

Informe Anual
Monitoreo Contenido de Humedad del Suelo 2020

Plan de Seguimiento Ambiental Biótico Proyecto Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama Región de Antofagasta

Preparado para
SQM Salar
GEOB.SQMSL667.INF01
Junio 2021

geobiota



Contenido

1.	RESUMEN	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	4
3.	OBJETIVO	5
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
	4.1.Descripción del área de estudio	6
	4.2.Ubicación de los puntos de muestreo	6
	4.3.Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	8
	4.4.Metodología.....	8
	4.4.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo	8
	4.4.2. Profundidad de la napa subterránea	11
	4.4.3. Estado vital de la vegetación	12
	4.4.4. Relación entre las variables monitoreadas	14
	4.5.Materiales.....	15
	4.5.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo	15
	4.5.2. Profundidad de la napa subterránea	15
	4.5.3. Vitalidad de la vegetación	16
	4.6.Fecha de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro	16
	4.6.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo	16
	4.6.2. Profundidad de la napa subterránea	16
	4.6.3. Estado vital de la vegetación	17
5.	RESULTADOS.....	18
	5.1.Contenido de humedad del suelo.....	18
	5.1.1. Laboratorio Algoritmos SpA.	18
	5.1.2. Laboratorio metalúrgico SQM Salar	19
	5.1.3. Relación de los valores reportados entre laboratorios	21
	5.2.Profundidad de la napa	22
	5.3.Relación Contenido de humedad y napa freática.....	24
	5.3.1. Laboratorio Algoritmos SpA	24
	5.3.2. Laboratorio metalúrgico faena SQM Salar	26
	5.4.Estado vital de la vegetación.....	27
	5.4.1. Fenología	28
	5.4.2. Porcentaje de copa viva.....	33
	5.4.3. Vitalidad	40

6.	DISCUSIÓN	46
6.1.	Variación del contenido de humedad del suelo en el tiempo	46
6.1.	Variación de la profundidad de la napa en el tiempo.....	59
6.2.	Variación interanual de la vitalidad de la vegetación.....	70
6.2.1.	Atriplex atacamensis	71
6.2.2.	Distichlis spicata.....	75
6.2.3.	Nitrophila atacamensis.....	78
6.2.4.	Tessaria absinthioides	80
6.3.	Relación de la vitalidad de la vegetación y el contenido de humedad.....	83
6.4.	Relación de la vitalidad de la vegetación y la profundidad de la napa	88
7.	CONCLUSIONES.....	92
8.	REFERENCIAS.....	95

Tablas

Tabla 2-1.	Variables y frecuencia de medición del monitoreo de contenido de humedad PSA del Salar de Atacama, de acuerdo con lo establecido en la RCA N°226/2006.	4
Tabla 4-1.	Coordenadas de los vértices del Borde Este del Salar de Atacama (UTM Datum WGS84 Huso 19S).	6
Tabla 4-2.	Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, estado vital de la vegetación y nivel de la napa subterránea (pozos). UTM Datum WGS84 Huso 19S.....	7
Tabla 4-3.	Profundidad del estrato con presencia de raíces.	9
Tabla 5-1.	Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA (ETFSA). en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2020.....	18
Tabla 5-2.	Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas de 2020.....	20
Tabla 5-3.	Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2020.	22
Tabla 5-4.	Especies vegetales presente en las 18 parcelas de monitoreo.....	27
Tabla 5-5.	Estado de los individuos asociados al monitoreo.	27
Tabla 5-6.	Resumen de individuos por categoría de fenología.....	28
Tabla 5-7.	Número y proporción de individuos por clase de copa viva.....	33
Tabla 5-8.	Proporción del total de individuos con copa viva mayor a 5%; 25%; 50%; y 75%	35
Tabla 5-9.	Resumen de individuos por categoría de vitalidad.....	40
Tabla 6-1.	Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de enero periodo 2007 – 2020.....	49
Tabla 6-2.	Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de abril periodo 2007 – 2020.....	50

Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de julio periodo 2007 – 2020.	51
Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de octubre periodo 2007 – 2020.	52
Tabla 6-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Promedio anual periodo 2007 – 2020.....	53
Tabla 6-6. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por los laboratorios SGS ² (2016-2017) y Algoritmos (2018-2020). Periodo 2016 – 2020.	54
Tabla 6-7. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de enero durante el periodo 2008 a 2020.....	61
Tabla 6-8. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de abril durante el periodo 2008 a 2020.....	62
Tabla 6-9. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2020.....	63
Tabla 6-10. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2020.....	64
Tabla 6-11. Profundidad de la napa (m) promedio anual por parcela para el monitoreo periodo 2007 a 2020.	65
Tabla 6-12. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (g/g) por categoría de vitalidad para el periodo 2007-2020.	83
Tabla 6-13. Resumen de la variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad.....	88

Figuras

Figura 4-1. Ubicación de los pozos de muestreo.....	8
Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo.	11
Figura 4-3. Medición del estado vital de la vegetación (a=individuo rotulado; b=medición altura)	14
Figura 4-4. Pozómetro utilizado para la medición de la napa.....	15
Figura 5-1. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Algoritmos Spa, para el año 2020.	19
Figura 5-2. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Laboratorio SQM Salar, para el año 2020.	21
Figura 5-3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrica obtenido por el Laboratorio SQM Salar y Laboratorio de Algoritmos para el año 2020.	22
Figura 5-4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2020.	24
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 2020.....	25
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 2020.....	26

Figura 5-7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de 2020.	29
Figura 5-8. Fenología de los individuos de <i>Atriplex atacamensis</i> monitoreados en las campañas de 2020.	30
Figura 5-9. Fenología de los individuos de <i>Distichlis spicata</i> monitoreados en las campañas de 2020.	31
Figura 5-10. Fenología de los individuos de <i>Nitrophila atacamensis</i> monitoreados en las campañas de 2020.	32
Figura 5-11. Fenología de los individuos de <i>Tessaria absinthioides</i> monitoreados en las campañas de 2020.	33
Figura 5-12. Porcentaje de copa viva de los individuos monitoreados en 2020.	35
Figura 5-13. Porcentaje de copa viva de los individuos de <i>Atriplex atacamensis</i> monitoreados en las campañas de 2020.	37
Figura 5-14. Porcentaje de copa viva de los individuos de <i>Distichlis spicata</i> monitoreados en las campañas de 2020.	38
Figura 5-15. Porcentaje de copa viva de los individuos de <i>Nitrophila atacamensis</i> monitoreados en las campañas de 2020.	39
Figura 5-16. Porcentaje de copa viva de los individuos de <i>Tessaria absinthioides</i> monitoreados en las campañas de 2020.	40
Figura 5-16. Porcentaje de copa viva de los individuos de <i>Tessaria absinthioides</i> monitoreados en las campañas de 2020.	42
Figura 5-18. Vitalidad de los individuos de <i>Atriplex atacamensis</i> monitoreados en las campañas de 2020.	43
Figura 5-19. Vitalidad de los individuos de <i>Distichlis spicata</i> monitoreados en las campañas de 2020.	44
Figura 5-20. Vitalidad de los individuos de <i>Nitrophila atacamensis</i> monitoreados en las campañas de 2020.	45
Figura 5-21. Vitalidad de los individuos de <i>Tessaria absinthioides</i> monitoreados en las campañas de 2020.	46
Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2020.	47
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 2020.	57
Figura 6-3. Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2020), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados.	59
Figura 6-4. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2020.	69
Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vitalidad, desde el año 2007 a 2020.	71
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 2020.	74
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 2020.	77

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 2020.....	79
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 2020.....	82
Figura 6-10. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad.....	84
Figura 6-11. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad seco, desde el año 2007 al 2020.	85
Figura 6-12. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad muy débil, desde el año 2007 al 2020.	85
Figura 6-13. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad débil, desde el año 2007 al 2020.	86
Figura 6-14. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad crecimiento normal, desde el año 2007 al 2020.....	87
Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad excepcionalmente vigoroso, desde el año 2007 al 2020.....	87
Figura 6-16. Variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad.	89
Figura 6-17. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad seco, desde el año 2007 al 2020.....	90
Figura 6-18. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad muy débil, desde el año 2007 al 2020.....	90
Figura 6-19. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad débil, desde el año 2007 al 2020.....	91
Figura 6-20. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad crecimiento normal, desde el año 2007 al 2020.	91
Figura 6-21. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad excepcionalmente vigoroso, desde el año 2007 al 2020.	92

Anexos

- Anexo 1. Estado vital de la vegetación.
- Anexo 2. Informes de toma de muestras y análisis de CHS ETFA Algoritmos SPA.
- Anexo 3. Registro de precipitaciones.
- Anexo 4. Responsables y participantes.
- Anexo 5. Resultado modelo estadístico.
- Anexo 6. Documentos de certificación ETFA GP Consultores Ltda y SEGEA Ltda.
- Anexo 7. Niveles de la napa en los puntos de monitoreo.

1. RESUMEN

El seguimiento ambiental del contenido de humedad gravimétrico del suelo, profundidad de la napa y vitalidad de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama 2020, tiene por objetivo detectar oportunamente los posibles cambios en estas variables producto del bombeo de los pozos asociados al Proyecto.

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.

El monitoreo de estas variables se vio afectado por el aluvión de febrero de 2019, el cual afectó parte de las plantas evaluadas en este informe. Así mismo, el monitoreo 2020 se vio afectado por el cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos, producto de la pandemia de COVID-19, ya que, durante los meses de abril, julio y octubre, no se otorgó el permiso de ingreso a ella. Esto implicó no acceder a los pozos y parcelas L7-7 y 1027.

Respecto a los datos obtenidos durante el periodo 2020, los resultados indican que el contenido de humedad gravimétrico del suelo (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 SpA, autorizado como Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA).

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.

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 surgente en esta ubicación.

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 entre las secciones del extremo norte y del extremo sur.

En particular, respecto al año base (2007), los registros para el año 2020 muestran que la profundidad de la napa disminuyó en 14 de los 18 pozos monitoreados. En los pozos L7-14, L3-5 y L4-3, la profundidad aumentó respecto al año 2007. Además, se observó que la napa en el pozo L3-5 se muestra surgente este año (hecho frecuente en los 14 años de monitoreo). En promedio, el aumento de la profundidad de la napa y resultante disminución del nivel freático, en los 14 pozos evaluados alcanzó 0,37 m.

Respecto al monitoreo de vegetación, primero, cabe destacar que, producto del aluvión estival que descendió por la quebrada de Camar en febrero de 2019, la parcela de vegetación adyacente al pozo de monitoreo L3-3 fue dañada en su totalidad, mientras que las parcelas asociadas a los pozos L3-5 y L3-15 fueron dañadas parcialmente (en total 24 individuos de *Tessaria absinthioides*, un ejemplar de *Atriplex atacamensis* y un ejemplar de *Distichlis spicata* afectados). Por este motivo, durante la campaña de abril de 2020, se re-etiquetaron los ejemplares afectados, por lo que se logró su prospección en los meses de abril, julio y octubre.

Con respecto a la fenología se observó que las plantas responden según los datos históricos, donde en el primer trimestre (enero), predominan las fases reproductivas de las plantas, las que disminuyen paulatinamente hacia los periodos de recesión vegetativa invernal (julio).

En particular, para *Atriplex atacamensis*, se identifican flores y frutos en el mes de enero y febrero, sin embargo, para el presente año, el proceso también se extendió tardíamente a los monitoreos de julio y octubre. A pesar de las variaciones fenológicas, el monitoreo del follaje verde (copa viva) de *A. atacamensis* tiende a persistir durante todas las campañas, lo que se relaciona con el comportamiento perenne de la especie.

Por su parte, *Distichlis spicata* en 2020 presenta floración durante todas las épocas monitoreadas, mientras que posee una porción de follaje verde que varía entre temporadas. Generalmente, presenta una vitalidad en la categoría crecimiento normal y/o débil, con excepción del mes de enero, donde destaca la presencia de ejemplares excepcionalmente vigorosos.

Nitrophila atacamensis, presenta crecimiento vegetativo y floración en la prospección de enero, así como porción de follaje vivo entre 25-50% y 50-75%, tal como los datos históricos indican. En abril, los registros históricos siempre presentan algún grado de follaje verde, pero de manera variable y en menor porcentaje que los registros de enero. Hacia el invierno, la porción de follaje vivo tiende a 0% y la vitalidad se sitúa en las categorías seco y débil, y en su mayoría en la etapa senescente, concordando con el comportamiento del actual monitoreo. Las prospecciones de 2020 solo se pudieron realizar en el mes de enero, dado que los sectores donde se registra esta especie se encuentran dentro de los límites de la RN Los Flamencos, cerrada por CONAF a partir de marzo de 2020.

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 periodos se aprecia una tendencia hacia el aumento de ejemplares secos en el tiempo. Hacia el invierno, se observa el periodo 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 y se observan las primeras señales de floración, evidenciando el término del periodo recesivo de la especie.

Según la RCA 226/2006, la metodología establecida para el muestreo de especies arbustivas sólo 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, al no considerar otros factores que influyen en la cantidad de individuos reportados secos año a año. 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.

Respecto al análisis multinivel¹ que relaciona la vitalidad de toda la vegetación prospectada, el contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa se resuelve 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 mayor vitalidad en las plantas. Mientras que, el resultado entre la profundidad de la napa y la vitalidad

¹ Mejora comprometida a partir del año 2017 dentro de la presentación del programa de cumplimiento presentado en el proceso sancionatorio rol F-041-2016.

de las plantas también es positivo y significativo, pero es biológicamente incorrecto, ya que este resultado indicaría que, a menor disponibilidad de agua, mayor sería la vitalidad. Este resultado 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° 226/06), que aprueba ambientalmente el EIA.

Las variables de interés son monitoreadas anualmente desde el año 2008. Sin embargo, cada variable es monitoreada en tiempos diferentes a lo largo del año. En la Tabla 2-1 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 PSA del Salar de Atacama, de acuerdo con lo establecido en la RCA N°226/2006.

Componente ambiental	Considerando RCA N°226/06	Variable	Frecuencia de medición	Frecuencia de entrega de reportes	Entidad a cargo de las actividades de muestreo, medición y análisis
Suelo	Considerando 10.3.1	Contenido de humedad del suelo	Trimestral	Anual	SQM Salar Algoritmos Spa.
		Vitalidad de la vegetación	2 veces al año	Anual	SQM Salar
		Profundidad napa freática*	-	-	SQM Salar GP Consultores Ltda. SEGEA Ltda.

* La profundidad de la napa subterránea es medida 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.

Conforme a la RCA N°226/2006, la medición tiene por objeto detectar cambios en el contenido de humedad del suelo, relacionados con un potencial descenso del nivel freático ocasionado por la extracción de agua dulce de los pozos Mullay 1, Allana y Camar 2, que pudieran alterar el desarrollo de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Para tal efecto, el Plan de Seguimiento Ambiental contempla medir el contenido de humedad del suelo a muestras tomadas a distintas profundidades de 18 puntos ubicados a lo largo de la franja de vegetación existente en el área de influencia de los pozos de extracción de agua dulce Mullay 1, Allana y Camar 2. Los 18 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 (Tabla 2-1 y Figura 4-1).

En marzo del año 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 y Mullay 1. A principios del 2008 se entregaron dos informes preoperacionales y a partir de esa fecha se han generado once informes de Monitoreo de Contenido de Humedad de Suelo operacionales anuales (2009-2019), que compilan los monitoreos ejecutados

trimestralmente. El presente documento corresponde al Décimo segundo Informe Operacional Anual y expone los resultados del periodo 2020.

Cabe destacar que el actual monitoreo no se realizó de forma habitual en ninguna de sus cuatro campañas debido a la situación de emergencia sanitaria que enfrenta el país. Por este motivo y mediante las Resoluciones N°160 y 162 de 2020, CONAF dispuso a partir de marzo de 2020 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. Esta situación afectó a los monitoreos en dos sectores (parcela y pozo L7-7 y 1027), al no otorgarse la autorización de ingreso a la Reserva.

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 y Camar 2², que pudieran alterar el desarrollo de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.

² La operación del pozo Camar 2 se suspendió a contar del 11 de enero de 2018. En enero de 2019, se procedió a desmontar el equipo de bombeo y a la fecha de presentación de este informe, se trabaja en el cierre y desmantelamiento de la infraestructura asociada al pozo como punto de extracción de agua.

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, Región de Antofagasta, específicamente a 55 km de San Pedro de Atacama y 316 km al noreste de Antofagasta. Actualmente en el Salar de Atacama se emplaza el área silvestre protegida Reserva Nacional Los Flamencos, cuyo emplazamiento coincide con el área de estudio del Proyecto en dos sectores, Soncor y Aguas de Quelana.

El área de estudio del Plan de Seguimiento Ambiental es el Borde Este del Salar de Atacama, donde se realizan las actividades de monitoreo contempladas en el presente informe. Sus vértices son indicados en la Tabla 4-1 a continuación.

Tabla 4-1. Coordenadas de los vértices del 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

4.2. Ubicación de los puntos de muestreo

El monitoreo se realiza en 18 pozos de observación de nivel freático y en 18 parcelas permanentes ubicadas adyacentes a ellos. Los pozos de observación seleccionados forman parte de la red de puntos de control del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico asociado a la RCA N°226/2006 (Tabla 4-2 y Figura 4-1), y se distribuyen a lo largo de la franja de vegetación existente en el área de influencia de los pozos de extracción de agua dulce Mullay 1, Allana y Camar 2. El diseño muestral considera mediciones de nivel de la napa subterránea, el contenido de humedad en el perfil del suelo y el estado vital de la vegetación presente en cada punto de medición.

En la Tabla 4-2 se muestran las coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S. de cada parcela de muestreo y de los pozos a monitorear. Se han ordenado las estaciones de muestreo de norte a sur para facilitar su ubicación en el mapa (Figura 4-1).

Tabla 4-2. Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, estado vital de la vegetación y nivel de la napa subterránea (pozos). UTM Datum WGS84 Huso 19S.

Nº	Pozo	Coordenadas de las parcelas		Coordenadas de los pozos		Vegetación existente
		Este	Norte	Este	Norte	
1	1027	589.797	7.424.638	589.797	7.424.645	Pradera muy abierta Grama Salada
2	L7-7	589.086	7.422.875	589.094	7.422.843	Pradera rala de Grama Salada
3	L7-14	592.240	7.422.446	592.287	7.422.403	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
4	L1-3*	593.700	7.418.722	593.725	7.418.708	Matorral ralo de Cachiyuyo
5	L2-26	593.783	7.414.938	593.787	7.414.918	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
6	L2-25	592.418	7.414.744	592.440	7.414.727	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
7	L2-4	591.838	7.414.641	591.851	7.414.609	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo
8	L2-28	594.574	7.412.145	594.586	7.412.132	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo
9	L2-27	593.435	7.412.140	593.471	7.412.131	Matorral muy abierto de Brea-Cachiyuyo
10	L3-15	595.029	7.409.683	594.922	7.409.664	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
11	L3-5	593.695	7.409.630	593.776	7.409.547	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
12	L3-3	594.618	7.409.505	594.615	7.409.496	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo
13	L4-3	596.055	7.406.330	596.113	7.406.265	Matorral ralo de Rica rica-Pingo pingo
14	L4-17	595.190	7.405.909	595.169	7.405.963	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
15	L5-6**	595.779	7.404.834	595.818	7.404.843	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
16	L5-7	595.459	7.403.516	595.449	7.403.481	Matorral semidenso de Brea-Cachiyuyo
17	L9-2	594.490	7.396.738	594.487	7.396.786	Matorral muy abierto de Brea-Cachiyuyo
18	L9-1	594.895	7.396.733	594.862	7.396.682	Matorral muy abierto de Cachiyuyo

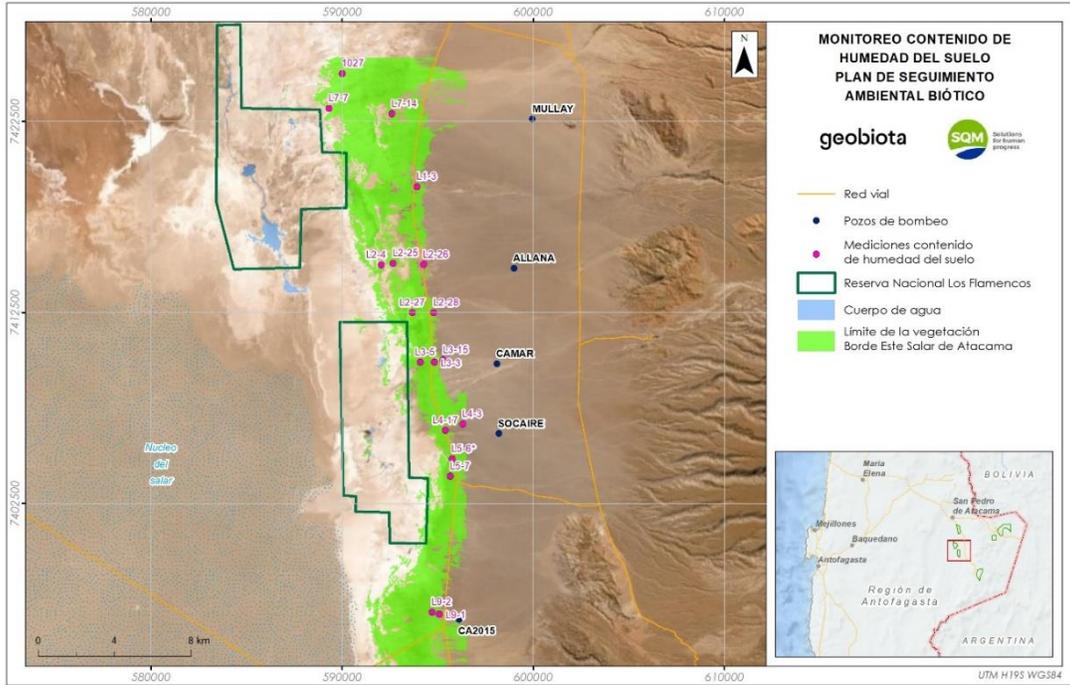
Se han ordenado los puntos de muestreo de norte a sur para facilitar su ubicación en el mapa presentado en la Figura 4-1.

