1=Muy débil; 2=Débil; 3=Normal; 4=Excepcionalmente vigoroso.

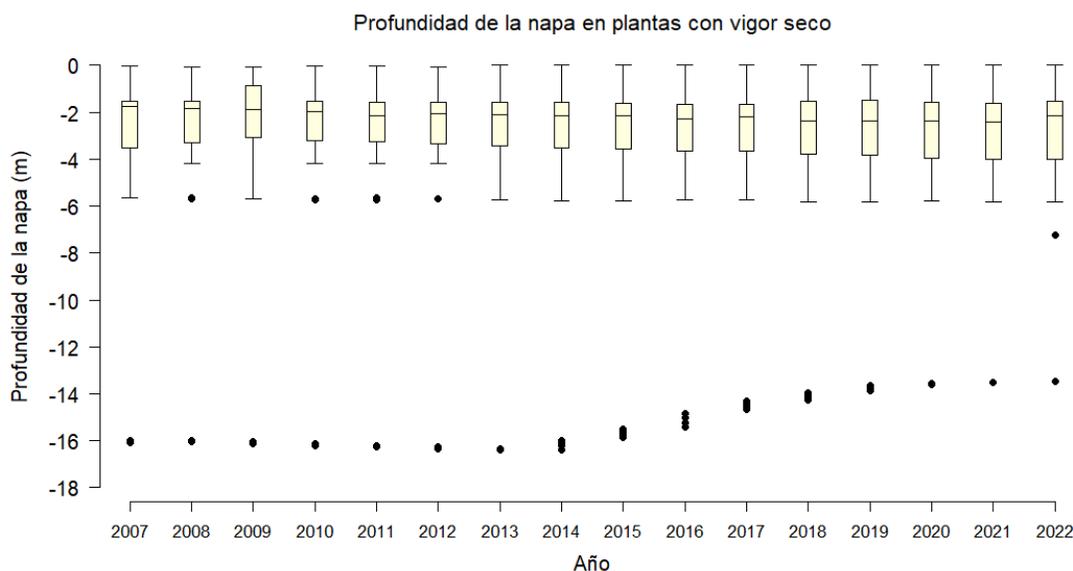


Fuente: elaboración propia

Por lo demás, la Figura 6-17 a Figura 6-21 ilustran el comportamiento temporal de la profundidad de la napa en forma diferenciada por categoría de vitalidad de las plantas para el periodo 2007-2022.

- **Categoría Seco** (Figura 6-17): Como se mencionó anteriormente, la categoría de vitalidad seco se ha registrado desde el año base (2007) donde la napa tuvo un valor promedio de 2,57 m; mediana de 1,77 m y valor máximo de 16,09 m. En la serie de tiempo 2007 - 2022 se registraron individuos en esta categoría de vitalidad con una profundidad de napa promedio 2,67 m; mediana 2,14 m y valor máximo reportado de 16,41 m. La profundidad de napa suele ser más dispersa en el primer cuartil de datos (25% de la muestra) respecto a la mediana (<2,14 m). Se observan valores atípicos en todos los períodos, estos corresponden a la medición del pozo L4-3 que históricamente ha registrado la napa a una gran profundidad, la cual ha incrementado su nivel en el tiempo a partir del año 2014 hasta la actualidad.