* En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció por aluvión desencadenado por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido

**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 muestreo.

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



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 (expresada como follaje verde) y fenología.

4.4. Metodología

4.4.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo

El contenido de humedad de un suelo (CHS), corresponde a la relación, expresada como porcentaje, entre el peso del agua presente en una masa de suelo y el peso de sus partículas sólidas, luego de que la muestra ha sido secada a un peso constante. El CHS oscila normalmente entre los 0,50 g/g (gramos de agua por gramos de suelo), llegando a valores superiores en suelos ricos en materia orgánica o arcillas, o menores a 0,05 g/g en suelos de regiones muy secas (como desiertos), los que tienden a retener una pequeña cantidad de agua (GLOBE, 2005).

La cantidad de agua que puede almacenar un suelo depende del número de poros que contenga, ya que en estos espacios porosos el agua se puede almacenar (GLOBE, 2005).

Las campañas de humedad de suelo en el Borde Este del Salar de Atacama tienen lugar cuatro veces al año, en los meses de enero, abril, julio y octubre. Se realiza en las 18 parcelas de monitoreo, cada una ubicada adyacente a un pozo de observación de agua subterránea. En cada parcela se extraen tres muestras desde una calicata. Esta actividad es llevada a cabo por una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA), la que en 2020 corresponde a la ETFA Algoritmos SPA, autorizada para el muestreo de suelos por medio de la Resolución Exenta N°178/2017 SMA.

Las muestras de suelo son extraídas a una profundidad variable en cada parcela, definida en función del crecimiento radicular de la vegetación³. 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 4-3.

Tabla 4-3. 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

Las muestras son enviadas a dos laboratorios:

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

Para dar continuidad a la trazabilidad de los datos, los análisis realizados por el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar se realizan anualmente, en forma complementaria, a pesar de no ser ETFA.

Al respecto, cabe señalar que los análisis realizados por la ETFA Algoritmos SpA. no son comparables con los datos históricos de CHS, ya que las muestras son analizadas con un margen de tiempo mayor que el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar (que ha efectuado el monitoreo desde el inicio del seguimiento), el cual está ubicado en faena y analiza las muestras el mismo día que son colectadas.

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.

³ Establecido en 2007 a través de la caracterización de la longitud radicular de individuos de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*.

4.4.1.1. Metodología utilizada

En el año 2020 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°63 SMA). Cabe mencionar que respecto a las mediciones de los años precedentes (2016 – 2017), los análisis fueron realizados por SGS Chile Ltda.

En cada parcela de monitoreo se realizó una calicata desde la que se extrajo un total de 3 muestras, las que fueron analizadas según las metodologías descritas a continuación.

a. 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 INN.

El procedimiento consta del secado de la muestra en una estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C. 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)

b. Metodología utilizada por 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.

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 ± 5 °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:

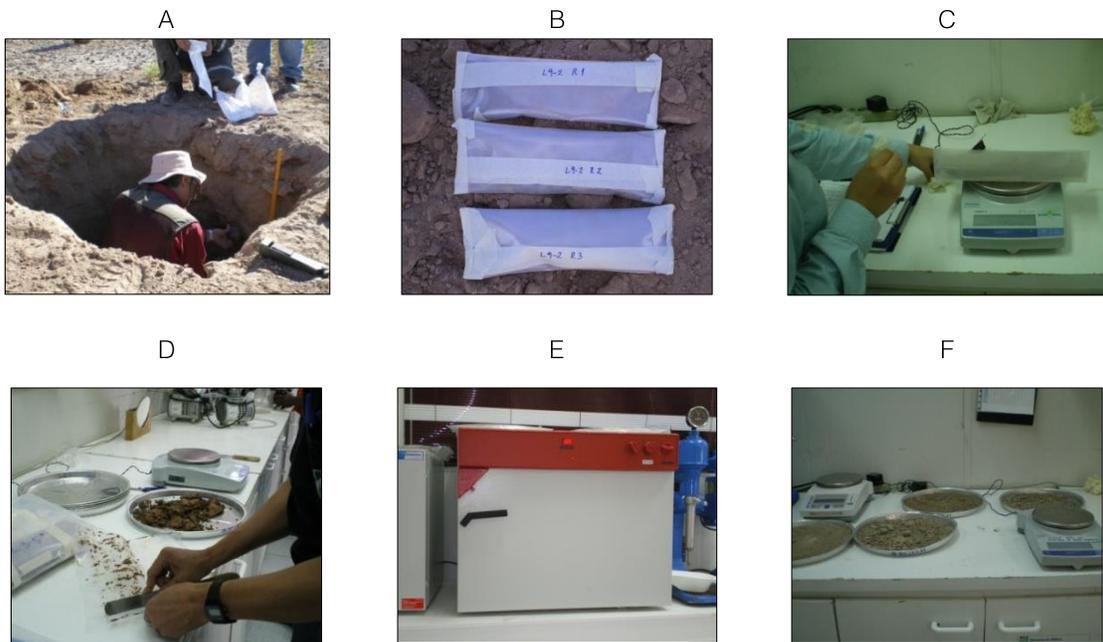
CHg = Contenido de humedad gravimétrico (g/g)

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.

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 esta variable es realizada por SQM Salar y por las Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA) GP Consultores y SEGEA Ltda. El registro que lleva a cabo SQM corresponde al realizado en forma diaria en los pozos (L2-4, L2-25, L7-14, L2-27, L1-3, L3-5, L2-26, L9-2, L2-28, L9-1, L3-15, L4-17, L3-3 y L4-3), mientras que la ETFA monitorea mensualmente los pozos (L7-7, L5-7, L5-6 y 1027).

Para el caso de las mediciones ETFA, 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.

Las mediciones efectuadas directamente por SQM se realizan sobre la base de la siguiente metodología:

- a. Verificar estado de pozómetro de acuerdo con el instructivo interno Operaciones I-009.
- b. Registrar fecha y hora de visita.
- c. Medir con pozómetro el nivel (estático o dinámico) en el pozo desde el punto de referencia establecido o desde el centro del pozo a través de un vástago cruzado sobre la superficie del brocal.
- d. Registrar el nivel estático obtenido.
- e. Realizar limpieza del pozómetro con agua destilada una vez realizada la medición.
- f. Registrar observaciones (cuando corresponda).

Los valores de profundidad de la napa reportados en el presente informe corresponden a los reportados en el Informe del Plan de Seguimiento Hidrogeológico (PSAH) 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. Estado vital 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 4-3). 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.

Se hace presente que, durante la campaña de abril del año 2020, SQM re-etiquetó los ejemplares afectados por el aluvión de febrero del 2019, originado por precipitaciones estivales particularmente intensas. Dicho evento meteorológico fue reportado a la Superintendencia de Medio Ambiente el 25 de febrero de 2019 mediante una carta informativa⁴, donde se expuso que producto de las lluvias y aluviones ocurridos, especialmente en el sector de la quebrada de Camar, diversas áreas asociadas al seguimiento ambiental de la RCA 226/2006 quedaron cubiertas parcial o íntegramente.

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

a) **Estado fenológico.** Evalúa la formación de estructuras en la planta según las siguientes categorías:

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

a) **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:

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

b) **Vitalidad.** Corresponde a una evaluación cualitativa de acuerdo con las siguientes categorías:

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,

⁴Documento asociados al reporte: Carta GMPL 56_2019 y Res. 15_2019.

4. Ejemplar excepcionalmente vigoroso, presenta abundancia de follaje y estructuras reproductivas.

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 I.

Figura 4-3. Medición del estado vital de la vegetación (a=individuo rotulado; b=medición altura)



Se estableció la categoría “No Aplica” para las tres variables antes mencionadas 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 agregaron las categorías “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

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.

reportados en los informes entre los años 2007-2019, a los cuales se añade los reportados a partir del año 2020.

4.5. Materiales

4.5.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo

Para la medición del contenido de humedad gravimétrico del suelo se utilizaron los siguientes 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.
- Frascos plásticos.

Los materiales se encuentran limpios o nuevos al momento del monitoreo, con el objetivo de evitar la contaminación de las muestras. Adicionalmente, se realizó una limpieza de los materiales con agua destilada y papel secante previo uso en cada punto de muestreo.

4.5.2. Profundidad de la napa subterránea

Para la medición de la profundidad de la napa subterránea se utilizó:

- Pozómetro Solinst Model 101 Punta P2 de 30, 60 o 150 metros (Figura 4-4).
- 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.

Figura 4-4. Pozómetro utilizado para la medición de la napa



4.5.3. Vitalidad de la vegetación

Para la medición de la vitalidad de la vegetación se utilizaron los siguientes materiales:

- GPS.
- Cámara fotográfica.
- Flexómetro.

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. Sin embargo, debido a las restricciones de ingreso establecidas a la Reserva Nacional Los Flamencos⁶ y a las restricciones sanitarias nacionales, regionales y locales producto de la pandemia de COVID-19⁷, no se pudo efectuar la totalidad del levantamiento en las fechas inicialmente estipuladas, razón por la cual estas fueron tomadas de la siguiente forma:

- Campaña enero: ejecutada los días 21, 22 y 28 de enero del 2020 para el total de los puntos de control (18).
- Campaña abril: se realizó entre el 28 y 29 de abril de 2020 en 16 puntos, mientras que los dos restantes (L7-7 y 1027) no pudieron ser levantados por cierre de la RN y restricciones sanitarias ocurridas tras la pandemia.
- Campaña Julio: se levantaron 16 puntos entre el 21 y 22 de julio de 2020. Por cierre de la RN y restricciones sanitarias ocurridas tras la pandemia, dos puntos no pudieron ser levantados (L7-7 y 1027).
- Campaña Octubre: realizada el 20 y 21 de octubre en 16 puntos de monitoreo, mientras que, por cierre de la RN y restricciones sanitarias ocurridas tras la pandemia, no se pudo realizar el monitoreo de los puntos restantes (L7-7 y 1027).

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 1 de diciembre del 2018, la frecuencia de medición de este parámetro paso de ser mensual a diaria, conforme a la acción N°6 del Plan de Cumplimiento presentado por SQM a la SMA. Sus resultados reportados en el informe asociado al Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico correspondiente al año

⁶ 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.

⁷ 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.

2020. Para efectos del presente informe se utilizan las mediciones reportadas para el día 20 en los meses de enero, abril, julio y octubre del año 2020.

No obstante, y conforme al “Protocolo de monitoreo ambiental para sector Soncor, Tambillo y Aguas de Quelana de la Reserva Nacional Los Flamencos” 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, y a las restricciones sanitarias nacionales, regionales y locales producto de la pandemia de COVID-19⁸, no fue posible realizar la medición de la profundidad de la napa en los siguientes pozos:

- Campaña de enero: pozo L7-7.
- Campaña de abril, julio y octubre: L7-7 y 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, bajo modalidad de coadministración con la comunidad de Toconao, y cuando éste se encuentra cerrado, la barrera se mantiene bajada 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 corresponde a las mismas fechas del estado vital de la vegetación y los puntos no monitoreados por cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos son equivalentes (sección 4.6.1).

⁸ 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.

5. RESULTADOS

5.1. Contenido de humedad del suelo

En la presente sección, se presentan los resultados de las mediciones de contenido de humedad gravimétrico de suelo (2020), realizado por los dos laboratorios Algoritmos SpA y el laboratorio Metalúrgico de SQM.

5.1.1. Laboratorio Algoritmos 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 del año 2020.

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	0,431	-	-	-	0,431	0,000
1027	0,681	-	-	-	0,681	0,000
L2-4	0,547	0,391	0,417	0,474	0,457	0,060
L2-25	0,416	0,393	0,429	0,418	0,414	0,013
L7-14	0,288	0,227	0,224	0,290	0,257	0,032
L2-27	0,442	0,421	0,355	0,399	0,404	0,032
L1-3	0,041	0,030	0,034	0,037	0,035	0,004
L3-5	0,135	0,241	0,233	0,229	0,209	0,043
L2-26	0,104	0,083	0,111	0,108	0,102	0,011
L9-2	0,068	0,078	0,073	0,069	0,072	0,004
L2-28	0,130	0,095	0,105	0,122	0,113	0,014
L9-1	0,083	0,116	0,087	0,100	0,096	0,013
L3-15	0,073	0,073	0,066	0,067	0,070	0,003
L4-17	0,167	0,148	0,157	0,178	0,163	0,011
L5-7	0,223	0,286	0,228	0,313	0,263	0,038
L5-6	0,138	0,143	0,129	0,151	0,140	0,008
L3-3	0,116	0,122	0,090	0,107	0,108	0,012
L4-3	0,017	0,012	0,017	0,023	0,017	0,004

(-) Corresponde a datos que por restricciones de acceso no pudieron ser levantados (Resolución N°56/2019 que aprueba el Protocolo de Ingreso a los sectores 4, 5 y 7 de la RN y Resolución N°160 y 162 de 2020, mediante la cual CONAF dispuso el cierre de las áreas silvestres protegidas bajo su administración, debido a la situación de emergencia sanitaria que enfrenta el país).

La Tabla 5-1 muestra el promedio del contenido de humedad gravimétrico del suelo obtenido durante las cuatro campañas de muestreo, para cada uno de los 18 puntos de medición evaluados en el año 2020. 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 de suelo se presenta en las parcelas ubicadas al oeste, es decir, hacia al núcleo del salar, en las parcelas L7-7, 1027, L2-4 y L2-25. El valor máximo alcanzó 0,681 g/g en la parcela 1027 en el mes de enero, dando cuenta de un valor alto, 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). En la Figura 5-1, se observa también que hacia valores superiores a 0,2 g/g y cercanos a 0,5 g/g, la desviación estándar de esta variable 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).

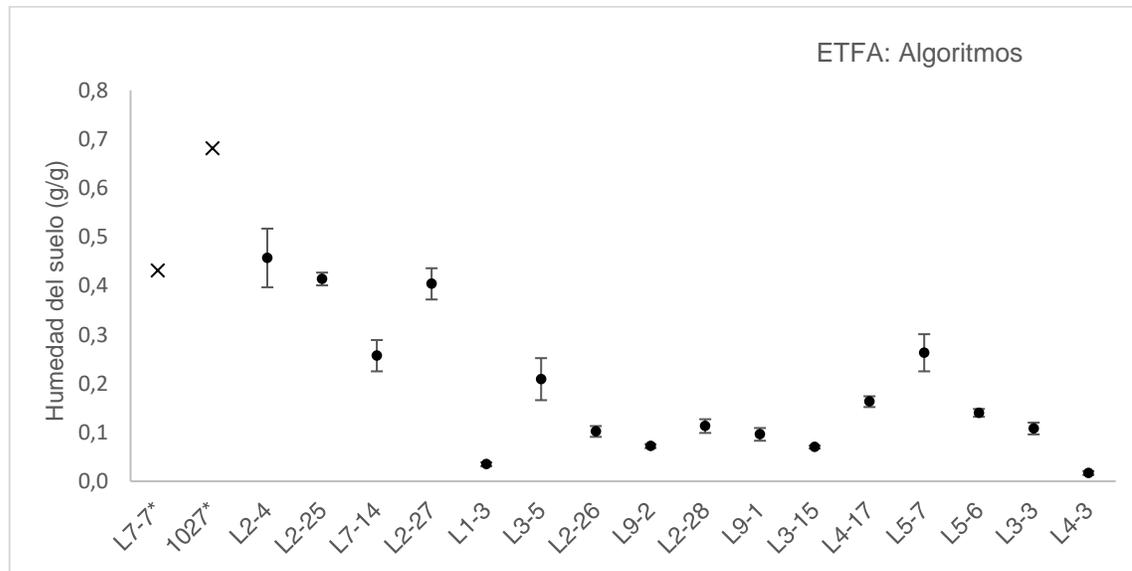
Los valores más bajos de CHS se registraron en los puntos distribuidos en sector oriente del núcleo del salar, registrándose el mínimo en la parcela L4-3, con 0,017 gramos de agua por gramos de suelo. Estos valores se encuentran acordes a la disponibilidad hídrica en dicho sector, considerando la profundidad de la napa y a las acotadas lluvias estivales.

Por otra parte, las muestras tomadas hacia el este poseen desviaciones estándar menores (Figura 5-1), 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 2020.

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

(*) los pozos L7-7 y 1027 poseen mediciones solamente en el mes de enero 2021, por lo que se presenta el valor registrado en dicho mes sin una desviación estándar asociada.



5.1.2. Laboratorio metalúrgico SQM Salar

La Tabla 5-2 muestra los resultados de las mediciones del contenido de humedad en las cuatro campañas correspondientes al monitoreo del año 2020, 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 SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas de 2020.

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	0,523	-	-	-	0,523	0,000
1027	0,780	-	-	-	0,780	0,000
L2-4	0,559	0,382	0,446	0,472	0,465	0,064
L2-25	0,476	0,392	0,426	0,445	0,435	0,030
L7-14	0,221	0,213	0,231	0,278	0,236	0,025
L2-27	0,488	0,530	0,347	0,379	0,436	0,075
L1-3	0,031	0,033	0,035	0,037	0,034	0,002
L3-5	0,163	0,287	0,232	0,289	0,243	0,051
L2-26	0,110	0,089	0,101	0,113	0,103	0,009
L9-2	0,068	0,074	0,075	0,074	0,073	0,003
L2-28	0,141	0,118	0,107	0,114	0,120	0,013
L9-1	0,086	0,125	0,095	0,105	0,103	0,015
L3-15	0,068	0,068	0,064	0,067	0,067	0,001
L4-17	0,178	0,163	0,143	0,154	0,159	0,013
L5-7	0,231	0,297	0,201	0,292	0,255	0,041
L5-6	0,112	0,150	0,128	0,158	0,137	0,018
L3-3	0,123	0,111	0,085	0,111	0,108	0,014
L4-3	0,017	0,014	0,017	0,023	0,018	0,003

(-) Corresponde a datos que por restricciones de acceso no pudieron ser levantados (Resolución N°56/2019 que aprueba el Protocolo de Ingreso a los sectores 4, 5 y 7 de la RN y Resolución N°160 y 162 de 2020, mediante la cual CONAF dispuso el cierre de las áreas silvestres protegidas bajo su administración, debido a la situación de emergencia sanitaria que enfrenta el país).

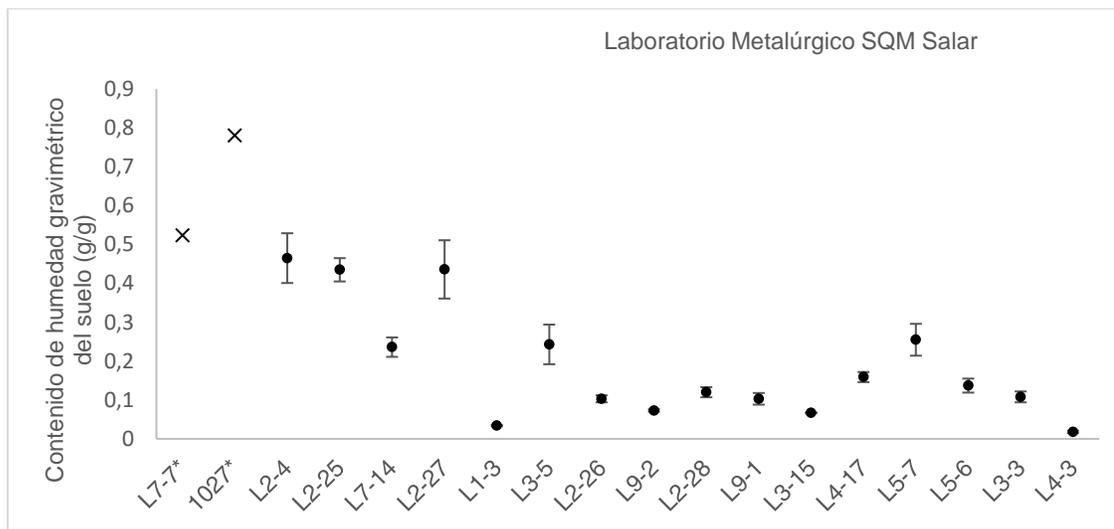
De igual forma que los análisis entregados por la ETFA Algoritmos, el mayor contenido de humedad promedio anual se obtuvo principalmente en las parcelas ubicadas al oeste (L7-7, 1027, L2-4, L2-25 y L2-27), registrando valores que variaron entre 0,435 g/g a 0,780 g/g. Los menores registros se dieron en las parcelas de monitoreo ubicadas al este; el mínimo valor se registró en el punto L4-3 con 0,017 g/g, equivalente a un 1,7% de agua en el suelo. Los análisis de SQM también dan cuenta de la mayor variabilidad interanual en las parcelas ubicadas al oeste, respecto de aquellas ubicadas al este.

Ambos resultados responderían al comportamiento esperado, ya que hacia el oeste la napa se encuentra a una menor profundidad.

Figura 5-2. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Laboratorio SQM Salar, para el año 2020.

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

(*) los pozos L7-7 y 1027 poseen mediciones solamente en el mes de enero, por lo que se presenta el valor registrado en dicho mes.



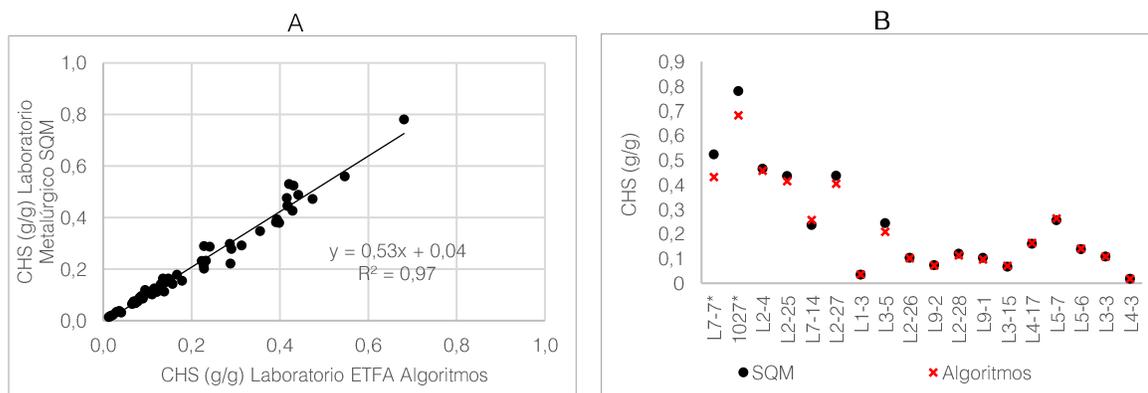
5.1.3. Relación de los valores reportados entre laboratorios

La Figura 5-3 muestra la relación existente entre los valores de humedad gravimétrica del suelo reportados por los laboratorios SQM Salar y Algoritmos SpA.

De acuerdo con los registros, el laboratorio Algoritmos reportó valores más bajos de contenido de humedad de suelo que el laboratorio de SQM Salar ($R^2 = 0,97$), en aproximadamente el 62% del total de muestras tomadas durante el año. La posible causa de esta variación se relaciona 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. Se puede verificar en los certificados de laboratorio emitidos por Algoritmos SpA que existe un periodo de tiempo de 4 días o más desde la colecta hasta el ingreso de la muestra para su análisis, periodo de tiempo que tiene efectos en la pérdida de humedad de la muestra. Las diferencias observadas pueden alcanzar un 10% de diferencia entre laboratorios 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 gravimétrica obtenido por el Laboratorio SQM Salar y Laboratorio de Algoritmos para el año 2020.

(*) los pozos L7-7 y 1027 poseen mediciones solamente en el mes de enero, por lo que se presenta el valor registrado en dicho mes.



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 correspondientes al monitoreo del año 2020 según los datos reportados por SQM Salar y por las ETFA GP Consultores y SEGEA.

Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2020.

Pozos ⁽¹⁾ (oeste a este)	Profundidad napa (m) por campaña de monitoreo				Promedio (m)	Desv. est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L7-7 ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-
1027 ⁽²⁾	0,63	-	-	-	-	-
L2-4	0,98	0,98	0,90	0,90	0,942	0,045
L2-25	0,64	0,65	0,63	0,61	0,632	0,018
L7-14	1,53	1,59	1,55	1,51	1,546	0,036
L2-27 ⁽²⁾	-	1,56	1,11	0,94	1,205	0,321
L1-3	7,19	7,22	7,24	7,24	7,221	0,022
L3-5	-0,07	-0,09	-0,17	-0,21	0,000 ⁽³⁾	0,065
L2-26	3,94	3,98	3,98	3,97	3,969	0,020
L9-2	4,16	4,22	4,21	4,16	4,187	0,031
L2-28	3,27	3,41	3,32	3,29	3,322	0,063
L9-1	5,74	5,79	5,79	5,74	5,763	0,027
L3-15	3,68	3,72	3,67	3,65	3,682	0,028
L4-17	1,98	1,99	1,92	1,88	1,941	0,050
L5-7	1,93	1,95	1,79	1,76	1,857	0,099
L5-6	2,46	2,46	2,36	2,35	2,407	0,062

Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2020.

Pozos ⁽¹⁾ (oeste a este)	Profundidad napa (m) por campaña de monitoreo				Promedio (m)	Desv. est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L3-3	3,45	3,47	3,27	3,26	3,361	0,109
L4-3	13,61	13,61	13,58	13,54	13,585	0,033

(1) Los pozos fueron medidos por SQM y las ETFA GP Consultores y SEGEA Ltda.

(2) L7-7, 1027 y L2-27 no pudieron monitorearse en la totalidad de las campañas debido a las restricciones de acceso (Resolución N°56/2019 que aprueba el Protocolo de Ingreso a los sectores 4, 5 y 7 de la RN y Resolución N°160 y 162 de 2020, mediante la cual CONAF dispuso el cierre de las áreas silvestres protegidas bajo su administración, debido a la situación de emergencia sanitaria que enfrenta el país).

(3) Empíricamente la profundidad del nivel no puede ser negativa, por lo que el promedio anual para el pozo L3-5 se establece como cero para los cálculos.

En la Figura 5-4, se ilustra la profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2020, en ella se aprecia que el pozo L3-5 tiene el menor valor promedio anual con cero metros entre los cuatro periodos monitoreados. En contraposición, la mayor profundidad promedio de la napa se observó en el pozo L4-3, llegando a 13,585 m, seguido por los pozos L1-3 (7,221 m) y L9-1 (5,763 m).

La mayor variación de la profundidad de la napa se registró en el punto L2-27, al observarse una desviación estándar de 0,321 m. Tal como se menciona en el informe N°27 del PSAH⁹, este pozo registró un mínimo histórico durante 2020, determinándose que este punto se ve influenciado por la actividad extractiva de los pozos Allana y Camar 2, sin perjuicio que, este último pozo de bombeo de agua industrial no está operando desde enero de 2018. Cabe indicar que, pese a lo anterior, la vegetación aledaña al pozo L2-27 no ha mostrado efectos detrimentales, mostrándose estable, tal como se verifica en el informe “Análisis histórico de la vegetación para el Pozo L2-27 (2020)”, reportado a la autoridad en Mayo 2020¹⁰.

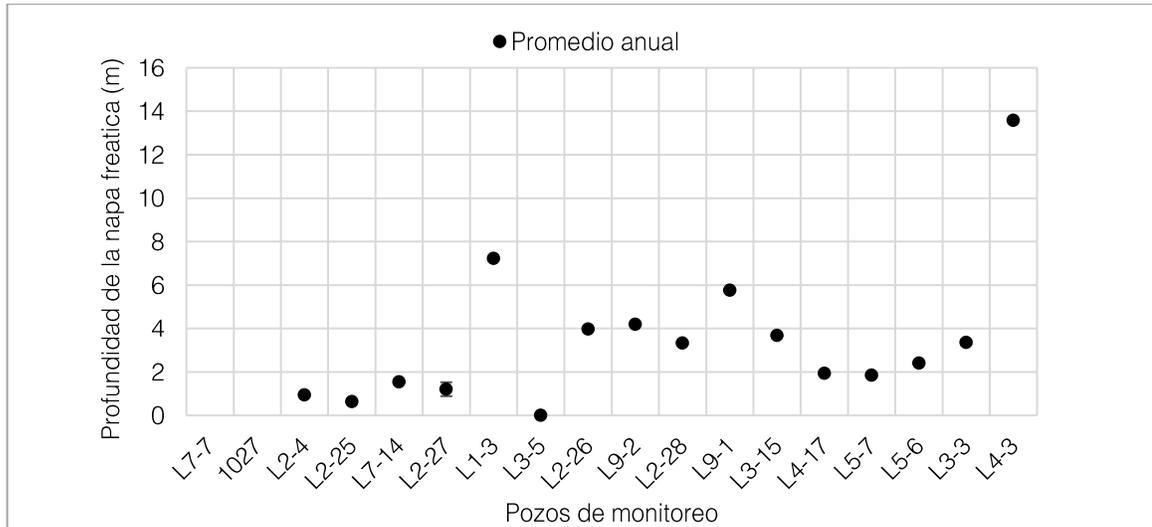
Por otra parte, la mayor homogeneidad de la profundidad de la napa durante el año se presentó en los pozos L2-25, L2-26 y L1-3, cuyas desviaciones estándar varían entre 0,018 m y 0,022 m.

⁹ Informe presentado a la SMA en enero 2021, Código 104683

¹⁰ El documento corresponde al anexo del informe de investigación presentado mediante carta GMPL 85/2020 a la SMA.

Figura 5-4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2020.

Los gráficos muestran el promedio anual. L7-7 no tuvo mediciones durante el año 2020 y el pozo 1027 solo tuvo medición en el mes de enero.



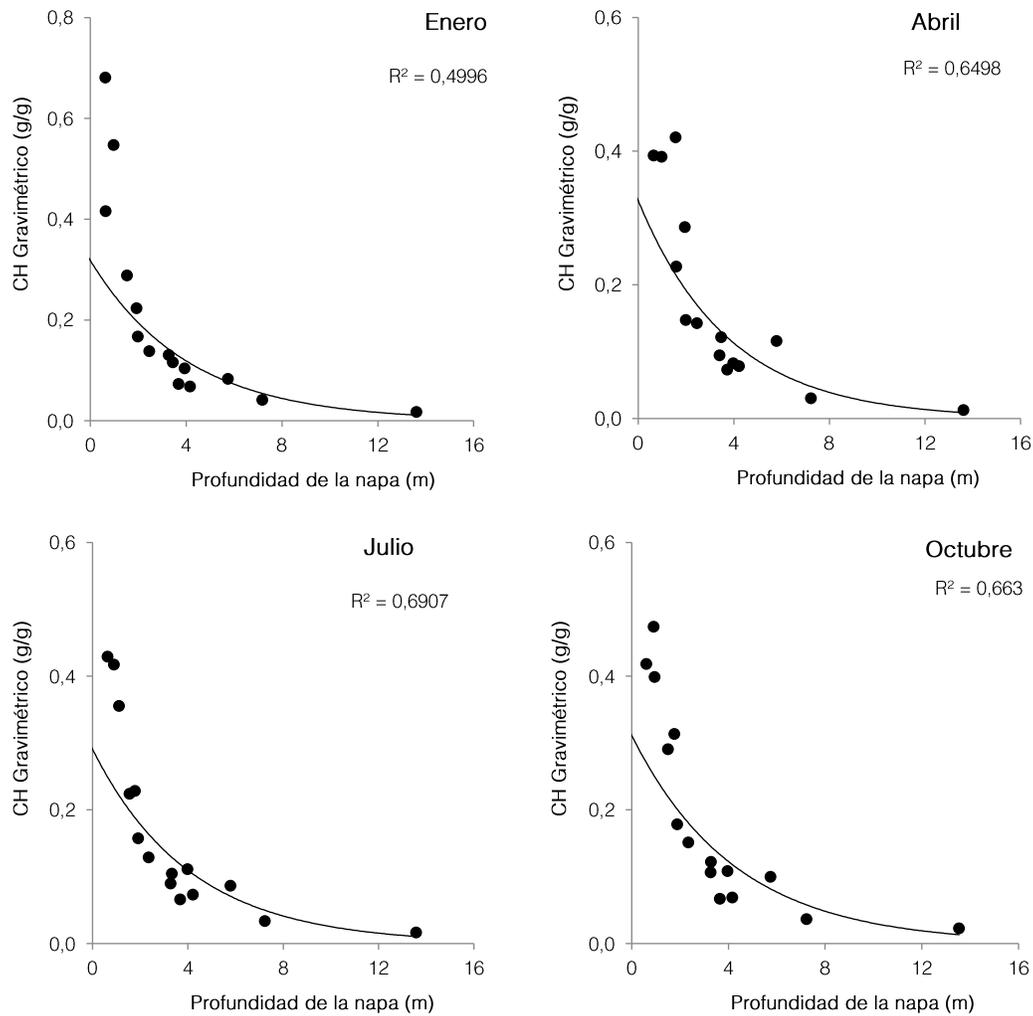
5.3. Relación Contenido de humedad y napa freática

La Figura 5-5 y Figura 5-6, muestran la relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por los Laboratorios metalúrgico de SQM Salar y Algoritmos SpA con la profundidad de la napa en cada campaña de monitoreo del año 2020.

5.3.1. Laboratorio Algoritmos SpA

En los cuatro monitoreos del año 2020, 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 R^2 que se aproxima al 80% en abril y julio, y al 75% y 77% en enero y octubre respectivamente.

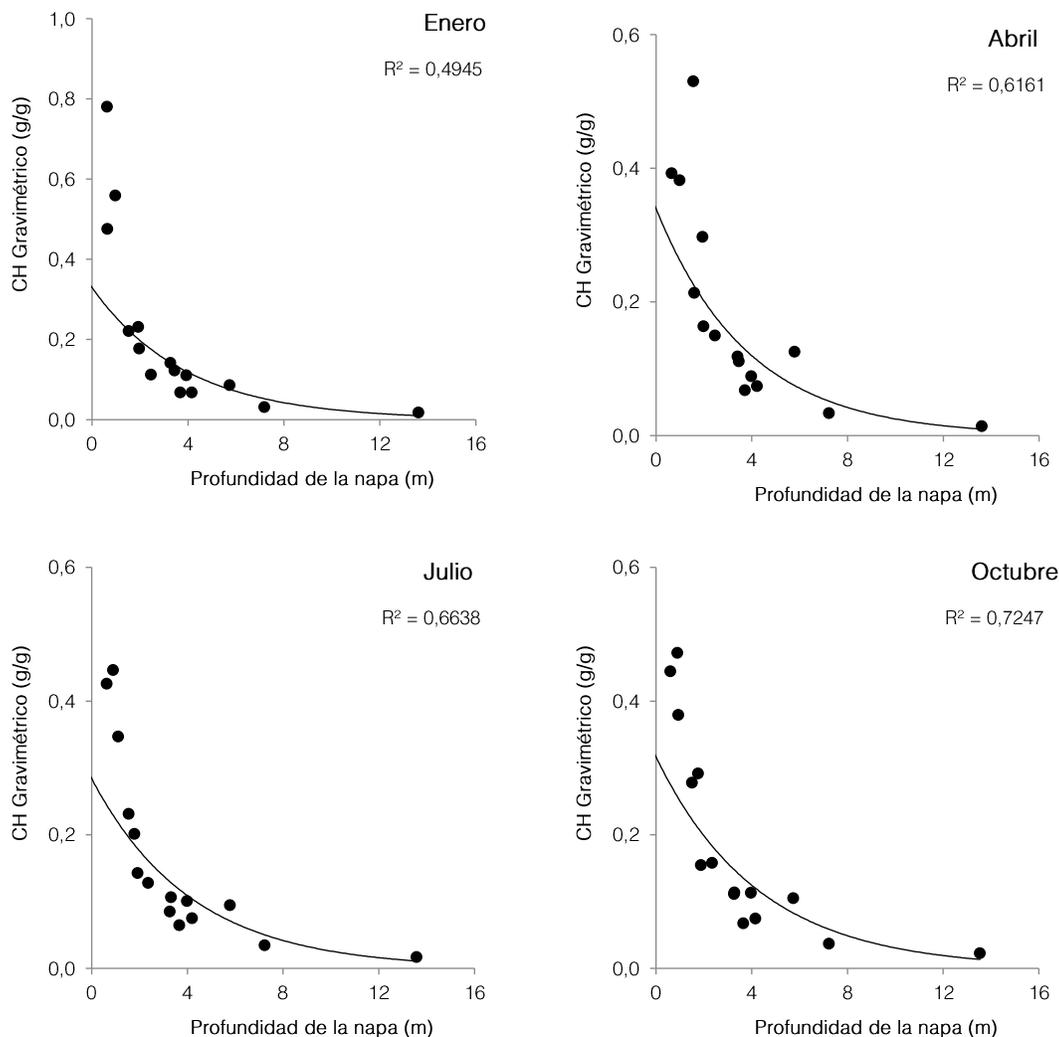
Figura 5-5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2020.



5.3.2. Laboratorio metalúrgico faena SQM Salar

En los cuatro monitoreos del año 2020, 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 R^2 cercana al 80% en el mes de abril y junio, mientras que en enero es de 73% y en octubre de 79%.

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 2020.



Los análisis realizados por ambos laboratorios, se aprecia que el contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa muestra relaciones similares. Así, los análisis de la ETFA Algoritmos Spa y el laboratorio metalúrgico de SQM Salar poseen correlaciones equivalentes cuando se comparan con la profundidad de la napa en los periodos prospectados. Las relaciones suelen ser exponenciales negativas, es decir, el contenido de humedad del suelo tiende a disminuir cuando la profundidad de la napa aumenta.

A pesar de la 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 a factores ambientales propios de la zona, como la radiación o evaporación.

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. Si bien la RCA N° 226/2006, contempla la realización de dos monitoreos al año del estado vital de la vegetación, se realizan cuatro mediciones, con el fin de aportar más información a los análisis. En relación con esto, los párrafos siguientes describen la fenología, porcentaje de copa viva (equivalente a la porción de follaje fotosintéticamente activo) y vigor de los individuos monitoreados durante el periodo 2020.

La Tabla 5-4 muestra el listado de especies presente en las 18 parcelas de monitoreo.

Tabla 5-4. Especies vegetales presente en las 18 parcelas de monitoreo.

N°	Especies
1	Gramma salada (<i>Distichlis spicata</i>)
2	Brea (<i>Tessaria absinthioides</i>)
3	Cachiyuyo (<i>Atriplex atacamensis</i>)
4	Nitrofila (<i>Nitrophila atacamensis</i>)

La Tabla 5-5 ilustra la cantidad y porcentaje de ejemplares no monitoreados en cada una de las cuatro campañas de prospección. Se aprecia que en el mes de enero, 26 ejemplares (18% del total) no pudieron ser muestreados, ya que se vieron afectados por el aluvión de febrero de 2019. En el mismo mes, 10 individuos (7% del total) no se encontraron en terreno al momento del monitoreo (o su placa de identificación no se halló).

En abril del 2020 se logró prospectar y reubicar a los ejemplares afectados por el aluvión, por lo que hubo un re-marcaje de individuos en las parcelas afectadas (adyacentes a los pozos L3-15, L3-3 y L3-5), quedando sin ubicar en terreno solo un ejemplar (1% del total). Cabe indicar que, no se contó con permiso de acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos, por lo que 3 ejemplares (2% del total) no fueron monitoreados (correspondientes a las parcelas adyacentes a los pozos L7-7 y 1027); en esta ocasión solo 5 ejemplares (4% del total) no se encontraron en terreno al momento del monitoreo.

En el mes de julio, solo 1 ejemplar no se ubicó producto del aluvión (de la misma forma que en abril) y tampoco se contó con permiso de ingreso a la RN, quedando fuera del monitoreo 3 individuos (2% del total). Además, se registraron todos aquellos ejemplares que en las dos campañas anteriores se registraron como sin información. En el mes de octubre, se continuó sin permiso de ingreso a la Reserva.

Tabla 5-5. Estado de los individuos asociados al monitoreo.

Estado	enero	abril	julio	octubre
Desaparecidos por Aluvión del 2019	26 (18%)	1 (1%)	1 (1%)	0 (0%)
No monitoreado por restricción de acceso a RN	0 (0%)	3 (2%)	3 (2%)	3 (2%)
Sin información	10 (7%)	5 (4%)	0 (0%)	0 (0%)
Total Sin monitorear	36 (26%)	9 (6%)	4 (3%)	0 (2%)

Tabla 5-5. Estado de los individuos asociados al monitoreo.

Estado	enero	abril	julio	octubre
Total Monitoreado	105 (74%)	132 (94%)	137 (97%)	138 (98%)

Sin información: Se refiere a individuos que sin motivo aparente no lograron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora fue encontrada en el suelo.

En el mes de abril, julio y octubre del 2020 se re-etiquetaron aquellos individuos afectados por el aluvión del 2019.

Porcentaje de participación (%) está expresado en relación con el número total de individuos monitoreados, correspondiente a 141 ejemplares.

5.4.1.Fenología

El estado fenológico de los ejemplares por campaña de monitoreo se resume en la Tabla 5-6. Los detalles de cada punto de monitoreo se encuentran en el Anexo I - Estado vital de la vegetación.

Tabla 5-6. 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	62	67	60	50	44,0%	47,5%	42,6%	35,5%
Crecimiento vegetativo	20	24	37	19	14,2%	17,0%	26,2%	13,5%
Floración	23	41	34	63	16,3%	29,1%	24,1%	44,7%
Fructificación	-	-	6	6	-	-	4,3%	4,3%
Desaparecidos por Aluvión del 2019**	26	1	1	-	18,4%	0,7%	0,7%	-
No monitoreado por restricción de acceso a RN	-	3	3	3	-	2,1%	2,1%	2,1%
Sin información*	10	5	-	-	7,1%	3,5%	-	-
Total	141 ¹	141 ¹	141 ¹	141 ¹	100%	100%	100%	100%

(1) Individuo extra corresponde a ejemplar de *D. spicata* ubicado en parcela asociada al pozo de monitoreo L7-14.