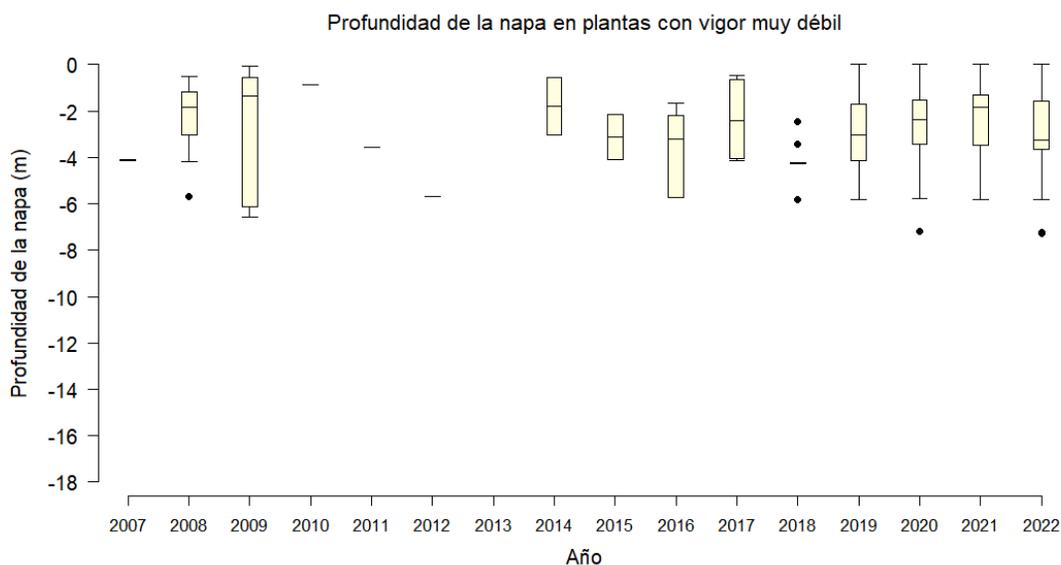
Figura 6-17. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad seco, desde el año 2007 al 2022



Fuente: elaboración propia

- **Categoría muy débil** (Figura 6-18): La ocurrencia en el tiempo de individuos bajo esta categoría es baja (Ver sección 6.3). Para el año 2007 se reportó un valor promedio de 4,12 m de profundidad de la napa; posteriormente, en el año 2008 el valor promedio de profundidad se reduce a 2,21 m con una mediana de 1,85 m y valor máximo de 5,70 m. Para la serie temporal 2007 - 2022 se registra un leve aumento en la profundidad promedio con respecto a la serie contemplada hasta 2021, pasando de 2,63 m a 2,70 m, mediana de 2,36 m y máximo de 7,28 m. No se observa un patrón en la ocurrencia de ejemplares muy débiles, ya que se registran ejemplares bajo esta categoría a distintas profundidades.

Figura 6-18. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad muy débil, desde el año 2007 al 2022