* Se refiere a individuos que sin motivo aparente no lograron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora fue encontrada en el suelo.

** Se refiere a aquellos individuos desaparecidos de la parcela debido al aluvión que descendió de la quebrada de Camar en verano del 2019. A partir de la campaña de abril del 2020, el N° de individuos en esta categoría disminuye, dado que SQM etiquetó nuevos ejemplares para ser monitoreados.

*** Se refiere a aquellos individuos que no pudieron ser medidos producto del protocolo CONAF-Comunidades.

En la mayoría de las campañas, se observa que la categoría senescente es aquella con mayor participación, con porcentajes que van desde el 35,5% (julio) a 47,5% (abril). La época con menor proporción de individuos en esta categoría es octubre con 35,5% del total de los ejemplares monitoreados.

En relación a la cantidad de ejemplares con crecimiento vegetativo, la mayor proporción de individuos se presenta en el mes de julio, con 26,2% del total (37 ejemplares), seguido del mes de abril con 17,0% del total y en proporción similar el mes de enero y octubre, con 14,2% y 13,5% del total de individuos monitoreados, respectivamente.

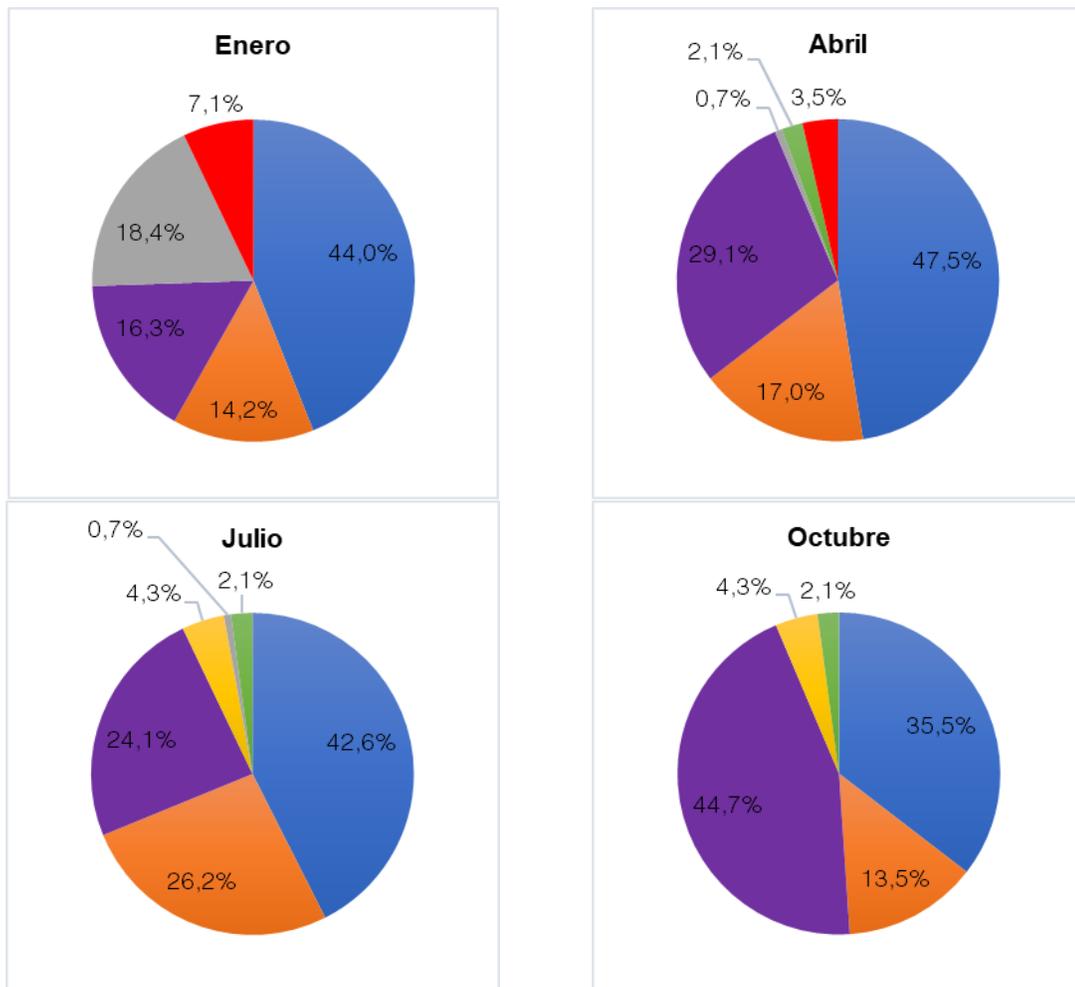
El mes de octubre es la época donde se identificaron más ejemplares con floración (44,7% del total de los individuos monitoreados). Mientras que, el mes de enero posee la menor cantidad de individuos bajo esta característica (23 registros equivalentes a 16,3% del total).

Las plantas con fructificación aparecen en los meses de julio y octubre, sin embargo, en la globalidad del monitoreo son pocos los registros (6 individuos registrados en cada mes), no superando el 5% del total de la muestra en cada periodo.

La Tabla 5-5 y Figura 5-7 ilustran el comportamiento de la muestra a través de los monitoreos del 2020, donde se aprecian individuos bajo la categoría Sin información, Desaparecidos por aluvión y No monitoreados. Los individuos bajo la categoría de fenología “no aplica” llegan a 10 en el mes de enero (7,1% del total) y a 5 en abril (3,5% del total), los que corresponden a individuos que no pudieron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora se encontró desprendida de la planta. Además, los desaparecidos debido al aluvión llegan al 18,4% de total en el mes de enero, valor que se reduce a partir de abril, debido a que SQM etiquetó nuevos ejemplares para ser monitoreados y reemplazar los perdidos por el aluvión acontecido por las intensas precipitaciones estivales en el año 2019 (24 individuos arbustivos y 1 herbáceo). Por otro lado, durante los meses de abril, julio y octubre no se monitorearon las parcelas asociadas a los pozos L7-7 y 1027, dejando un 2,1% del total de la muestra sin prospectar en cada mes.

Figura 5-7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de 2020.

■ Senescente ■ Crecimiento vegetativo ■ Floración ■ Fructificación ■ Alud 2019 ■ Permiso CONAF-COMUNIDADES ■ Sin información



5.4.1.1. Fenología según especie

A continuación, se analiza la evolución de la fenología de 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

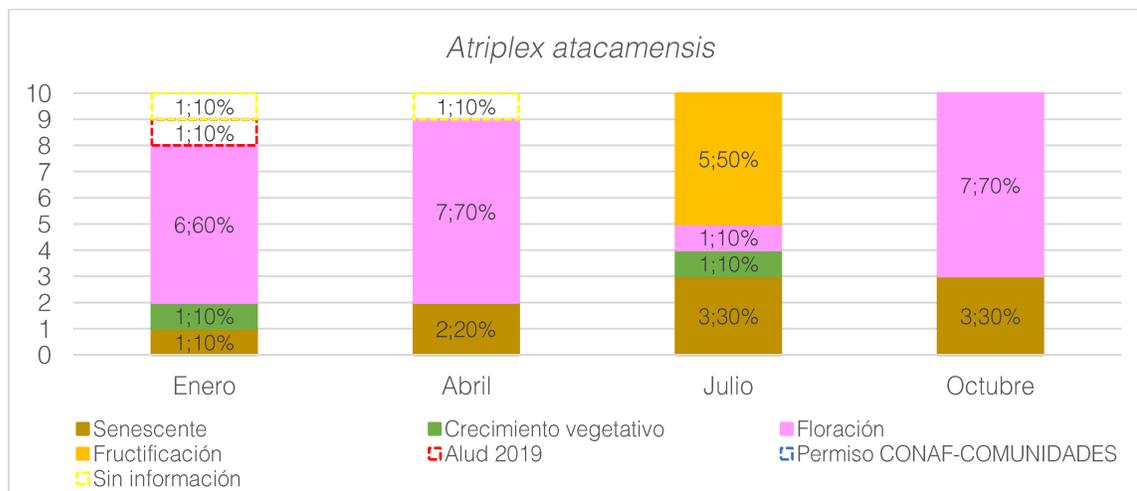
En la Figura 5-8 se ilustra la evolución de la fenología de los individuos de *Atriplex atacamensis* en los meses de enero, abril, julio y octubre. En ella se aprecia que, de los 10 individuos evaluados en enero (verano), dos (equivalente al 20% del total), no presentan datos de fenología, debido a que un ejemplar no pudo ser reconocido en terreno (su placa identificatoria no fue encontrada) y otro fue afectado por el alud de 2019. De los ocho individuos restantes monitoreados en esta fecha, seis (equivalentes al 60% del total) se encontraron en la etapa de floración, mientras que uno se presentó con senescencia (10% del total) y otro con crecimiento vegetativo (10% del total).

En el mes de abril, equivalente al monitoreo de otoño, predominan los individuos con floración, donde siete individuos (70% del total) presentaron esta etapa. Mientras que, dos se encontraron senescentes (20% del total); por otra parte, un individuo (10% del total), no se logró ubicar su placa identificatoria. En esta ocasión se re-etiquetó el ejemplar afectado por el alud de 2019.

Hacia el invierno (monitoreo de julio), predomina la fase de fructificación, donde cinco ejemplares (50% del total), se encontraron con frutos. En menor medida predominan ejemplares senescentes (tres ejemplares equivalentes al 30% del total). Por otro lado, un ejemplar se encontró con flores (10% del total) y otro con crecimiento vegetativo (10% del total).

Hacia la primavera (monitoreo de octubre), predomina nuevamente la etapa de floración, donde siete de los 10 individuos prospectados posee flores (70% del total), mientras que tres (30% del total), se encontraron senescentes.

Figura 5-8. Fenología de los individuos de *Atriplex atacamensis* monitoreados en las campañas de 2020.



Distichlis spicata

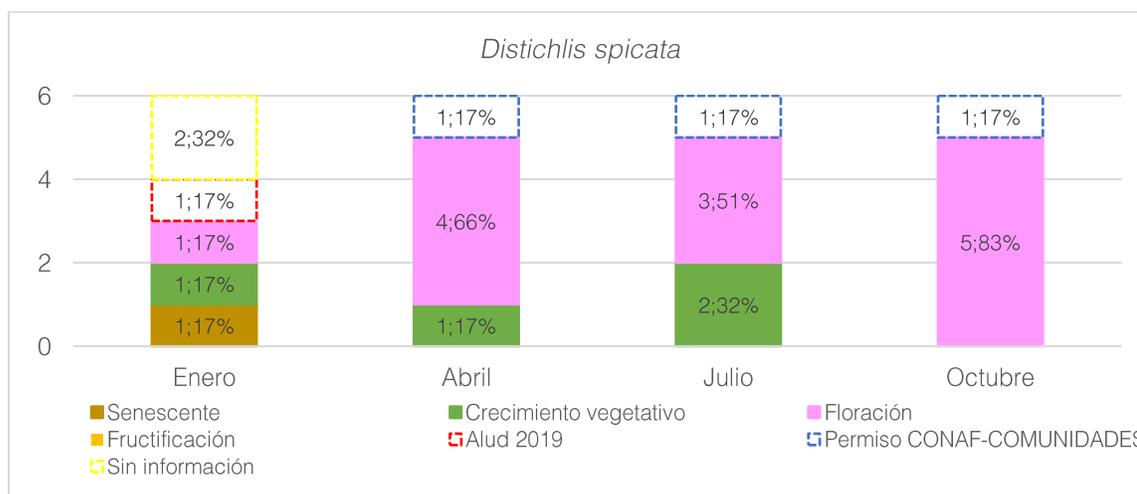
La Figura 5-9, muestra la evolución de la fenología de *Distichlis spicata* en los cuatro meses de monitoreo.

En el mes de enero, correspondiente a la prospección de verano, se aprecia una mixtura de clases fenológicas, sin una mayoría definida, donde se encontró un ejemplar senescente, un ejemplar con crecimiento vegetativo y uno con floración, los que equivalen a un 17% del total cada uno. Por otra parte, tres ejemplares no fueron encontrados en terreno, por lo que no fueron evaluados.

En el mes de abril, esta especie tiene un predominio del estado de floración, donde cuatro individuos (66% del total), presentaron esta clase fenológica, mientras que solo un ejemplar fue encontrado con crecimiento vegetativo (17% del total). Hacia el mes de julio, la cantidad de ejemplares con flores disminuye en un individuo respecto a la prospección de abril, llegando al 51% de la muestra (equivalente a 3 individuos). Por otro lado, los ejemplares con crecimiento vegetativo llegan a dos, lo que equivale al 32% del total. Hacia octubre, la totalidad de individuos posibles de prospectar (83% del total), fueron encontrados con flores.

Cabe mencionar que durante las prospecciones de abril, julio y octubre dos parcelas de vegetación no prospectaron debido al cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos, producto de las restricciones sanitarias ocasionadas por la pandemia. Por esto, hay un ejemplar de *D. spicata* no monitoreado en estos meses.

Figura 5-9. Fenología de los individuos de *Distichlis spicata* monitoreados en las campañas de 2020.



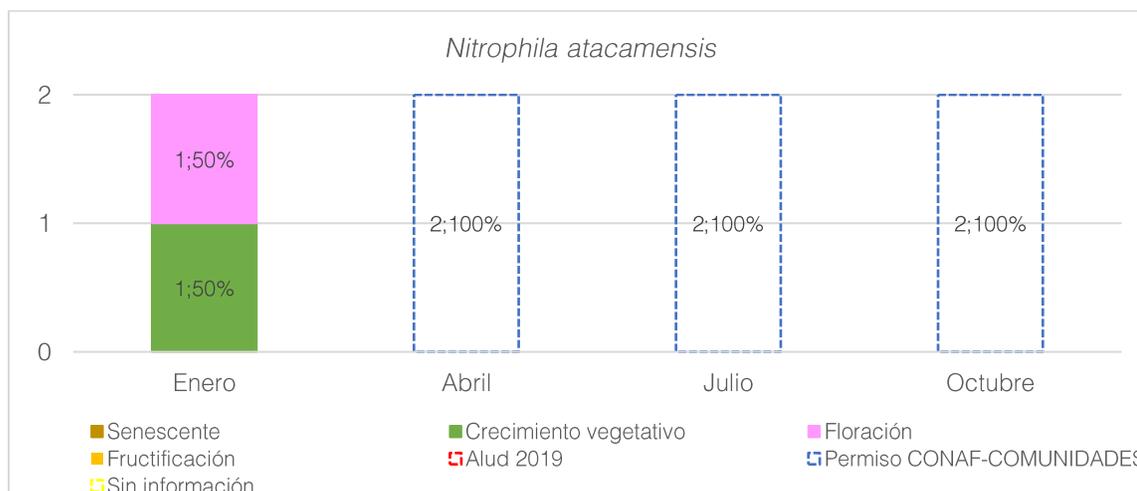
Nitrophila atacamensis

La fenología de *Nitrophila atacamensis* solo se evaluó en el mes de enero (monitoreo de verano), ya que las parcelas de vegetación donde se emplazan estos individuos, presentaban restricciones de acceso debido al cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos en los meses de abril, julio y octubre, producto de la pandemia.

Los datos del mes de enero dan cuenta de dos ejemplares, los que corresponden a la totalidad de individuos evaluados históricamente. De ellos, uno se encontró con flores y otro con crecimiento vegetativo.

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 de 2020.



Tessaria absinthioides

Las prospecciones de fenología de *Tessaria absinthioides* en el mes de enero se vieron afectadas por el aluvión de febrero de 2019, donde 24 ejemplares fueron perjudicados, impidiendo su correcto monitoreo. Además, siete ejemplares no pudieron ser reconocido en terreno (ya que su placa identificatoria no fue encontrada). Por consiguiente, los individuos sin monitorear en enero llegaron a 31 (26% del total). Por su parte, en este mes los individuos senescentes alcanzan 60 ejemplares (49% del total), mientras que aquellos con crecimiento vegetativo llegaron a 17 individuos (14% del total) y los con floración a 15 (12% del total).

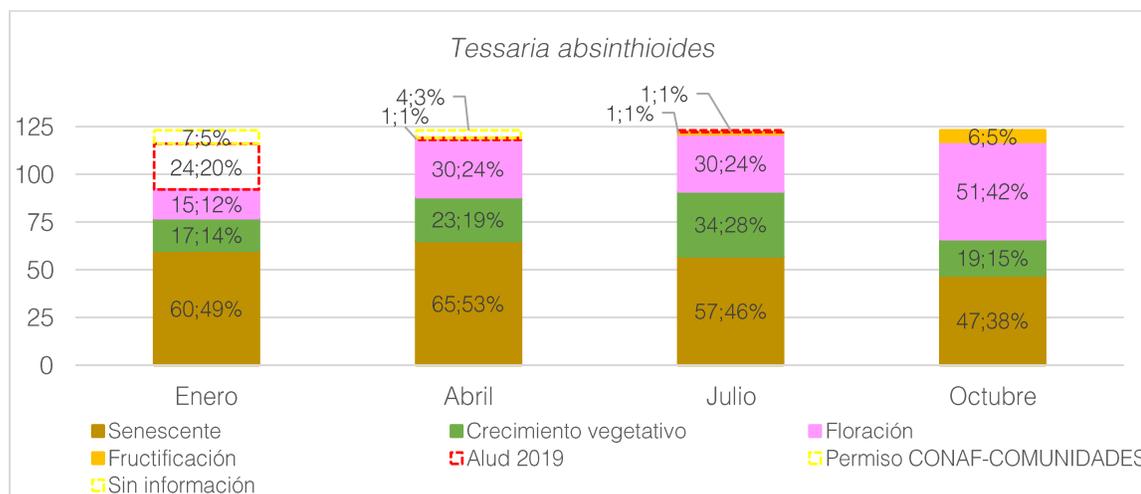
En el mes de abril, correspondiente al otoño, época de finalización del periodo de máxima expresión de la vegetación y comienzo de la fase recesiva de las plantas, se re-etiquetaron 23 de los 24 individuos afectados por el aluvión, y se pudieron monitorear 4 de las 7 plantas que en el mes de enero no se encontraron. Por lo que, los individuos sin monitorear en esta fecha alcanzaron los 5 ejemplares (4% del total). Las plantas senescentes de *T. absinthioides* aumentaron a 65 (53% del total) en el mes de abril, mientras que aquellas con crecimiento vegetativo llegaron a 23 (19% del total) y aquellas con flores a 30 (24% del total).

En el mes de julio, periodo invernal y plena fase recesiva de la vegetación, solo un 1% de las plantas de *T. absinthioides* no fueron monitoreadas. Por su parte, 57 individuos (46% del total) se catalogaron como senescentes, 34 (28% del total) se catalogaron con crecimiento vegetativo, 30 (24% del total) con floración y solo un individuo presentó frutos (1% del total).

En el monitoreo de octubre, comenzando la primavera, los individuos senescentes bajan en cantidad, llegando a 47 (equivalente al 38% del total), también disminuyen los ejemplares con crecimiento vegetativo, llegando a 19 (15% del total), y aumentando aquellos con flores, alcanzando 51 ejemplares (42% del total). Además, para el año 2020 esta época fue la única donde se contabilizaron individuos de *T. absinthioides* con frutos, alcanzando seis plantas (equivalentes al 5% 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 2020.



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 I Estado vital de la vegetación. La Tabla 5-7 y Figura 5-12 resumen e ilustran la proporción de individuos en cada categoría de copa viva. Además, muestra los efectos del aluvión que descendió por la quebrada de Camar en la época estival del año 2019. También se aprecia la cantidad de ejemplares que no pudieron ser monitoreados al no poseer acceso a áreas de la Reserva Nacional en los meses de abril, julio y octubre.

Tabla 5-7. 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%	57	63	49	45	40,4%	44,7%	34,8%	31,9%
<5%	-	-	8	14	-	-	5,7%	9,9%
5-25%	11	13	49	25	7,8%	9,2%	34,8%	17,7%
25-50%	23	25	-	31	16,3%	17,7%	-	22,0%
50-75%	4	11	17	9	2,8%	7,8%	12,1%	6,4%
75-100%	10	20	14	14	7,1%	14,2%	9,9%	9,9%
Desaparecidos por Aluvión del 2019**	26	1	1	-	18,4%	0,7%	0,7%	-
No monitoreado por restricción de acceso a RN	-	3	3	3	-	2,1%	2,1%	2,1%
Sin información*	10	5	-	-	7,1%	3,5%	-	-
Total	141¹	141¹	141¹	141¹	100%	100%	100%	100%

Tabla 5-7. 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

(1) Individuo extra corresponde a ejemplar de *D. spicata* ubicado en parcela asociada al pozo de monitoreo L7-14.

* Se refiere a individuos que sin motivo aparente no lograron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora fue encontrada en el suelo.

** Se refiere a aquellos individuos desaparecidos de la parcela debido al aluvión que descendió de la quebrada de Camar en verano del 2019. A partir de la campaña de abril del 2020, el N° de individuos en esta categoría disminuye, dado que SQM etiquetó nuevos ejemplares para ser monitoreados.