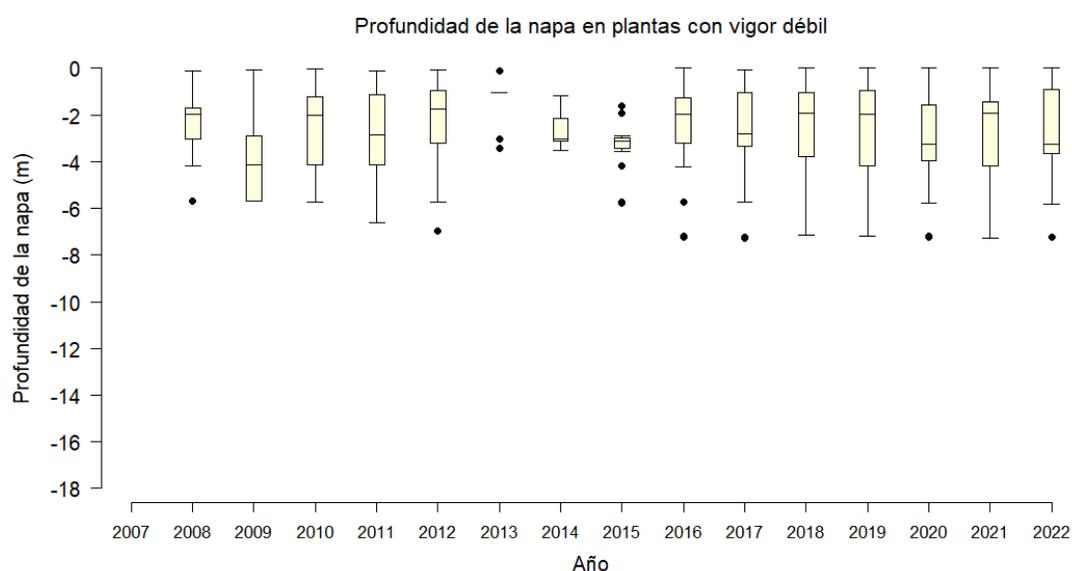


Fuente: elaboración propia

- **Categoría débil** (Figura 6-19): Las plantas clasificadas bajo esta categoría comienzan a reportarse desde el año 2007, sin embargo, no se cuenta con datos de profundidad para ese período, por lo que el gráfico analizado comienza el año 2008, donde se registró una profundidad promedio de 2,68 m; mediana de 1,99 m y máximo de 5,70 m. La profundidad de la napa para el período 2008 – 2022 tiene en promedio 2,70 m; mediana de 2,03 m y un valor máximo de 7,28 m. En 2022 se observa que en contraste con el año anterior los datos son más dispersos hacia el tercer cuartil del BoxPlot, tal como se observó en los monitoreos de los años 2017 y 2020. A pesar de esta diferencia, en los últimos cuatro años de monitoreo se han registrado individuos débiles a profundidades de hasta aproximadamente 7 metros.

No se observa un patrón en la ocurrencia de ejemplares débiles, ya que se registran ejemplares bajo esta categoría desde profundidades bajas (incluso en sectores surgentes) hasta aproximadamente los 7 m.

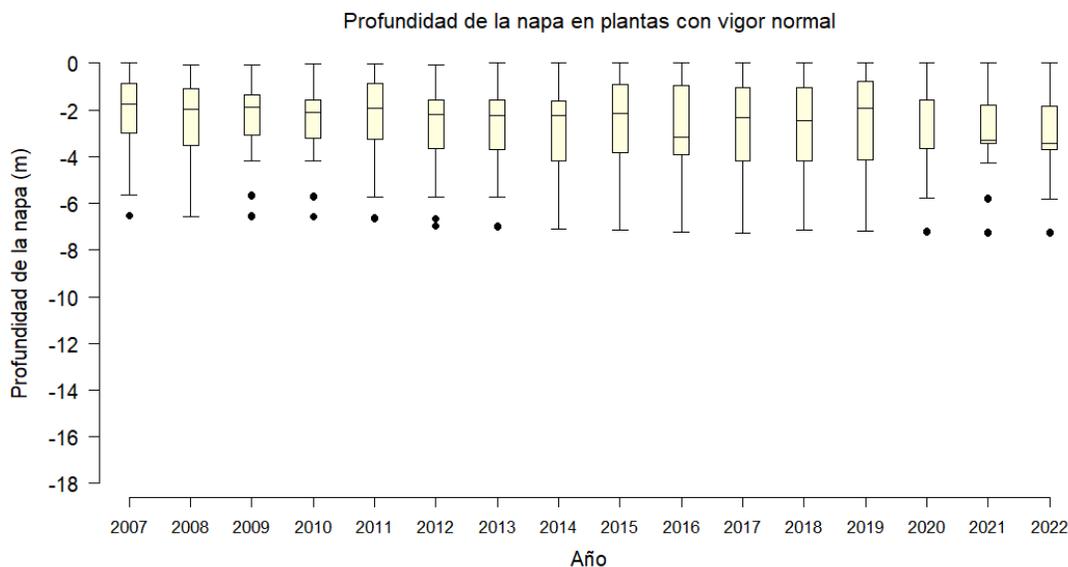
Figura 6-19. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad débil, desde el año 2007 al 2022



Fuente: elaboración propia

- **Categoría normal** (Figura 6-20): En 2007 esta categoría presentó un valor promedio de profundidad de la napa de 2,33 m; mediana de 1,76 m y un máximo de 6,53 m. La profundidad para el período 2007 – 2022 reporta un promedio de 2,64 m; mediana de 2,15 m y un máximo de 7,28 m. Para el período 2022, al igual que en período anterior, se observa que las plantas con vigor normal se distribuyen principalmente hacia el primer cuartil de los datos, es decir, hacia menor profundidad de la napa, llegando como máximo a los seis metros. Se observa solo un valor atípico.