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 como reproductivo (desarrollo de flores y frutos), y que, hacia el otoño, comienza la fase recesiva la cual se acentúa en invierno, a continuación, se presentan los principales resultados sobre la porción de follaje verde¹¹ de los individuos evaluados:

- En enero el 40,4% de los individuos no presentaron copa viva, es decir, la biomasa aérea vegetal no presentó follaje con capacidad fotosintética. De los ejemplares restantes el 7,8% presentó copa viva entre 5-25% y 16,3% presentó copa viva entre 25 a 50%. Los ejemplares con copa viva entre 50-75% alcanzaron el 2,8% y los con copa viva entre el 75-100% alcanzaron el 7,1%. Además, un 7,1% de los individuos no se pudo prospectar debido a la ausencia de las etiquetas identificadoras de cada uno de ellos (Tabla 5-7).
- En el mes de abril se aprecia un aumento de los individuos sin copa viva (0%) respecto al mes anterior, es decir, cuya biomasa aérea vegetal no presentó follaje con capacidad fotosintética, alcanzando el 44,7%. Por otra parte, el 9,2% de los individuos monitoreados se identificó en la categoría con copa viva de 5-25%, 17,7% de individuos en la categoría de copa viva 25-50%, 7,8% en la categoría de copa viva 50-75%, mientras que la categoría de copa viva 75-100% reportó un 14,2% de individuos. Durante esta prospección se observa una disminución de los individuos asociados a la categoría "Desaparecidos por Aluvión" con 0,7% de los ejemplares, dado que, a partir de la campaña de abril del 2020, SQM etiquetó nuevos ejemplares para ser monitoreados y reemplazar los perdidos por el aluvión acontecido por las intensas precipitaciones estivales en el año 2019 (24 individuos arbustivos y 1 herbáceo). Por otro lado, un 2,1% de los ejemplares no pudo ser monitoreado debido al cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos, producto de la pandemia y las consiguientes restricciones de acceso por efecto de Protocolo CONAF-Comunidades (3 ejemplares herbáceos y 4 arbustivos).
- En julio se registró una disminución en el número de individuos sin follaje con capacidad fotosintética o sin copa viva (0%) respecto a abril, con 34,8% de los ejemplares. Del resto de los individuos, el 5,7% presentó una copa viva menor al 5%, el 34,8% presentó copa viva entre 5-25%, el 12,1% registró copa viva entre 50-75% y el 9,9% presentó copa viva entre 75-100%. De la misma forma que en la campaña de abril, los individuos desaparecidos por efectos del aluvión llegan al 0,7%. Por otro lado, el 2,1% de los ejemplares no pudo ser monitoreado debido a la restricción de acceso por efecto de Protocolo CONAF-Comunidades y a las restricciones sanitarias nacionales, regionales y locales producto de la pandemia de COVID-19.

¹¹ Porcentaje de copa viva según la RCA N°226/2006.

- Respecto al mes de octubre, los individuos con copa 0% o sin follaje fotosintético alcanzan los 31,9%. Las categorías con copa viva <5%, 5-25% y 25-50% alcanzan el 9,9%, 17,7% y 22,0% de los ejemplares, respectivamente. Mientras que las categorías con mayor porcentaje de follaje con capacidad fotosintética o copa viva, es decir, 50-75% y 75-100%, alcanzaron el 6,4% y 9,9%, respectivamente. Durante este periodo no se contó con permiso de ingreso a los pozos L7-7 y 1027, dejando un 2,1% de individuos sin monitorear.

Tabla 5-8. Proporción del total de individuos con copa viva mayor a 5%; 25%; 50%; y 75%

Clase de copa viva	Mes de monitoreo (%)			
	enero	abril	julio	octubre
5-100%	34,0%	48,9%	56,7%	56,0%
25-100%	26,2%	39,7%	22,0%	38,3%
50-100%	9,9%	22,0%	22,0%	16,3%
75-100%	7,1%	14,2%	9,9%	9,9%

Figura 5-12. Porcentaje de copa viva de los individuos monitoreados en 2020.

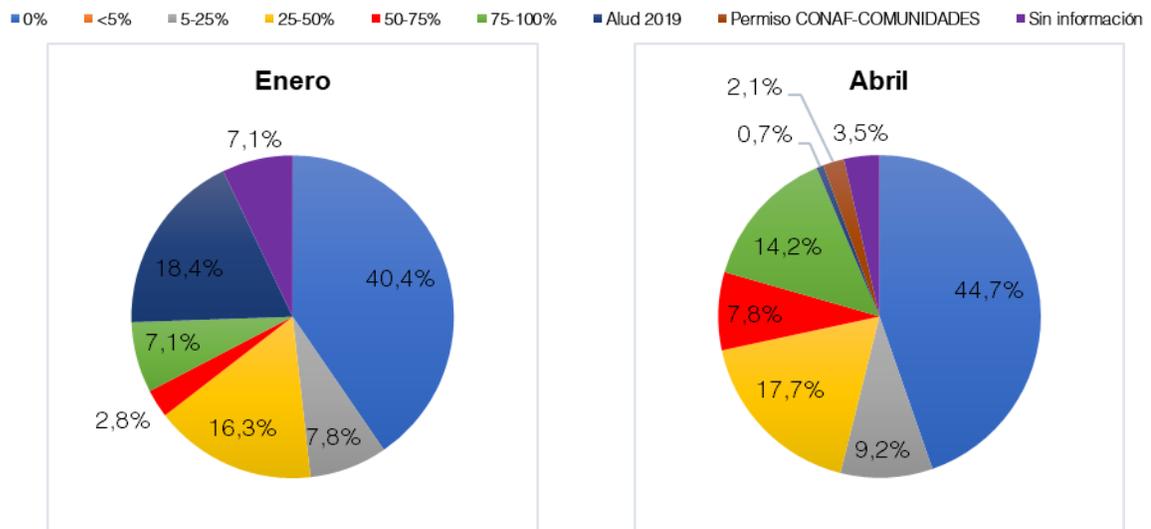
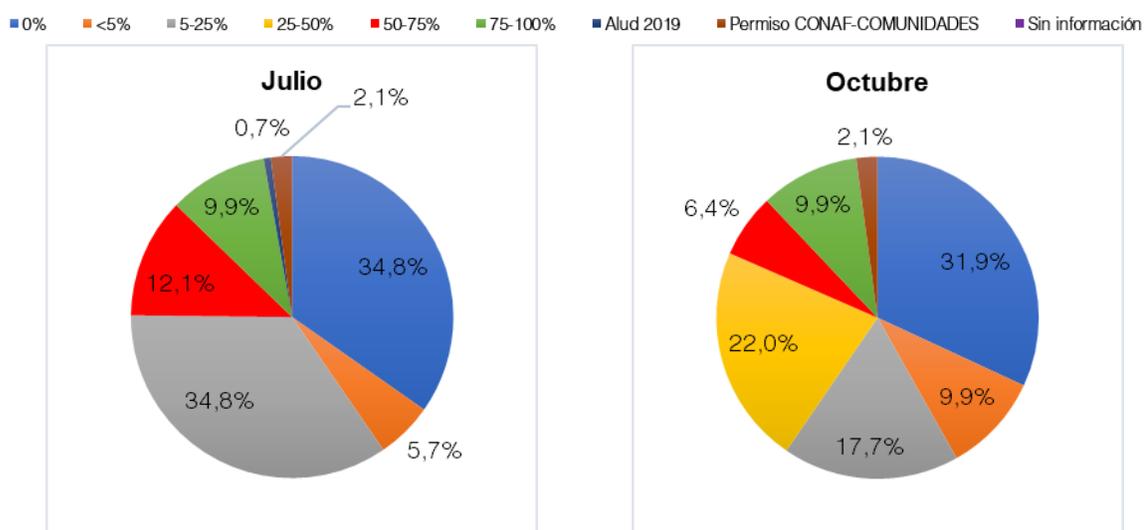


Figura 5-12. Porcentaje de copa viva de los individuos monitoreados en 2020.



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, de 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, dos ejemplares (equivalente al 20% del total), no presentan datos, debido a que un ejemplar no pudo ser reconocido en terreno (su placa identificatoria no fue encontrada) y otro fue afectado por el alud de 2019. De los ocho individuos restantes, cuatro (equivalentes al 40% del total) tuvieron follaje verde superior al 75%, mientras que uno se presentó con follaje entre 50-75% (10% del total) y, por otro lado, dos individuos tuvieron follaje verde entre 25-50% (20% del total). Solo un ejemplar se catalogó sin copa verde (0% de copa), este individuo según su fenología se catalogó como senescente. En síntesis, para el mes de enero, la mayoría de las plantas prospectadas tuvo una copa verde mayor a 25% y en su mayoría esta fue superior al 75%, lo que concuerda con los análisis fenológicos que describen a estas plantas principalmente con floración y crecimiento vegetativo en esta época.

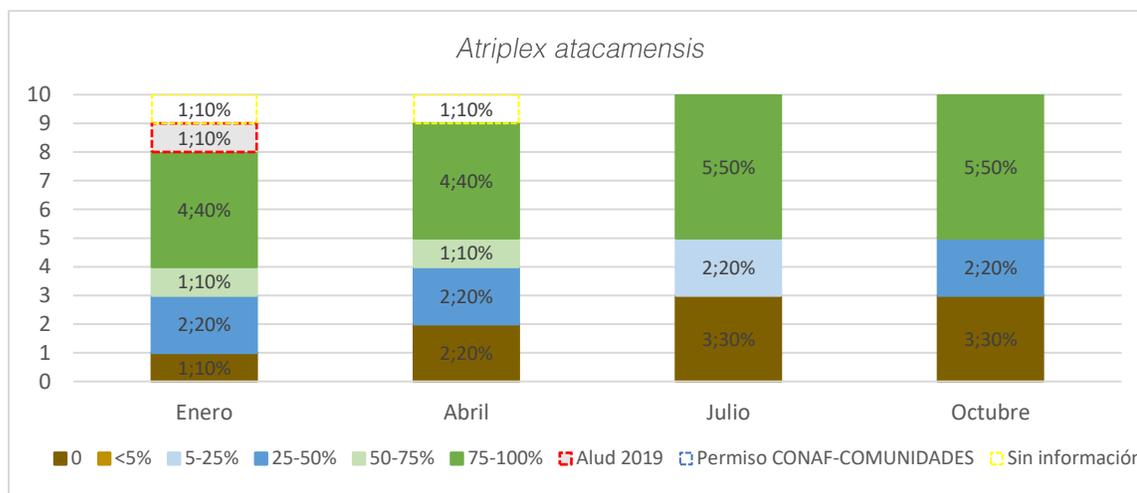
Como se mencionó en la sección 5.4.1.1. (fenología según especie), en la campaña de otoño (realizada en el mes de abril), se re-etiquetó el ejemplar de *A. atacamensis* afectado por el aluvión de 2019, por lo que, a diferencia del monitoreo de enero, solo un individuo no presenta datos, ya que no se encontró su placa identificatoria. En este monitoreo, se observa un aumento en la cantidad de ejemplares catalogados sin follaje (copa verde 0%). Mientras que, el resto de los individuos mantienen las características vistas en enero, donde la mayoría de las plantas prospectadas tuvo una copa verde mayor a 25%, predominando aquellas con follaje

superior al 75%. Estos resultados se mantienen acorde a los resultados fenológicos, los que indican un aumento de individuos con floración en esta época.

En el monitoreo de invierno (realizado en el mes de julio), el follaje verde de esta especie comienza a disminuir. Se observan dos ejemplares con menos del 25% de follaje y tres sin follaje (equivalentes al 20% y 30% del total respectivamente). El resto de los individuos monitoreados continúa con follaje superior al 75% (50% del total) y corresponden a ejemplares con frutos.

Hacia la primavera, los ejemplares con follaje menor al 25%, aumentan su copa, llegando a la categoría 25-50%, mientras que aquellos sin follaje se mantienen en tres individuos. Los cinco ejemplares con copa mayor a 75% mantienen su categoría, pero ya no se registran con frutos, sino con flores.

Figura 5-13. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Atriplex atacamensis* monitoreados en las campañas de 2020.



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.

Tal como se mencionó en la sección 5.4.1.1. (Fenología según especie), en el mes de enero tres ejemplares no fueron encontrados en terreno, por lo que no fueron evaluados. Se observa en la Figura 5-14 que, en la campaña de verano, los individuos poseen follaje superior al 25%, predominando la categoría 25-50% donde se ubicaron dos individuos. También, se registró un individuo con follaje superior al 50%. De acuerdo a los datos fenológicos, uno de los individuos catalogados con follaje 5-25% presenta caída de follaje, por lo que se le asigno como senescente, así mismo, otro ejemplar se encontró con crecimiento vegetativo y aquel con mayor cantidad de follaje (50-75%) con floración.

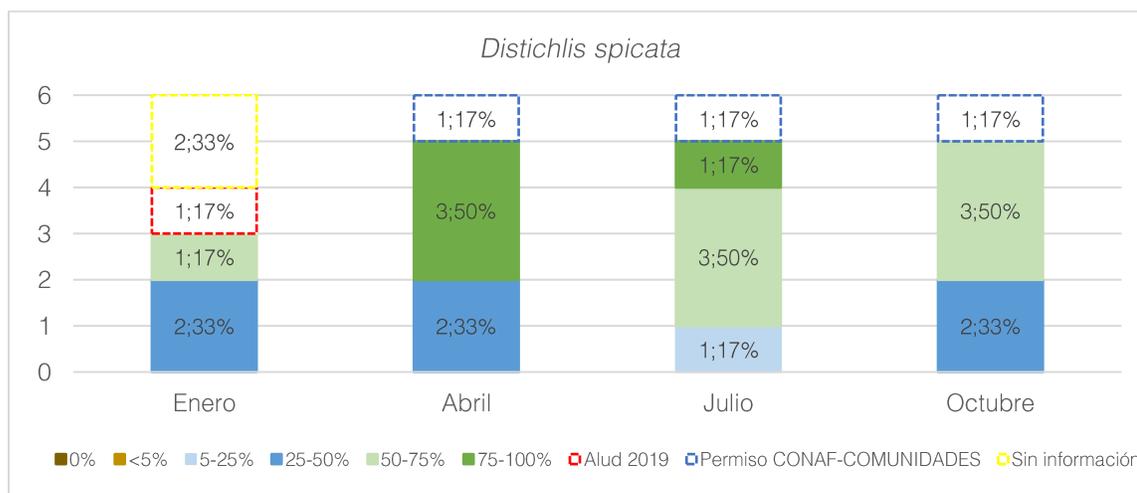
En el mes de abril, *D. spicata* presenta una mejor condición de su follaje verde, en esta época todas las prospecciones superan el 25% de follaje, predominando el follaje de 75-100%. Esto concuerda con las fases fenológicas observadas en abril, las que son mayoritariamente floración y crecimiento vegetativo.

En la prospección de invierno (realizada en el mes de julio), la proporción de follaje fotosintéticamente activo disminuye, se registra un ejemplar con follaje inferior al 25% de la planta, y tres ejemplares con copa 50-75%.

Solo un individuo registro follaje por sobre el 75%. 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 con floración y crecimiento vegetativo.

La prospección de primavera (monitoreo de octubre), da cuenta de un aumento en la porción de follaje verde, donde todos los individuos monitoreados cuentan con follaje entre 25-50% y 50-75%. Esto se ajusta a la fenología de las plantas, ya que en este periodo la totalidad de individuos de esta especie se encontraron con flores.

Figura 5-14. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Distichlis spicata* monitoreados en las campañas de 2020.

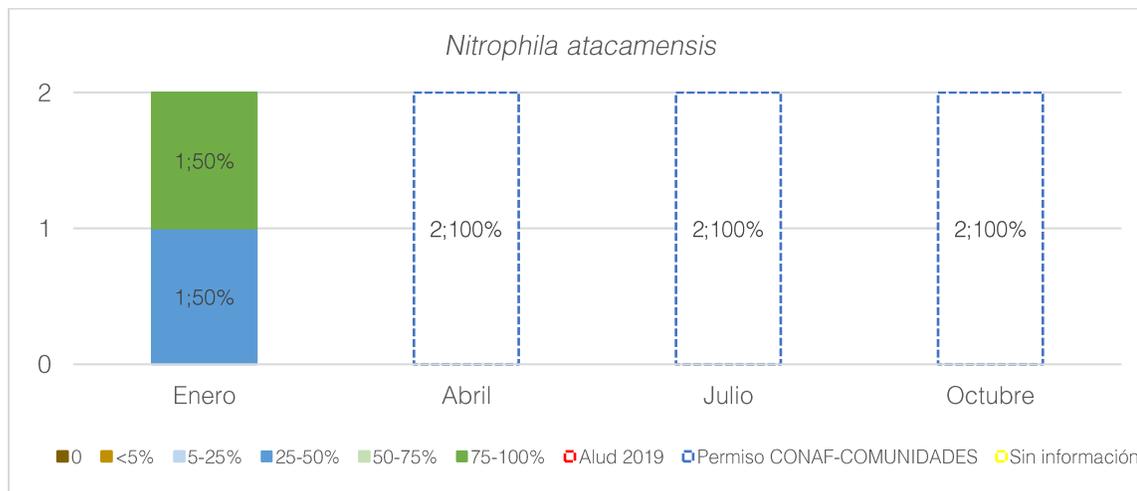


Nitrophila atacamensis

La porción de follaje fotosintéticamente activo de *Nitrophila atacamensis* solo se evaluó en el mes de enero (monitoreo de verano), ya que las parcelas de vegetacion donde se emplazan estos individuos, presentaban restricciones de acceso debido al cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos en los meses de abril, julio y octubre, producto de la pandemia.

Los datos del mes de enero dan cuenta de dos ejemplares, los que corresponden a la totalidad de individuos evaluados históricamente. De ellos, uno se encontró con follaje entre 50-75% y otro con follaje entre 75-100%. Esta expresión del follaje se condice con los análisis fenológicos de la especie, que sitúan a estos individuos con crecimiento vegetativo y floración en dicha época.

Figura 5-15. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Nitrophila atacamensis* monitoreados en las campañas de 2020.



Tessaria absinthioides

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

Las prospecciones de fenología de *Tessaria absinthioides* en el mes de enero se vieron afectadas por el alud de febrero de 2019, donde 24 ejemplares fueron perjudicados, impidiendo su correcto monitoreo. Además, siete ejemplares no pudieron ser reconocido en terreno (ya que su placa identificatoria no fue encontrada). Por consiguiente, los individuos sin monitorear en enero llegaron a 31 (26% del total). Por su parte, en este mes los individuos sin presencia de follaje llegaron a 56 (46% del total). Se registraron 11 individuos con follaje menor al 25% (9% del total) y 18 con follaje entre 25 y 50%. Los individuos con follaje verde mayor a 75% fueron siete (6% del total). Estos resultados son afines al análisis fenológico de esta especie, ya que los individuos sin follaje o follaje menor al 25% se encuentran catalogados 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 floración.

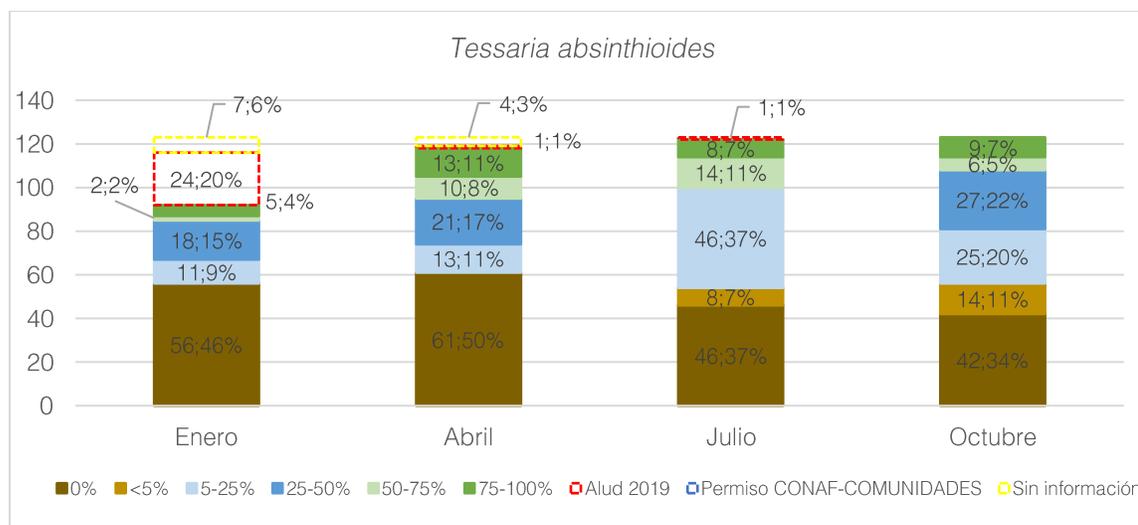
Tal como se mencionó anteriormente, durante el monitoreo de otoño (realizado en el mes de abril), se re-etiquetaron 23 de los 24 individuos afectados por el alud, y se pudieron monitorear 4 de las 7 plantas que en el mes de enero no se encontraron. Por lo que, los individuos sin monitorear en esta fecha alcanzaron los 5 ejemplares (4% del total). En esta época, correspondiente al término del periodo de máxima expresión de la vegetación y comienzo de la fase recesiva de las plantas, 61 individuos (50% del total) se registraron sin follaje fotosintéticamente activo, mientras que 13 (11% del total) presentaron follaje menor al 25% (categoría 5-25%). Por otro lado, 44 individuos presentaron follaje verde por sobre el 25%, de estos, 30 presentaron floración en esta época (ver Figura 5-11).

En el mes de julio, periodo invernal y plena fase recesiva de la vegetación, solo un 1% de las plantas de *T. absinthioides* no fueron monitoreadas. En este monitoreo predominaron los ejemplares sin follaje y con follaje entre 5-25%, con 46 individuos en cada categoría (37% del total respectivamente). Por su parte, a diferencia

de las prospecciones anteriores, en este mes se catalogaron ocho individuos con follaje menor al 5%, mientras que los individuos con follaje superior al 50% disminuyeron respecto a las dos épocas anteriores. Estos resultados concuerdan con la fenología de *T. absinthioides* en esta estación del año, donde aquellos individuos sin follaje o con follaje menor al 5% se catalogaron como senescentes, mientras que aquellos con mayor porcentaje de follaje presentaron crecimiento vegetativo, floración y en solo un caso, fructificación.

En el monitoreo de octubre, comenzando la primavera, los individuos sin follaje bajan en cantidad, llegando a 42 (equivalente al 34% del total), mientras que aumentan a 14 los ejemplares con follaje menor al 5%. Aquellos ejemplares que en invierno presentarlos follaje entre 5-25% disminuyeron a 25 (20% del total), aumentando aquellos con follaje mayor a 25%. Al aumentar el número de ejemplares con follaje y en particular con un porcentaje mayor a 25%, se acentúan las etapas fenológicas de floración y fructificación (ver Figura 5-11).

Figura 5-16. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Tessaria absinthioides* monitoreados en las campañas de 2020.



5.4.3. Vitalidad

Los resultados del monitoreo de la vitalidad de los individuos se presentan a continuación en la Tabla 5-9 y Figura 5-17. Los detalles de cada punto monitoreado se muestran en el Anexo I – Estado vital de la vegetación.

Tabla 5-9. Resumen de individuos por categoría de vitalidad.

Categoría	Número de Individuos por clase de vitalidad				Proporción en % del número de individuos por clase de vitalidad			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
Seco	57	63	49	45	40,4%	44,7%	34,8%	31,9%
Muy débil	12	16	31	28	8,5%	11,3%	22,0%	19,9%
Débil	26	28	35	43	18,4%	19,9%	24,8%	30,5%
Crecimiento normal	9	22	20	20	6,4%	15,6%	14,2%	14,2%
Excepcionalmente vigoroso	1	3	2	2	0,7%	2,1%	1,4%	1,4%

Tabla 5-9. Resumen de individuos por categoría de vitalidad.

Categoría	Número de Individuos por clase de vitalidad				Proporción en % del número de individuos por clase de vitalidad			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
Desaparecidos por Aluvión del 2019**	26	1	1	-	18,4%	0,7%	0,7%	-
No monitoreado por restricción de acceso a RN	-	3	3	3	-	2,1%	2,1%	2,1%
Sin información*	10	5	-	-	7,1%	3,5%	-	-
Total	141 ¹	141 ¹	141 ¹	141 ¹	100%	100%	100%	100%

(1) Individuo extra corresponde a ejemplar de *D. spicata* ubicado en parcela asociada al pozo de monitoreo L7-14.

* Se refiere a individuos que sin motivo aparente no lograron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora fue encontrada en el suelo.

** Se refiere a aquellos individuos desaparecidos de la parcela debido al aluvión que descendió de la quebrada de Camar en verano del 2019. A partir de la campaña de abril del 2020, el N° de individuos en esta categoría disminuye, dado que SQM etiquetó nuevos ejemplares para ser monitoreados.

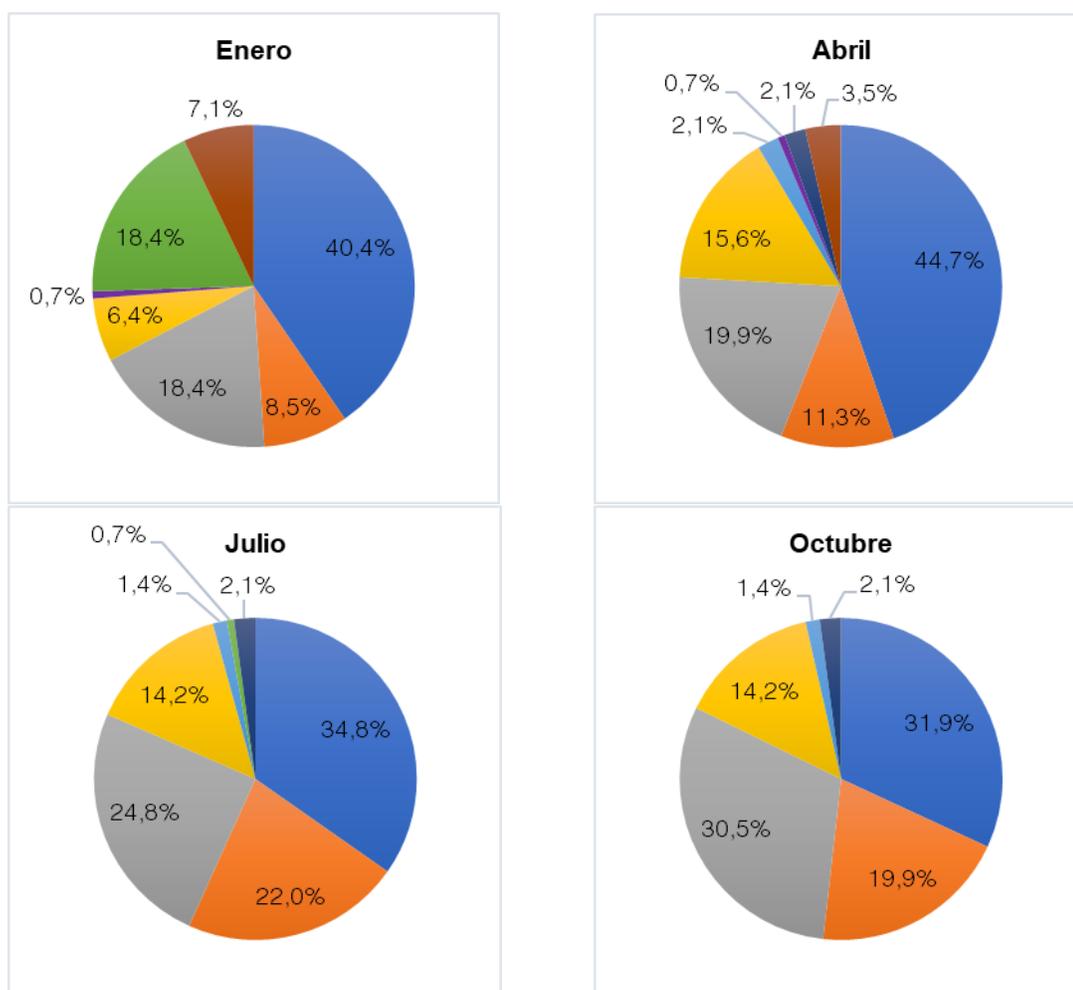
Considerando que las fases fenológicas de la mayoría de las plantas evaluadas siguen un régimen estacional donde hacia la primavera y el verano se presentan en su etapa de máximo crecimiento tanto vegetativo como reproductivo (desarrollo de flores y frutos), y que, hacia el otoño, comienza la fase recesiva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

- La categoría de vitalidad seco predomina en todos los meses monitoreados, variando desde un 31,9% (octubre) a un 44,7% (abril). Además, un alto porcentaje de ejemplares presentan esta categoría en los meses de enero y julio, llegando a 40,4% en enero y 34,8% en julio.
- Los registros muestran un porcentaje de individuos identificados bajo la categoría Muy débil de 8,5% en enero, 11,3% en abril, 22,0% en julio y 19,9% en octubre.
- Los individuos descritos como débiles tienen su mayor representación en el mes de octubre con un 30,5% (equivalente a 43 registros). En esta línea, el mes con menor representación de individuos bajo esta categoría es enero, con un 18,4% (26 individuos).
- Los registros de individuos con crecimiento normal presentan su mínimo valor en el mes de enero, con 6,4% (9 ejemplares), a diferencia del mes de abril, julio y octubre que presentaron porcentajes similares, con 15,6%, 14,2% y 14,2% del total de los ejemplares monitoreados, respectivamente.
- Los individuos excepcionalmente vigorosos poseen los registros más bajos en relación con las otras categorías, los que varían de 0,7% individuos en enero a 2,1% individuos en abril.
- Los individuos bajo la categoría de vitalidad "Sin información" llegan a 10 en el mes de enero (7,1% del total) y a 5 en abril (3,5% del total), los que corresponden a individuos que no pudieron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora se encontró desprendida de la planta. Además, los desaparecidos debido al aluvión de febrero de 2019 llegan a aproximadamente el 18,4% de total en el mes de enero, valor que se reduce a partir de abril, debido a que SQM re-etiquetó los ejemplares afectados en dicha campaña (24 individuos arbustivos). Por otro lado, durante los meses de abril, julio y octubre no se monitorearon las parcelas asociadas a los pozos L7-7 y 1027, dejando un 2,1%

del total de la muestra sin prospectar, debido a restricciones de acceso a la Reserva Nacional Los Flamencos.

Figura 5-17. Porcentaje de copa viva de los individuos de *Tessaria absinthioides* monitoreados en las campañas de 2020.

seco ■ Muy débil ■ Débil ■ Crecimiento normal ■ Vigoroso ■ Alud 2019 ■ Permiso CONAF-COMUNIDADES ■ Sin información



5.4.3.1. Vitalidad según especie

Los análisis siguientes responden a la evolución de la vitalidad, de los individuos de *Atriplex atacamensis*, *Distichlis spicata*, *Nitrophila atacamensis* y *Tessaria absinthioides* monitoreados en cuatro meses del año 2020, de acuerdo a 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 dos de los 10 ejemplares objeto de estudio, no

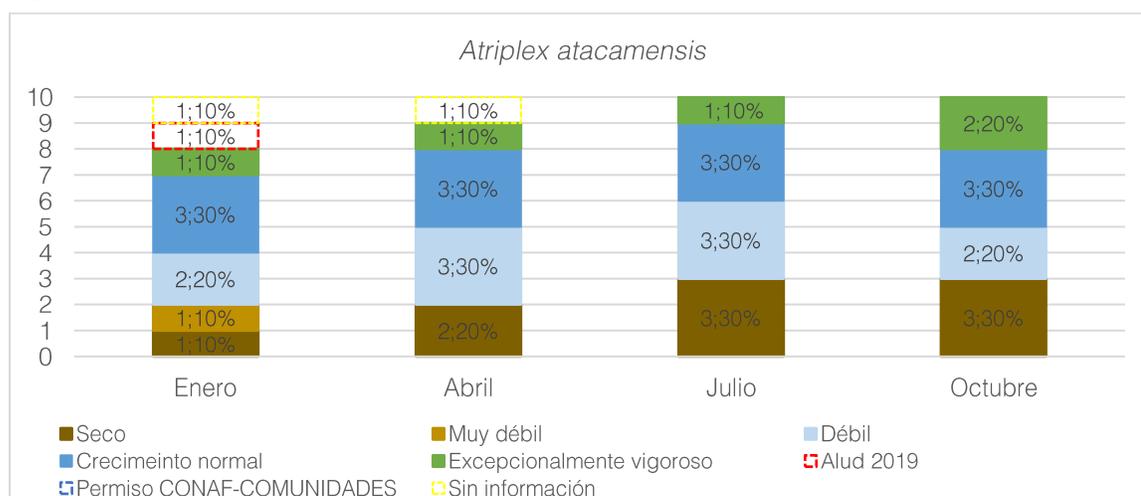
presentan datos, debido a que un ejemplar no pudo ser reconocido en terreno (su placa identificatoria no fue encontrada) y otro fue afectado por el alud de 2019. De los ocho individuos restantes, uno se catalogó como seco, mientras que siete presentaron algún grado de vitalidad, en su mayoría esta fue de crecimiento normal y débil (tres y dos ejemplares respectivamente) y solo un ejemplar se catalogó como excepcionalmente vigoroso. Por su parte, tanto ejemplares débiles, normales y vigorosos presentaron floración en esta época y el ejemplar catalogado como muy débil presentó crecimiento vegetativo.

Tal como se comentó anteriormente, en el mes de abril se re-etiquetó el ejemplar afectado por el alud de 2019, por lo que solo un individuo (10% del total) no cuenta con datos en este monitoreo, debido a que no se logró ubicar durante el terreno. Por otra parte, en el monitoreo de abril, predominan los individuos débiles y de crecimiento normal (tres ejemplares en cada categoría, equivalente al 30% de total respectivamente), mientras que la cantidad de ejemplares secos aumentó en un individuo, llegando al 20% del total. Respecto a la cantidad de individuos vigorosos, esta se mantiene en un ejemplar, al igual que en el monitoreo de enero. Tanto los individuos débiles, como los de crecimiento normal y excepcionalmente vigorosos, presentan floración en esta época.

Hacia el invierno (monitoreo de julio), se identifica aquel individuo que en las dos campañas anteriores no se encontró y se verifica con vitalidad seco, aumentado la cantidad de individuos en esta categoría a tres ejemplares (30% del total). Mientras que los individuos débiles y de crecimiento normal continúan en tres individuos cada uno (60% del total en conjunto) y aquel excepcionalmente vigoroso persiste en esta época. Tal como sucedió en las campañas anteriores, independiente de la vitalidad, las fases fenológicas que presentan las plantas se ajustan a la época de monitoreo, en este sentido, tanto individuos débiles, como de crecimiento normal y vigorosos presentan frutos en invierno.

Hacia la primavera (monitoreo de octubre), no se observan cambios en la vitalidad de los individuos secos (se mantiene en tres ejemplares). Por otra parte, un ejemplar débil aumenta hacia la categoría de crecimiento normal; mientras que un ejemplar de crecimiento normal aumenta su vitalidad a excepcionalmente vigoroso. A pesar de los cambios en vitalidad, en estos siete individuos se registró floración en esta época.

Figura 5-18. Vitalidad de los individuos de *Atriplex atacamensis* monitoreados en las campañas de 2020.

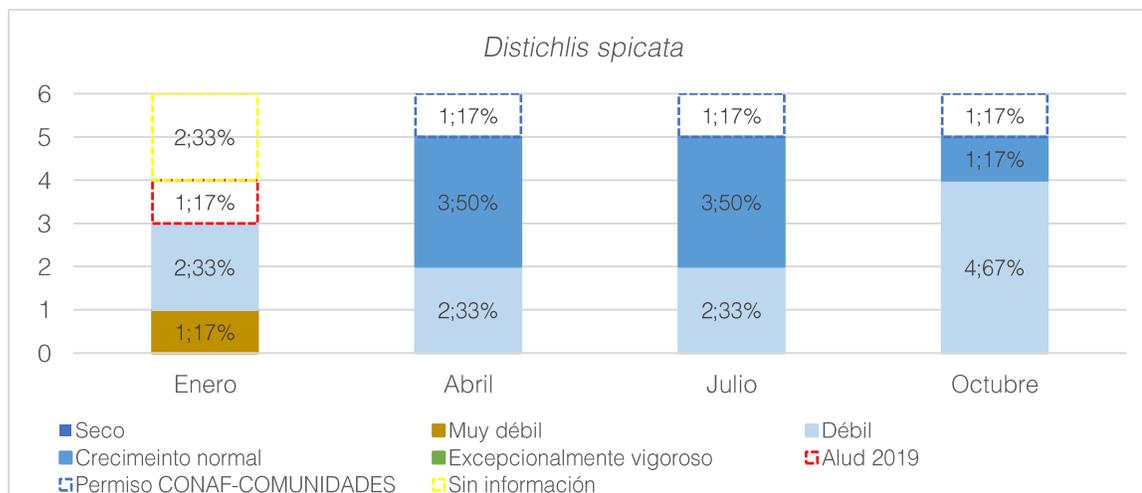


Distichlis spicata

La vitalidad de *Distichlis spicata* se ilustra en la Figura 5-19. Cabe destacar que tres ejemplares no fueron encontrados en terreno, por lo que no fueron evaluados, uno de ellos afectado por el aluvión de febrero de 2019. El estado vital de los ejemplares monitoreados fluctúa entre muy débil y débil, valoraciones que no se conciben del todo con los datos fenológicos y de follaje verde descritos anteriormente, los que describen a estos ejemplares con presencia de órganos reproductivos y follaje superior al 25%, e incluso en un caso superior al 50%. A pesar de esto, cabe destacar que esta variable es cualitativa, por lo que depende en gran medida del ojo del observador.

Las mediciones de otoño dan cuenta de un aumento de la vitalidad de las plantas, donde tres de los seis individuos monitoreados presentan crecimiento normal y solo dos se catalogaron como débiles. Estas valoraciones se mantienen en la campaña de invierno. Por el contrario, hacia la primavera, los ejemplares débiles aumentaron llegando a cuatro individuos (67% del total). En las campañas de abril y julio la vitalidad de las plantas concuerda con los estados fenológicos de ellas, donde los ejemplares de crecimiento normal tienden a presentar el estado de floración. Por el contrario, hacia la primavera, donde 67% de los ejemplares se evaluaron como débiles, todos los individuos tuvieron flores.

Figura 5-19. Vitalidad de los individuos de *Distichlis spicata* monitoreados en las campañas de 2020.

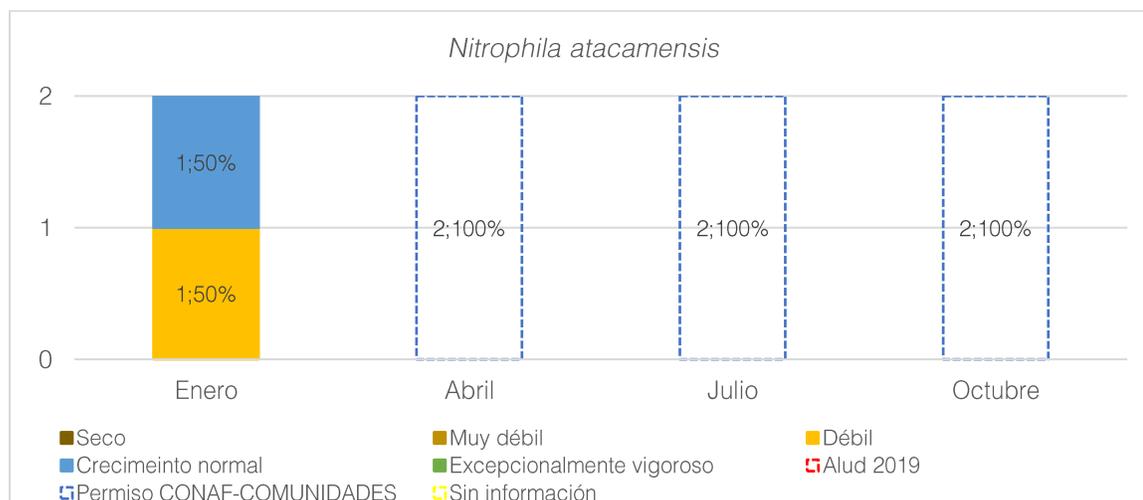


Nitrophila atacamensis

La vitalidad de *Nitrophila atacamensis* solo fue evaluada en el mes de enero, ya que las parcelas de vegetación donde se emplazan estos individuos tuvieron restricciones de acceso debido al cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos en los meses de abril, julio y octubre, producto de la pandemia.

La información recolectada en el mes de enero da cuenta que de los dos individuos evaluados históricamente uno presenta crecimiento normal y otro se catalogó como débil. Esta información es concordante con la fenología registrada para estos individuos, la cual sitúa al individuo débil con crecimiento vegetativo y aquel de crecimiento normal con floración.

Figura 5-20. Vitalidad de los individuos de *Nitrophila atacamensis* monitoreados en las campañas de 2020.



Tessaria absinthioides

En el mes de enero el monitoreo de vitalidad de *Tessaria absinthioides* se vio afectado por el aluvi3n de febrero de 2019, donde 24 individuos fueron perjudicados, impidiendo su correcto monitoreo. Adem3s, siete ejemplares no pudieron ser reconocido en terreno (ya que su placa identificatoria no fue encontrada). Por consiguiente, los individuos sin monitorear en enero llegaron a 31 (26% del total). En este mes los individuos secos llegaron a 56 (46% del total), mientras que aquellos muy d3biles llegaron a 10 (8% del total), los ejemplares d3biles fueron 21 (17% del total) y solo cinco se catalogaron con crecimiento normal (4% del total). La totalidad de ejemplares de crecimiento normal se registr3 con floraci3n, mientras que solo 10 ejemplares d3biles tuvieron esta fase fenol3gica. Esto podr3 deberse a que la vitalidad corresponde a un par3metro subjetivo, dependiente del observador.

En el mes de abril, se re-etiquetaron 23 de los 24 ejemplares afectados por el aluvi3n y se pudieron monitorear 4 de las 7 plantas que en el mes de enero no se encontraron. Los individuos sin monitorear en esta fecha alcanzaron los 5 ejemplares (4% del total). Respecto al monitoreo anterior, los individuos secos aumentaron en cinco ejemplares, llegando a 61 plantas (50% del total), aquellos individuos muy d3biles aumentaron a 16 (13% del total), mientras que los d3biles llegaron a 23 individuos (19% del total). Los ejemplares de crecimiento normal tambi3n aumentaron, llegando a 16 ejemplares (13% del total). En esta 3poca, solo dos individuos se registraron como excepcionalmente vigorosos (2% del total). Al igual que los datos de enero, la totalidad de ejemplares vigorosos y de crecimiento normal se registraron con floraci3n, mientras que solo 12 ejemplares d3biles tuvieron flores. El resto de los individuos d3biles, y aquellos muy d3biles, solo presentaron crecimiento vegetativo.