Figura 6-20. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad crecimiento normal, desde el año 2007 al 2022

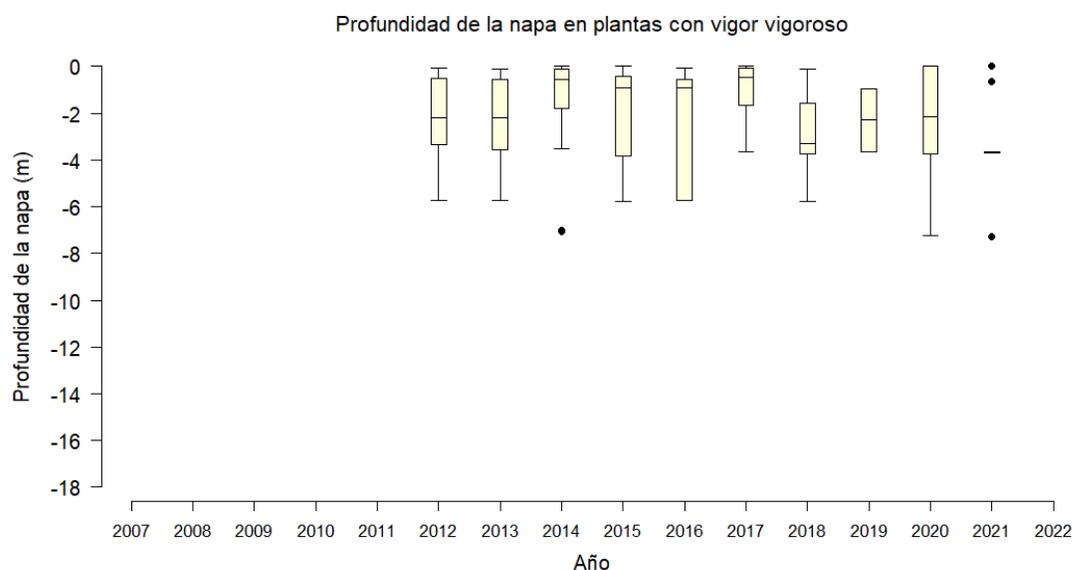


Fuente: elaboración propia

- **Categoría excepcionalmente vigoroso** (Figura 6-21): Como se mencionó anteriormente esta categoría ha sido descrita en las parcelas desde el año 2012 (ver sección 6.3). La profundidad de la napa para el año 2012 reportó un promedio de 2,16 m, mediana 2,18 m y valor máximo de 5,72 m; para el período 2012 – 2022, la profundidad a la cual se encuentran estos individuos es variable entre las observaciones, describiéndose una profundidad promedio de 2,32 m; mediana de 1,99 m y máximo de 7,28 m. En el presente monitoreo no se observaron individuos en esta categoría, por lo que no se observan registros en el Boxplot y se mantienen los valores reportados hasta el año 2021.

No se observa un patrón en la ocurrencia de ejemplares excepcionalmente vigorosos, ya que se registran ejemplares bajo esta categoría desde profundidades bajas (incluso en sectores surgentes) e incluso en sectores donde la napa se ubica a 7 metros de profundidad.

Figura 6-21. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad excepcionalmente vigoroso, desde el año 2007 al 2022



Fuente: elaboración propia

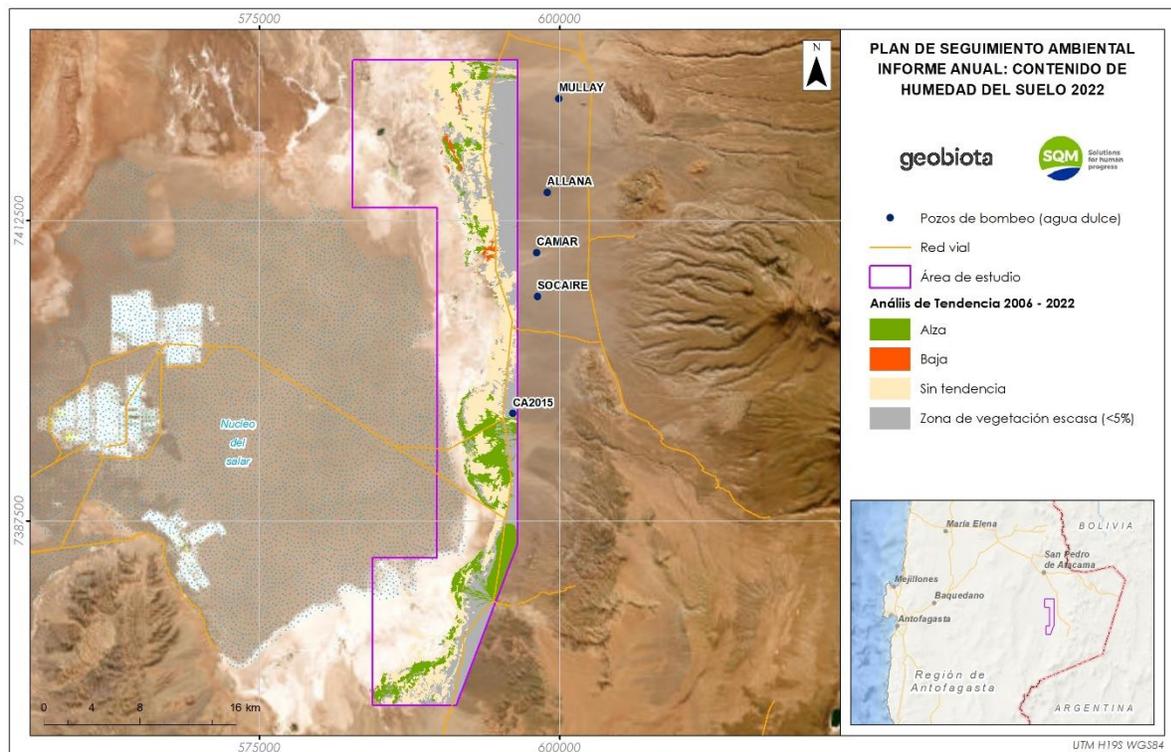
6.4.1 Relación de la profundidad de la napa con la actividad vegetal medida como NDVI

De acuerdo con los resultados del Anexo 7 Análisis de la dinámica vegetacional en el Borde Este del Salar de Atacama, la vegetación presente en el Borde Este del Salar de Atacama no muestra una tendencia significativa entre su cobertura vegetal (medida como NDVI) y el aumento de la profundidad de la napa ya que gran parte de las unidades de vegetación analizadas no presentan tendencia (42,3% del total de unidades), corresponden a zona de vegetación escasa (cobertura vegetal menor al 5%) (37,7% del total de unidades) o la tendencia es al alza de la actividad vegetal en el tiempo (19,1% del total de unidades). En efecto, solo un 0,9% de las unidades estudiadas (201,29 ha) presentan tendencia significativa a la baja de la actividad vegetal.

De las 201,29 ha con tendencia significativa a la baja de la actividad vegetal en el tiempo, 193,8 ha se analizaron con el nivel del acuífero al tener en sus cercanías algún pozo de referencia del PSAH. Al respecto, 176,76 ha no tuvieron relación significativa entre la actividad vegetal y la profundidad del acuífero en el tiempo, mientras que solo 17,04 ha presentaron relación, la cual fue de carácter positivo, es decir, a medida que disminuye el NDVI la profundidad del acuífero aumenta (relación sin sentido biológico).

De acuerdo con estos resultados, no se verificarían efectos del Proyecto sobre la vegetación en su período de operación.

Figura 6-22. Distribución de área con tendencia en el Período 2006-2022



Fuente: elaboración propia

7 Conclusiones

Durante el 2022, el monitoreo de profundidad de la napa no se llevó a cabo en los pozos L7-7 y 1027 debido a restricciones de acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos. Además, en el mes de abril, tampoco se contó con el permiso de ingreso a estos dos pozos para la medición de la profundidad de la napa.

Respecto al contenido de humedad gravimétrico del suelo, conforme a lo esperado y a lo que se ha observado en los reportes anteriores, las parcelas ubicadas al oeste presentan mayor contenido de agua y mayor variación que aquellas ubicadas al este del área de estudio. Los datos de la ETFA Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA. reporta valores inferiores a los del Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar, diferencia que se acentúa en las muestras tomadas en las parcelas ubicadas al oeste, lo que tendría relación con la cantidad de agua en las muestras y el tiempo transcurrido entre los análisis, teniendo en consideración que las muestras de la ETFA son enviadas a la Región Metropolitana para su posterior análisis.

De la totalidad de parcelas monitoreadas un 55,6% registró un CHS que disminuye significativamente en el tiempo. Mientras que un 5,6% del total mostró una tendencia significativa al alza (un pozo; L4-3). Por su parte, un 38,9% se presentó sin tendencia.

En el monitoreo actual, 10 parcelas (55,6% del total), registraron una disminución del promedio anual del CHS, respecto del año anterior. El máximo CHS promedio anual del 2022 se registró en el pozo 1027 y alcanzó los 0,673 g/g, mientras que el mínimo se observó en el pozo L1-3 con 0,009 g/g. Estos datos están relacionados con la ubicación de los pozos en el territorio, ya que el pozo 1027 es uno de aquellos ubicados en el poniente del Borde Este del Salar, sector donde la profundidad de la napa es más somera); por otra parte, el pozo L1-3 que, si bien no posee la ubicación más al este con respecto a otras parcelas, tampoco se ubica al final de la sección aluvial del Borde Este del Salar (donde la profundidad de la napa alcanza los 13,5 m en promedio este año). Cabe mencionar que el pozo L4-3 ha presentado históricamente el valor promedio más bajo reportado desde el año 2007 hasta 2021, por lo que el valor reportado en este año, particularmente el valor correspondiente al mes de abril podría ser considerado un valor atípico que queda en estudio y a la espera de ser revisado para su validación.

Respecto a la profundidad de la napa, el 77,8% de los pozos estudiados poseen una tendencia significativa al alza, lo que muestra un aumento de la profundidad conforme pasa el tiempo. Mientras que un 11,1% posee una tendencia significativa a la baja de esta variable (dos pozos; L3-5 y L4-3). Además, un 11,1% se muestra sin tendencia (pozo L7-14 y L4-17).

Las variables CHS y profundidad de la napa freática muestran relaciones exponenciales positivas, con coeficientes de correlación altos, por lo que el aumento o disminución del nivel freático podría incidir en el contenido de humedad de las muestras de suelo, en especial, en sectores con napas más someras. Los resultados sugieren que, en los puntos de muestreo ubicados al oeste del área de estudio, la relación entre las variables es más fuerte.

A pesar de la buena correlación entre las variables, se observan variaciones del CHS en parcelas donde los pozos adyacentes registran niveles cercanos a la superficie, por lo que estas fluctuaciones podrían relacionarse, además de las variaciones en el acuífero, a factores ambientales como la radiación, evaporación y precipitaciones.

Respecto a la vegetación, los resultados indican procesos fenológicos normales de las plantas en el período de un año, que implican aumento y reducción del follaje verde o producción de estructuras reproductivas en los distintos meses de monitoreo. Así, la vegetación en su mayoría responde de forma habitual a la disponibilidad hídrica de cada período de tiempo (monitoreos de verano, otoño, invierno y primavera), observándose las etapas de vitalidad esperadas en cada una de las especies prospectadas, exceptuando el cuarto trimestre (octubre), donde se observó un mayor número de individuos muy débiles y una disminución de individuos con crecimiento normal con respecto al año anterior, además de una ausencia total de individuos vigorosos. El resto de los monitoreos tiende a seguir las etapas de vitalidad esperadas: mayor expresión de la copa viva, crecimiento normal y crecimiento vegetativo en los meses de verano y otoño e invierno con porcentajes de copa viva cercanos al 0%, con un mayor número de individuos secos y senescentes.

Una parte de los individuos prospectados permaneció durante los cuatro trimestres bajo las categorías de copa viva 0%, vitalidad seco y fenología senescente; estos muestran una tendencia al alza en el tiempo, lo que estaría relacionado al diseño muestral del monitoreo el cual estableció hace 15 años el monitoreo de individuos fijos, por lo que la muerte de ejemplares podría responder al ciclo normal de las plantas prospectadas y no reflejar fielmente la dinámica de la vegetación adyacente a los pozos, al descartar la medición de nuevos ejemplares en estas parcelas o en un área mayor, lo que se puede verificar en el Anexo 1 Estado vital de la vegetación, donde se muestran fotografías de cada una de las calicatas prospectadas y parte de las parcelas de monitoreo, las que da cuenta ejemplares de regeneración en ellas.

El resultado del modelo multinivel entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo y la vitalidad de las plantas indica que existe relación entre las variables, la cual es positiva y significativa, esto es, que, a mayor contenido de humedad en el suelo, mayor es el vigor de la vegetación. Por su parte, el resultado del análisis entre la profundidad de la napa y la vitalidad también indica una correlación positiva y significativa entre las variables, lo que no es biológicamente posible (dado que es de esperar que, a mayor disponibilidad de agua, expresada como una menor profundidad de la napa, las plantas posean mejores categorías de vitalidad), por lo que este resultado no implica causalidad entre las variables.

Por otro lado, los resultados expuestos en la sección 6.5.1. y Anexo 7 Análisis de la dinámica vegetacional en el Borde Este del Salar de Atacama dan cuenta que la vegetación presente en el Borde Este del Salar de Atacama no muestra una tendencia significativa entre su cobertura vegetal (medida como NDVI) y el aumento de la profundidad de la napa.

8 Referencias

- Brady, C. y Weil, R. 2008. The Nature and Properties of Soils. 14th Ed. Pearson International Edition. 975 p.
- Escobar, D; Escobar, P y C, Enrique. 2016. GEOMECÁNICA: Capitulo 2: Relaciones gravimétricas y volumétricas del suelo. Universidad Nacional de Colombia.
- Felfili J, F. Calvalho y R. Haidar. 2005. Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas cerrado e pantanal. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal. 15 pp.
- Freas, K. E. (1987). *Life history evolution and reproductive strategies in Distichlis spicata (L.) Greene, Poaceae*. New Mexico State University.
- Gadow, K, Rojo, A, J. Álvarez y R. Rodríguez. 1999. Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo. Escola Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela. Campus universitario. 27002 Lugo. España.
- 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.
- SQM (2020). Anexo 6.1. Niveles formato Res.894 (Plan de seguimiento ambiental hidrogeológico), 2020.
- Santibáñez, C (s.f). Determinación de la humedad del suelo. MENESUP. Universidad de Chile. Pregrado en ciencias de la tierra.
- ISO 11465:1993(E). Soil quality. Determination of dry matter and water content on a mass basis-Gravimetric method.