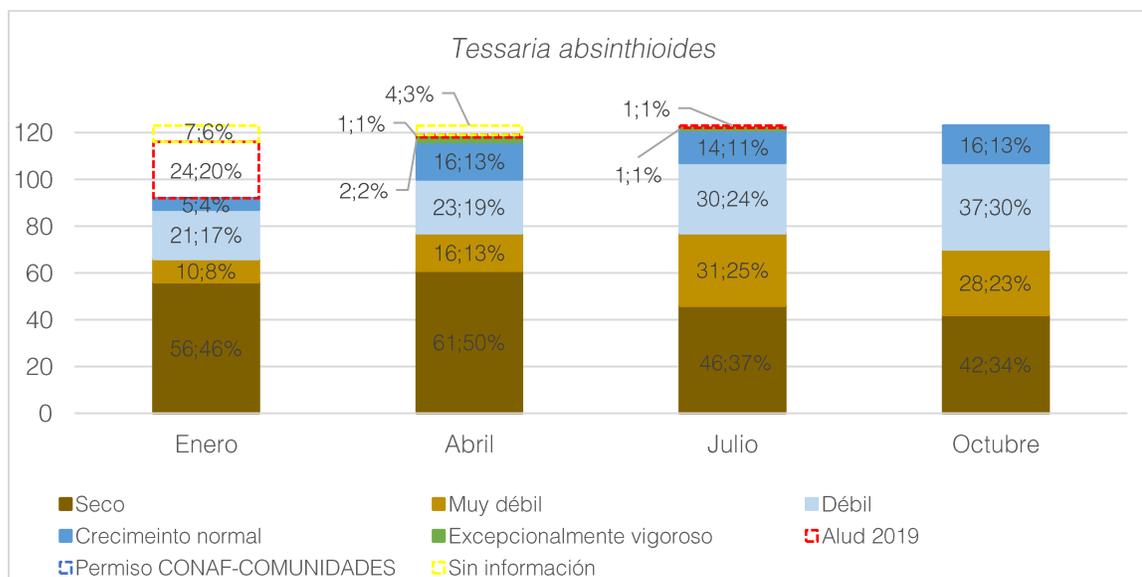
En el mes de julio, periodo invernal y plena fase recesiva de la vegetacion, solo un 2% de las plantas de *T. absinthioides* no fueron monitoreadas. Por su parte, los individuos secos disminuyeron respecto al mes de abril, llegando a 46 ejemplares (37% del total), mientras que las plantas muy d3biles y d3biles aumentaron, llegando a 31 y 30 individuos (25% y 24% del total respectivamente). Los ejemplares de crecimiento normal y excepcionalmente vigorosos tambi3n disminuyeron respecto al oto3o, llegando a 14 y un individuo (11% y 1% respectivamente). Al igual que los monitoreos anteriores, todos los ejemplares vigorosos y de crecimiento

normal presentaron floración, mientras que solo una parte de aquellos débiles lo hicieron. Además, 11 de los ejemplares catalogados como muy débiles se encontraron en senescencia en este periodo. El resto de los ejemplares muy débiles y débiles tuvieron crecimiento vegetativo.

En el monitoreo de primavera (octubre), los individuos secos y muy débiles, bajan en cantidad, llegando a 42 y 28 ejemplares (34% y 23% del total respectivamente). Mientras que aquellos débiles y de crecimiento normal aumentan, llegando a 37 y 16 individuos respectivamente (30% y 13% del total). Respecto a la fenología de las plantas, seis de los 16 ejemplares de crecimiento normal se registraron con frutos, mientras que el resto (10 individuos) y la totalidad de ejemplares débiles (37 individuos) se registraron con flores. Solo cuatro de los 28 ejemplares muy débiles tuvieron flores.

Si bien *T. absinthioides* es la especie con mayor número de ejemplares evaluados, estos al ser fijos en el tiempo, no permiten evaluar objetivamente la dinámica de la especie, ya que parte de los ejemplares secos en la actualidad se encuentran muertos, debido a que han cumplido su ciclo vital, lo que genera un déficit de información al no contemplar, en la parcela, a aquellos ejemplares que han surgido posterior a la elección de individuos a monitorear.

Figura 5-21. Vitalidad de los individuos de *Tessaria absinthioides* monitoreados en las campañas de 2020.



6. DISCUSIÓN

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

6.1. Variación del contenido de humedad del suelo en el tiempo

En la Figura 6-1 se muestra el comportamiento interanual de las mediciones de contenido de humedad gravimétrico del suelo por parcela de monitoreo para los dos laboratorios involucrados en los análisis del

presente año. En los gráficos se reportan los valores promedio de los años de evaluación (2007-2020) y las barras representan la desviación estándar.

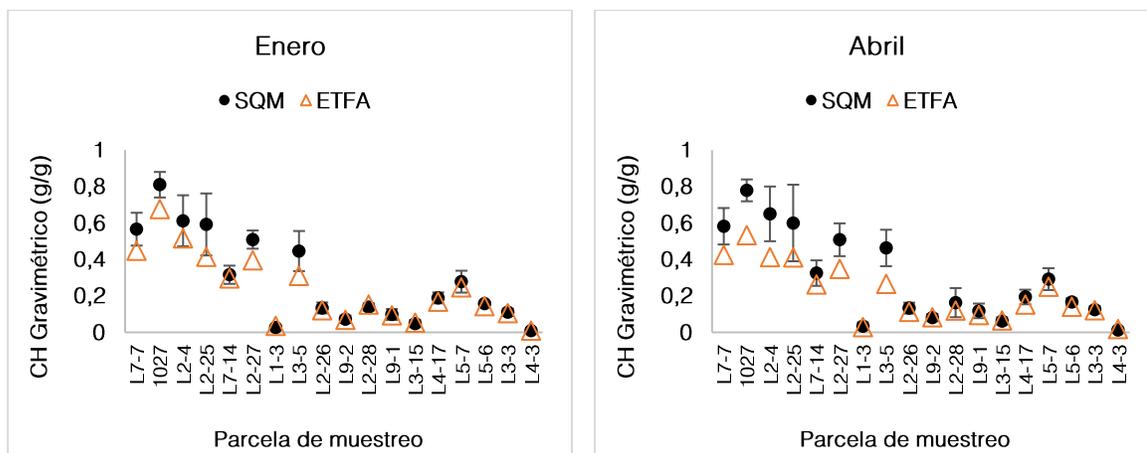
En todos los gráficos perteneciente a la Figura 6-1 se evidencia que los valores reportados por los laboratorios mantienen las diferencias señaladas en la sección 5.1.3: Algoritmos SpA. reporta valores inferiores a los rangos históricos del Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar. Esta diferencia es mayor en las muestras que poseen mayor humedad, lo que podría estar ligado a la potencial pérdida de agua debido al tiempo transcurrido entre la toma de muestras y los análisis de laboratorio.

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 periodos evaluados (Figura 6-1). Conforme a ello, el CHS en las parcelas L2-4 y L2-25 alcanzan los valores promedio anuales máximos, con 0,465 g/g y 0,435 g/g, estos corresponden a valores altos 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). De hecho, las parcelas L7-7 y 1027 que fueron monitoreadas únicamente en el mes de enero¹², presentan los valores máximos del año 2020, con valores superiores a 0,5 g/g (0,566 g/g y 0,810 g/g promedio histórico del mes de enero, respectivamente), lo que podría indicar que en esos puntos el suelo podría estar saturado o cercano a la saturación.

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 entre los meses evaluados históricamente. Por ejemplo, la parcela L4-3 posee un CHS promedio histórico (2007-2020) de 0,023 g/g, indicando que la proporción de agua respecto a la de partículas de suelo es de 2,3%.

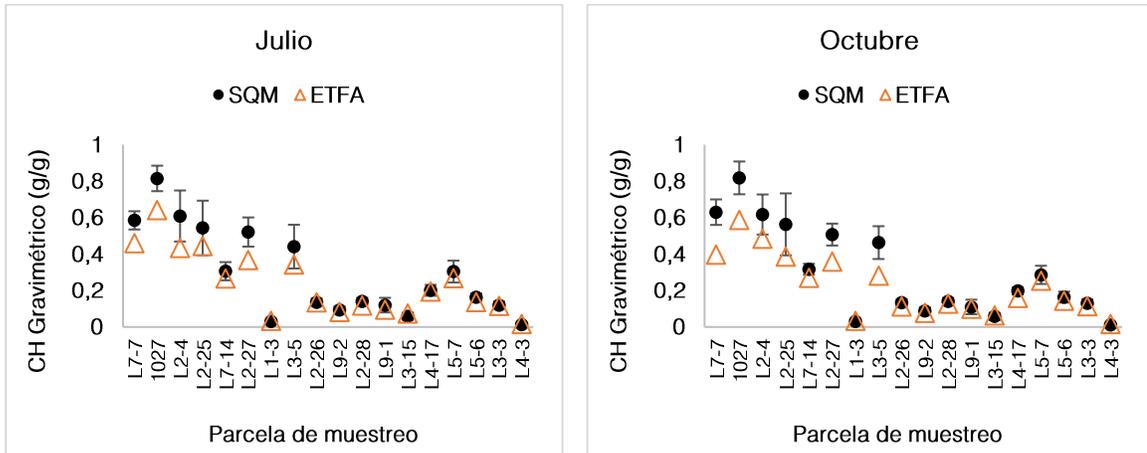
En la Figura 6-1 y desde la Tabla 6-1 a la Tabla 6-6 se presentan los resultados de los monitoreos de contenido de humedad gravimétrico por trimestres de medición, para cada uno de los años de seguimiento. El monitoreo de enero de 2007 no es presentado ya que el monitoreo comenzó en abril de ese año. Se aclara que el monitoreo inició una vez que los pozos fueron habilitados, comenzando en julio de 2007.

Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2020.



¹² Debido al cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos, producto de la pandemia.

Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2020.



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 CONAF-Comunidades.
 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.

Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de enero periodo 2007 – 2020.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CHS promedio (g/g) ¹
L7-7	-	0,798	0,723	0,499	0,487	0,537	0,559	0,512	0,550	0,501	0,531	0,510	0,632	0,523	0,566 (± 0,09)
1027	-	0,894	0,908	0,731	0,798	0,780	0,876	0,700	0,734	0,830	0,785	0,806	0,913	0,780	0,810 (± 0,07)
L2-4	-	0,614	0,524	0,997	0,769	0,461	0,622	0,631	0,549	0,555	0,480	0,483	0,717	0,559	0,612 (± 0,14)
L2-25	-	0,935	0,707	0,625	0,828	0,397	0,792	0,505	0,426	0,465	0,477	0,480	0,577	0,476	0,592 (± 0,17)
L7-14	-	0,247	0,263	0,384	0,354	0,353	0,364	0,300	0,316	0,324	0,354	0,291	0,340	0,221	0,316 (± 0,05)
L2-27	-	0,480	0,501	0,622	0,578	0,487	0,555	0,469	0,464	0,546	0,460	0,491	0,472	0,488	0,509 (± 0,05)
L1-3	-	0,013	0,007	0,024	0,022	0,021	0,033	0,030	0,029	0,033	0,024	0,025	0,059	0,031	0,027 (± 0,01)
L3-5	-	0,381	0,385	0,603	0,554	0,418	0,56	0,553	0,480	0,466	0,378	0,436	0,423	0,163	0,446 (± 0,11)
L2-26	-	0,127	0,104	0,202	0,184	0,119	0,105	0,114	0,114	0,140	0,106	0,122	0,189	0,110	0,134 (± 0,03)
L9-2	-	0,072	0,069	0,092	0,044	0,041	0,085	0,065	0,090	0,087	0,067	0,091	0,071	0,068	0,072 (± 0,02)
L2-28	-	0,149	0,151	0,177	0,146	0,148	0,085	0,121	0,122	0,126	0,139	0,124	0,175	0,141	0,139 (± 0,02)
L9-1	-	0,105	0,031	0,17	0,096	0,049	0,114	0,087	0,118	0,102	0,125	0,098	0,093	0,086	0,098 (± 0,03)
L3-15	-	0,031	0,014	0,023	0,043	0,055	0,085	0,061	0,057	0,050	0,04	0,048	0,052	0,068	0,048 (± 0,02)
L4-17	-	0,224	0,209	0,225	0,208	0,190	0,225	0,162	0,143	0,137	0,217	0,185	0,153	0,178	0,189 (± 0,03)
L5-7	-	0,233	0,230	0,356	0,299	0,239	0,339	0,213	0,329	0,336	0,361	0,221	0,224	0,231	0,278 (± 0,06)
L5-6	-	0,170	0,166	0,16	0,162	0,158	0,163	0,163	0,155	0,166	0,167	0,167	0,149	0,112	0,158 (± 0,01)
L3-3	-	0,103	0,063	0,116	0,122	0,128	0,112	0,135	0,092	0,112	0,085	0,126	0,111	0,123	0,110 (± 0,02)
L4-3	-	0,005	0,003	0,008	0,003	0,001	0,044	0,005	0,003	0,017	0,006	0,010	0,003	0,017	0,010 (± 0,01)

¹Desviación estándar entre paréntesis.

Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de abril periodo 2007 – 2020.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CHS promedio (g/g) ¹
L7-7	0,453	0,644	0,872	0,623	0,533	0,560	0,533	0,548	0,551	0,515	0,651	0,500	S/I ⁴	S/I ⁴	0,582 (± 0,1)
1027	0,753	0,798	0,666	0,849	0,858	0,840	0,831	0,732	0,718	0,778	0,818	0,705	S/I ⁴	S/I ⁴	0,779 (± 0,06)
L2-4	0,838	0,795	0,929	0,845	0,529	0,707	0,618	0,475	0,628	0,534	0,556	0,650	0,612	0,382	0,650 (± 0,15)
L2-25	1,079 ²	0,817	1,017	0,600	0,554	0,641	0,463	0,397	0,400	0,455	0,507	0,569	0,512	0,392	0,600 (± 0,21)
L7-14	0,217	0,258	0,362	0,381	0,491	0,379	0,327	0,344	0,331	0,289	0,320	0,317	0,324	0,213	0,325 (± 0,07)
L2-27	0,496	0,509	0,766	0,552	0,502	0,582	0,458	0,445	0,451	0,479	0,533	0,417	0,398	0,530	0,508 (± 0,09)
L1-3	0,040	0,029	0,019	0,086	0,017	0,035	0,028	0,037	0,027	0,028	0,027	0,025	0,050	0,033	0,034 (± 0,02)
L3-5	0,524	0,403	0,628	0,540	0,626	0,502	0,443	0,419	0,424	0,500	0,429	0,321	0,434	0,287	0,463 (± 0,1)
L2-26	0,183	0,131	0,156	0,171	0,104	0,138	0,128	0,129	0,114	0,106	0,139	0,106	0,175	0,089	0,133 (± 0,03)
L9-2	0,097	0,107	0,068	0,058	0,037	0,088	0,066	- ³	0,091	0,082	0,100	0,084	0,104	0,074	0,081 (± 0,02)
L2-28	0,183	0,157	0,167	0,137	0,104	0,166	0,106	0,117	0,143	0,455	0,135	0,130	0,161	0,118	0,163 (± 0,08)
L9-1	0,115	0,056	0,178	0,147	0,051	0,086	0,128	0,210	0,118	0,106	0,112	0,101	0,112	0,125	0,118 (± 0,04)
L3-15	0,066	0,052	0,039	0,052	0,067	0,096	0,084	0,051	0,054	0,050	0,060	0,048	0,086	0,068	0,062 (± 0,02)
L4-17	0,242	0,211	0,263	0,238	0,163	0,197	0,162	0,190	0,177	0,183	0,160	0,136	0,234	0,163	0,194 (± 0,04)
L5-7	0,338	0,259	0,244	0,448	0,238	0,280	0,313	0,238	0,242	0,317	0,302	0,248	0,325	0,297	0,292 (± 0,06)
L5-6	0,198	0,180	0,163	0,179	0,187	0,158	0,165	0,162	0,202	0,165	0,162	0,133	0,138	0,150	0,167 (± 0,02)
L3-3	0,133	0,132	0,121	0,111	0,106	0,168	0,124	0,135	0,157	0,102	0,104	0,077	0,161	0,111	0,124 (± 0,02)
L4-3	0,004	0,004	0,009	0,007	0,01	0,017	0,009	0,007	0,033	0,013	0,018	0,008	0,033	0,014	0,013 (± 0,01)

¹Desviación estándar entre paréntesis.

²El contenido de agua se determina en función del peso seco de la muestra, razón por la cual los resultados pueden ser superior a 1 (100%).

³Este valor fue descartado del análisis por considerarse un valor outlier (atípico) que induce a inconsistencias y error al análisis.

⁴Datos inexistentes, muestras no tomadas dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de la pandemia y negativa a solicitud de acceso según Protocolo CONAF-Comunidades.

Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de julio periodo 2007 – 2020.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CHS promedio (g/g) ¹
L7-7	S/I ²	0,577	0,693	0,601	0,530	0,619	0,608	0,563	0,594	0,519	0,617	0,496	0,608	S/I ³	0,585 (± 0,05)
1027	0,806	0,913	0,857	0,767	0,802	0,799	0,925	0,694	0,909	0,728	0,781	0,799	0,813	S/I ³	0,815 (± 0,07)
L2-4	0,759	0,484	0,868	0,864	0,534	0,673	0,617	0,551	0,638	0,516	0,616	0,448	0,507	0,446	0,609 (± 0,14)
L2-25	0,987	0,583	0,642	0,740	0,446	0,545	0,458	0,457	0,455	0,397	0,460	0,488	0,515	0,426	0,543 (± 0,15)
L7-14	0,237	0,279	0,332	0,365	0,230	0,383	0,334	0,337	0,337	0,312	0,349	0,328	0,233	0,231	0,306 (± 0,05)
L2-27	0,568	0,509	0,546	0,637	0,490	S/I ²	0,697	0,519	0,465	0,493	0,548	0,506	0,448	0,347	0,521 (± 0,08)
L1-3	0,024	0,031	0,022	0,024	0,022	0,026	0,038	0,033	0,029	0,022	0,025	0,030	0,054	0,035	0,030 (± 0,01)
L3-5	S/I ²	0,410	0,304	0,691	0,419	0,519	0,549	0,39	0,541	0,470	0,485	0,39	0,337	0,232	0,441 (± 0,12)
L2-26	S/I ²	0,160	0,156	0,190	0,122	0,136	0,133	0,119	0,119	0,106	0,139	0,151	0,138	0,101	0,136 (± 0,02)
L9-2	0,12	0,069	0,129	0,122	0,071	0,111	0,085	0,071	0,087	0,076	0,095	0,084	0,103	0,075	0,093 (± 0,02)
L2-28	S/I ²	0,159	0,168	0,149	0,140	0,164	0,137	0,129	0,128	0,119	0,150	0,116	0,158	0,107	0,140 (± 0,02)
L9-1	0,094	0,093	0,228	0,169	0,138	0,112	0,139	0,090	0,103	0,098	0,118	0,094	0,108	0,095	0,120 (± 0,04)
L3-15	S/I ²	0,050	0,031	0,044	0,031	0,091	0,077	0,064	0,052	0,050	0,062	0,056	0,090	0,064	0,059 (± 0,02)
L4-17	S/I ²	0,208	0,202	0,262	0,250	0,213	0,214	0,183	0,179	0,179	0,180	0,163	0,234	0,143	0,201 (± 0,03)
L5-7	0,272	0,263	0,388	0,377	0,282	0,339	0,363	0,222	0,318	0,284	0,298	0,267	0,378	0,201	0,304 (± 0,06)
L5-6	0,183	0,175	0,177	0,186	0,185	0,098	0,171	0,178	0,167	0,174	0,167	0,161	0,148	0,128	0,164 (± 0,02)
L3-3	0,097	0,109	0,142	0,150	0,102	0,146	0,106	0,109	0,144	0,113	0,117	0,09	0,169	0,085	0,120 (± 0,02)
L4-3	0,004	0,015	0,010	0,008	0,005	0,017	0,009	0,005	0,029	0,015	0,017	0,005	0,029	0,017	0,013 (± 0,01)

¹Desviación estándar entre paréntesis.

²Sin información para el periodo.

³Datos inexistentes, muestras no tomadas dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de la pandemia y negativa a solicitud de acceso según Protocolo CONAF-Comunidades.

Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de octubre periodo 2007 – 2020.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CHS promedio (g/g) ¹
L7-7	0,713	0,609	0,694	0,751	0,664	0,644	0,649	0,632	0,529	0,570	0,573	0,535	S/I ²	S/I ²	0,630 (± 0,07)
1027	0,776	0,958	0,673	0,763	0,826	0,838	0,817	0,712	0,856	0,915	0,707	0,977	S/I ²	S/I ²	0,818 (± 0,09)
L2-4	0,731	0,648	0,878	0,547	0,527	0,611	0,534	0,526	0,748	0,624	0,511	0,640	0,643	0,472	0,617 (± 0,11)
L2-25	0,974	0,712	0,556	0,410	0,386	0,852	0,478	0,512	0,482	0,491	0,621	0,515	0,455	0,445	0,563 (± 0,17)
L7-14	0,275	0,272	0,358	0,344	0,337	0,348	0,344	0,321	0,332	0,326	0,316	0,341	0,248	0,278	0,317 (± 0,03)
L2-27	0,515	0,520	0,545	0,512	0,540	0,610	0,578	0,539	0,481	0,529	0,406	0,537	0,411	0,379	0,507 (± 0,06)
L1-3	0,012	0,024	0,030	0,020	0,018	0,031	0,042	0,039	0,025	0,027	0,033	0,034	0,047	0,037	0,030 (± 0,01)
L3-5	0,525	0,348	0,681	0,481	0,498	0,527	0,490	0,465	0,471	0,435	0,510	0,422	0,344	0,289	0,463 (± 0,09)
L2-26	0,142	0,134	0,153	0,169	0,146	0,123	0,115	0,124	0,134	0,111	0,115	0,140	0,136	0,113	0,133 (± 0,02)
L9-2	0,141	0,126	0,102	0,060	0,053	0,101	0,078	0,075	0,086	0,075	0,095	0,079	0,083	0,074	0,088 (± 0,02)
L2-28	0,131	0,165	0,178	0,124	0,134	0,151	0,138	0,138	0,140	0,114	0,136	0,150	0,148	0,114	0,140 (± 0,02)
L9-1	0,075	0,093	0,224	0,102	0,124	0,113	0,136	0,040	0,098	0,101	0,102	0,113	0,107	0,105	0,110 (± 0,04)
L3-15	0,078	0,031	0,043	0,040	0,035	0,059	0,060	0,076	0,048	0,049	0,059	0,079	0,085	0,067	0,058 (± 0,02)
L4-17	0,208	0,225	0,241	0,203	0,222	0,212	0,186	0,170	0,186	0,178	0,169	0,200	0,211	0,154	0,198 (± 0,02)
L5-7	0,349	0,239	0,416	0,260	0,251	0,290	0,252	0,286	0,258	0,254	0,249	0,301	0,307	0,292	0,286 (± 0,05)
L5-6	0,215	0,195	0,159	0,088	0,183	0,175	0,161	0,163	0,171	0,164	0,151	0,153	0,154	0,158	0,164 (± 0,03)
L3-3	0,166	0,134	0,138	0,136	0,098	0,132	0,128	0,129	0,151	0,114	0,105	0,125	0,168	0,111	0,131 (± 0,02)
L4-3	0,005	0,003	0,006	0,007	0,003	0,011	0,008	0,005	0,022	0,011	0,016	0,015	0,026	0,023	0,011 (± 0,01)

¹Desviación estándar entre paréntesis.

²Datos inexistentes, muestras no tomadas dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de la pandemia y negativa a solicitud de acceso según Protocolo CONAF-Comunidades.

Tabla 6-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Promedio anual periodo 2007 – 2020.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CHS promedio (g/g) ¹	m	Valor - p	Resultado
L7-7	0,713	0,609	0,694	0,751	0,664	0,644	0,649	0,632	0,529	0,570	0,573	0,535	S/I ²	S/I ²	0,630 (± 0,07)	-0,008	0,036	Significativo
1027	0,776	0,958	0,673	0,763	0,826	0,838	0,817	0,712	0,856	0,915	0,707	0,977	S/I ²	S/I ²	0,818 (± 0,09)	0,000	0,933	No significativo
L2-4	0,731	0,648	0,878	0,547	0,527	0,611	0,534	0,526	0,748	0,624	0,511	0,640	0,643	0,472	0,617 (± 0,11)	-0,019	0,002	Significativo
L2-25	0,974	0,712	0,556	0,410	0,386	0,852	0,478	0,512	0,482	0,491	0,621	0,515	0,455	0,445	0,563 (± 0,17)	-0,030	0,001	Significativo
L7-14	0,275	0,272	0,358	0,344	0,337	0,348	0,344	0,321	0,332	0,326	0,316	0,341	0,248	0,278	0,317 (± 0,03)	-0,001	0,713	No significativo
L2-27	0,515	0,520	0,545	0,512	0,540	0,610	0,578	0,539	0,481	0,529	0,406	0,537	0,411	0,379	0,507 (± 0,06)	-0,009	0,003	Significativo
L1-3	0,012	0,024	0,030	0,020	0,018	0,031	0,042	0,039	0,025	0,027	0,033	0,034	0,047	0,037	0,030 (± 0,01)	0,001	0,069	No significativo
L3-5	0,525	0,348	0,681	0,481	0,498	0,527	0,490	0,465	0,471	0,435	0,510	0,422	0,344	0,289	0,463 (± 0,09)	-0,013	0,012	Significativo
L2-26	0,142	0,134	0,153	0,169	0,146	0,123	0,115	0,124	0,134	0,111	0,115	0,140	0,136	0,113	0,133 (± 0,02)	-0,003	0,059	No significativo
L9-2	0,141	0,126	0,102	0,060	0,053	0,101	0,078	0,075	0,086	0,075	0,095	0,079	0,083	0,074	0,088 (± 0,02)	-0,001	0,267	No significativo
L2-28	0,131	0,165	0,178	0,124	0,134	0,151	0,138	0,138	0,140	0,114	0,136	0,150	0,148	0,114	0,140 (± 0,02)	-0,001	0,478	No significativo
L9-1	0,075	0,093	0,224	0,102	0,124	0,113	0,136	0,040	0,098	0,101	0,102	0,113	0,107	0,105	0,110 (± 0,04)	-0,001	0,506	No significativo
L3-15	0,078	0,031	0,043	0,040	0,035	0,059	0,060	0,076	0,048	0,049	0,059	0,079	0,085	0,067	0,058 (± 0,02)	0,001	0,172	No significativo
L4-17	0,208	0,225	0,241	0,203	0,222	0,212	0,186	0,170	0,186	0,178	0,169	0,200	0,211	0,154	0,198 (± 0,02)	-0,005	0,001	Significativo
L5-7	0,349	0,239	0,416	0,260	0,251	0,290	0,252	0,286	0,258	0,254	0,249	0,301	0,307	0,292	0,286 (± 0,05)	-0,002	0,323	No significativo
L5-6	0,215	0,195	0,159	0,088	0,183	0,175	0,161	0,163	0,171	0,164	0,151	0,153	0,154	0,158	0,164 (± 0,03)	-0,003	0,007	Significativo
L3-3	0,166	0,134	0,138	0,136	0,098	0,132	0,128	0,129	0,151	0,114	0,105	0,125	0,168	0,111	0,131 (± 0,02)	-0,001	0,628	No significativo
L4-3	0,005	0,003	0,006	0,007	0,003	0,011	0,008	0,005	0,022	0,011	0,016	0,015	0,026	0,023	0,011 (± 0,01)	0,001	0,004	Significativo

¹Desviación estándar entre paréntesis.

²Datos inexistentes, muestras no tomadas dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de la pandemia y negativa a solicitud de acceso según Protocolo CONAF-Comunidades.

Tabla 6-6. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por los laboratorios SGS² (2016-2017) y Algoritmos (2018-2020). Periodo 2016 – 2020.

Parcela de monitoreo	Enero					Abril					Julio					Octubre					
	2017	2018	2019	2020	CHS promedio (g/g)	2017	2018	2019	2020	CHS promedio (g/g)	2017	2018	2019	2020	CHS promedio (g/g)	2016	2017	2018	2019	2020	CHS promedio (g/g)
L7-7	0,328	0,525	0,509	0,431	0,448 (± 0,09)	0,375	0,474	-	-	0,425 (± 0,07)	0,357	0,502	0,521	-	0,460 (± 0,09)	0,336	0,330	0,529	-	-	0,398 (± 0,11)
1027	0,439	0,792	0,796	0,681	0,677 (± 0,17)	0,418	0,648	-	-	0,533 (± 0,16)	0,410	0,800	0,717	-	0,642 (± 0,21)	0,471	0,397	0,893	-	-	0,587 (± 0,27)
L2-4	0,325	0,532	0,656	0,547	0,515 (± 0,14)	0,327	0,520	0,414	0,391	0,413 (± 0,08)	0,350	0,499	0,471	0,417	0,434 (± 0,07)	0,471	0,319	0,557	0,597	0,474	0,484 (± 0,11)
L2-25	0,320	0,457	0,462	0,416	0,414 (± 0,07)	0,319	0,437	0,494	0,393	0,411 (± 0,07)	0,327	0,486	0,533	0,429	0,444 (± 0,09)	0,288	0,290	0,481	0,452	0,418	0,386 (± 0,09)
L7-14	0,256	0,321	0,318	0,288	0,296 (± 0,03)	0,230	0,251	0,342	0,227	0,263 (± 0,05)	0,272	0,345	0,224	0,224	0,266 (± 0,06)	0,251	0,239	0,346	0,225	0,290	0,27 (± 0,05)
L2-27	0,233	0,496	0,413	0,442	0,396 (± 0,11)	0,341	0,273	0,356	0,421	0,348 (± 0,06)	0,303	0,416	0,395	0,355	0,367 (± 0,05)	0,345	0,187	0,479	0,387	0,399	0,359 (± 0,11)
L1-32	0,018	0,031	0,048	0,041	0,035 (± 0,01)	0,026	0,008	0,052	0,030	0,029 (± 0,02)	0,030	0,023	0,055	0,034	0,035 (± 0,01)	0,022	0,029	0,036	0,045	0,037	0,034 (± 0,01)
L3-5	0,283	0,415	0,402	0,135	0,309 (± 0,13)	0,254	0,195	0,372	0,241	0,266 (± 0,08)	0,324	0,457	0,360	0,233	0,343 (± 0,09)	0,209	0,325	0,348	0,297	0,229	0,282 (± 0,06)
L2-26	0,098	0,121	0,162	0,104	0,121 (± 0,03)	0,111	0,104	0,156	0,083	0,113 (± 0,03)	0,124	0,167	0,136	0,111	0,135 (± 0,02)	0,092	0,111	0,135	0,118	0,108	0,113 (± 0,02)
L9-2	0,053	0,085	0,07	0,068	0,069 (± 0,01)	0,087	0,061	0,100	0,078	0,082 (± 0,02)	0,088	0,078	0,091	0,073	0,083 (± 0,01)	0,069	0,084	0,078	0,086	0,069	0,077 (± 0,01)
L2-28	0,180	0,134	0,165	0,13	0,152 (± 0,02)	0,123	0,111	0,150	0,095	0,12 (± 0,02)	0,112	0,108	0,146	0,105	0,118 (± 0,02)	0,107	0,120	0,151	0,139	0,122	0,128 (± 0,02)
L9-1	0,104	0,096	0,087	0,083	0,093 (± 0,01)	0,096	0,066	0,100	0,116	0,095 (± 0,02)	0,091	0,097	0,105	0,087	0,095 (± 0,01)	0,086	0,094	0,122	0,097	0,100	0,100 (± 0,01)
L3-15	0,034	0,059	0,044	0,073	0,053 (± 0,02)	0,048	0,047	0,097	0,073	0,066 (± 0,02)	0,064	0,061	0,105	0,066	0,074 (± 0,02)	0,044	0,049	0,079	0,078	0,067	0,063 (± 0,02)
L4-17	0,168	0,184	0,156	0,167	0,169 (± 0,01)	0,127	0,123	0,212	0,148	0,152 (± 0,04)	0,169	0,177	0,276	0,157	0,195 (± 0,05)	0,143	0,131	0,156	0,189	0,178	0,159 (± 0,02)
L5-7	0,256	0,302	0,207	0,223	0,247 (± 0,04)	0,205	0,231	0,282	0,286	0,251 (± 0,04)	0,217	0,281	0,347	0,228	0,268 (± 0,06)	0,205	0,211	0,278	0,264	0,313	0,254 (± 0,05)
L5-6	0,140	0,143	0,155	0,138	0,144 (± 0,01)	0,138	0,127	0,156	0,143	0,141 (± 0,01)	0,139	0,159	0,127	0,129	0,138 (± 0,01)	0,137	0,128	0,152	0,157	0,151	0,145 (± 0,01)
L3-3	0,075	0,124	0,105	0,116	0,105 (± 0,02)	0,086	0,099	0,183	0,122	0,122 (± 0,04)	0,099	0,107	0,170	0,090	0,116 (± 0,04)	0,092	0,099	0,109	0,164	0,107	0,114 (± 0,03)
L4-3	0,003	0,012	0,003	0,017	0,009 (± 0,01)	0,015	0,009	0,037	0,012	0,018 (± 0,01)	0,015	0,006	0,031	0,017	0,017 (± 0,01)	0,009	0,014	0,011	0,025	0,023	0,016 (± 0,01)

¹Desviación estándar entre paréntesis ()

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 analizarán los casos cuya amplitud de desviación estándar destacan en la Tabla 6-1 a Tabla 6-6.

- La parcela L7-7: El CHS promedio anual en esta parcela posee tendencia significativa a la baja en el tiempo (pendiente -0,008). La amplitud de la desviación estándar se produce principalmente por los altos valores reportados el año 2009. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 12,8% al 2018¹³. El único valor reportado para el 2020 llegó a 0,523 g/g, correspondiente a la medición de enero. En enero del 2008 el valor registrado por SQM alcanzó los 0,798 g/g. Cabe mencionar que en el año 2018 registró los menores valores a la fecha.
- Parcela 1027: Se identifica que los valores de contenido de humedad han presentado oscilaciones entre sus valores mínimos y máximos a lo largo del período de registro, mostrando una tendencia al alza, sin significancia estadística. Los años donde las variaciones han sido mayores corresponden al 2009, 2015, 2016 y 2018. Para el año 2020 se observa una disminución respecto al año 2019, en la única temporada con medición durante el año 2020 (enero), pero superior a los registros obtenidos el 2010, 2014 y 2015.
- Parcela L2-4: Se identifica que los valores de contenido de humedad han sido oscilantes en el tiempo, mostrando tendencia a la disminución hasta el año 2014, desde ese año se puede observar una estabilización en los resultados, sin embargo, en términos generales la tendencia de los datos es significativa a la baja. En el año 2020 se evidencia una reducción del CHS en las distintas temporadas monitoreadas. Para el año 2018 y 2019, los valores reportados por los laboratorios involucrados en los análisis tienden a aproximarse, a diferencia del año 2017 donde la diferencia fue más evidente. Además, se aprecia en las gráficas que los años con mayor variación se dieron a principios del monitoreo, entre los años 2008 y 2012.
- Parcela L2-25: En esta parcela, el contenido de humedad del suelo registra una tendencia a la disminución en el tiempo. sin embargo, a partir del año 2015 se observa estabilidad en los registros, los que no logran estabilizar los datos de todo el periodo (2007-2020). En particular, las mayores variaciones se dieron entre los años 2008 a 2013, evidenciándose una estabilización en el período posterior.
- Parcela L2-27: Las mayores variaciones en esta parcela fueron registrados en los monitoreos de los años 2009, 2012 y 2013. La tendencia a la fecha es representada por una pendiente negativa y significativa cercana a 0 ($\approx -0,0088$). El CHS promedio reportado para el 2020 es levemente superior al reportado en el 2019 (0,432 g/g), alcanzando los 0,436 g/g.

¹³ No se incluye el valor reportado de enero 2019 y 2020, ya que generaría un error en la estimación. El pozo L7-7 solo fue medido en esta fecha y la comparación histórica presentada responde al promedio anual de la medición.

- Parcela L3-5: La amplitud de la desviación estándar del contenido de humedad es producida por los valores reportados entre los años 2009 y 2011, donde se identifican diferencias de hasta 0,2 g/g. En esta parcela el contenido de humedad se mantuvo estable respecto a sus variaciones hasta el año 2019, pero con una leve tendencia a la baja en el año 2018 y 2019 (0,392 g/g en 2018 y 0,385 g/g en 2019), mostrando valores promedio semejantes a lo reportado en 2008 (0,386 g/g), descenso que se mantuvo en el último año (2020), donde el contenido de humedad mostró una reducción de 0,142 g/g respecto al 2019, alcanzando un valor promedio de 0,243 g/g. La tendencia de los datos del periodo 2007-2020 son significativos a la baja.

Las mediciones efectuadas en 2020 mostraron una reducción en el contenido de humedad gravimétrico del suelo respecto al año 2019, lo que podría estar relacionado al aumento en el CHS que se observó en 2019 en 14 puntos de monitoreo, lo que se atribuyó a la recarga producida por las lluvias estivales, que en 2019 alcanzaron los 212 mm de agua caída en la zona.

La mayor reducción en el CHS en 2020 se identificó en la parcela L2-4 (0,620 g/g en 2019 y 0,465 g/g en 2020), mientras que en la parcela L9-1 fue la que presentó mayor estabilidad, pasando de 0,105 g/g en el 2019 a 0,103 g/g en el 2020. Si bien se aprecia una disminución del CHS al comparar el año inicial con el monitoreo actual, se observa que en la mayoría de los puntos de control el CHS no posee tendencia hacia el alza o baja de sus valores (Tabla 6-5).

Las variaciones del CHS en las parcelas ubicadas al este podrían relacionarse con la capacidad de infiltración y retención de agua que poseen los suelos del borde este del Salar de Atacama que son principalmente de carácter arcilloso y los episodios de recarga de estos, los que contemplan: 1) aporte superficial de agua desde precipitaciones locales en temporadas de lluvias y 2) escurrimientos superficiales provenientes del sector altiplánico; mientras que las variaciones en las parcelas ubicadas al oeste tendrían relación directa con la profundidad de la napa freática, que en este sector se ubica a menor profundidad.

En este sentido, en la Tabla 6-5, se aprecia que la mayoría de los puntos de control con tendencia significativa se ubican hacia el oeste del área de estudio. Sin embargo, el CHS promedio es superior a 0,4 g/g, valor alto considerando que el CHS generalmente 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).

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 2020.

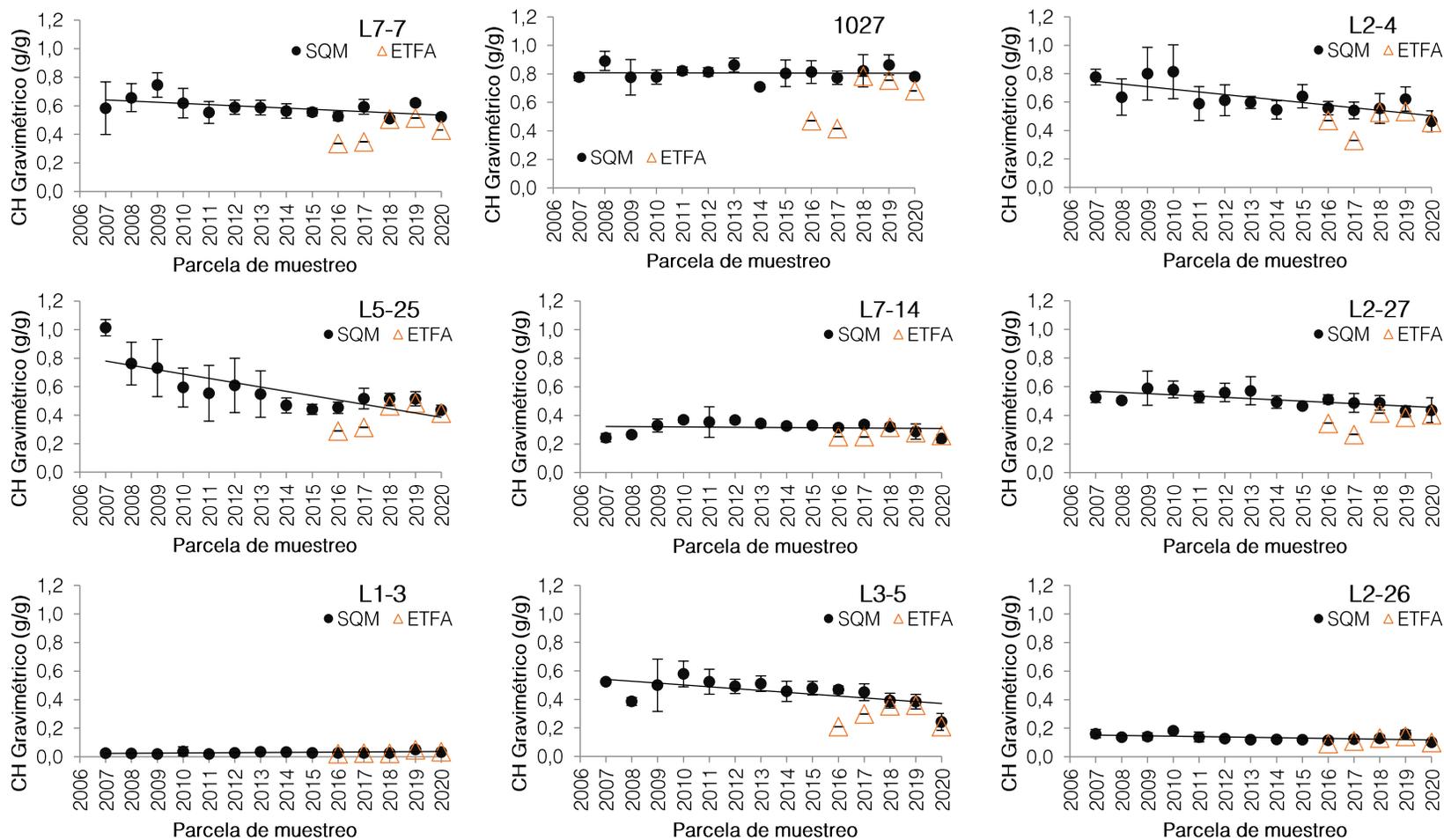
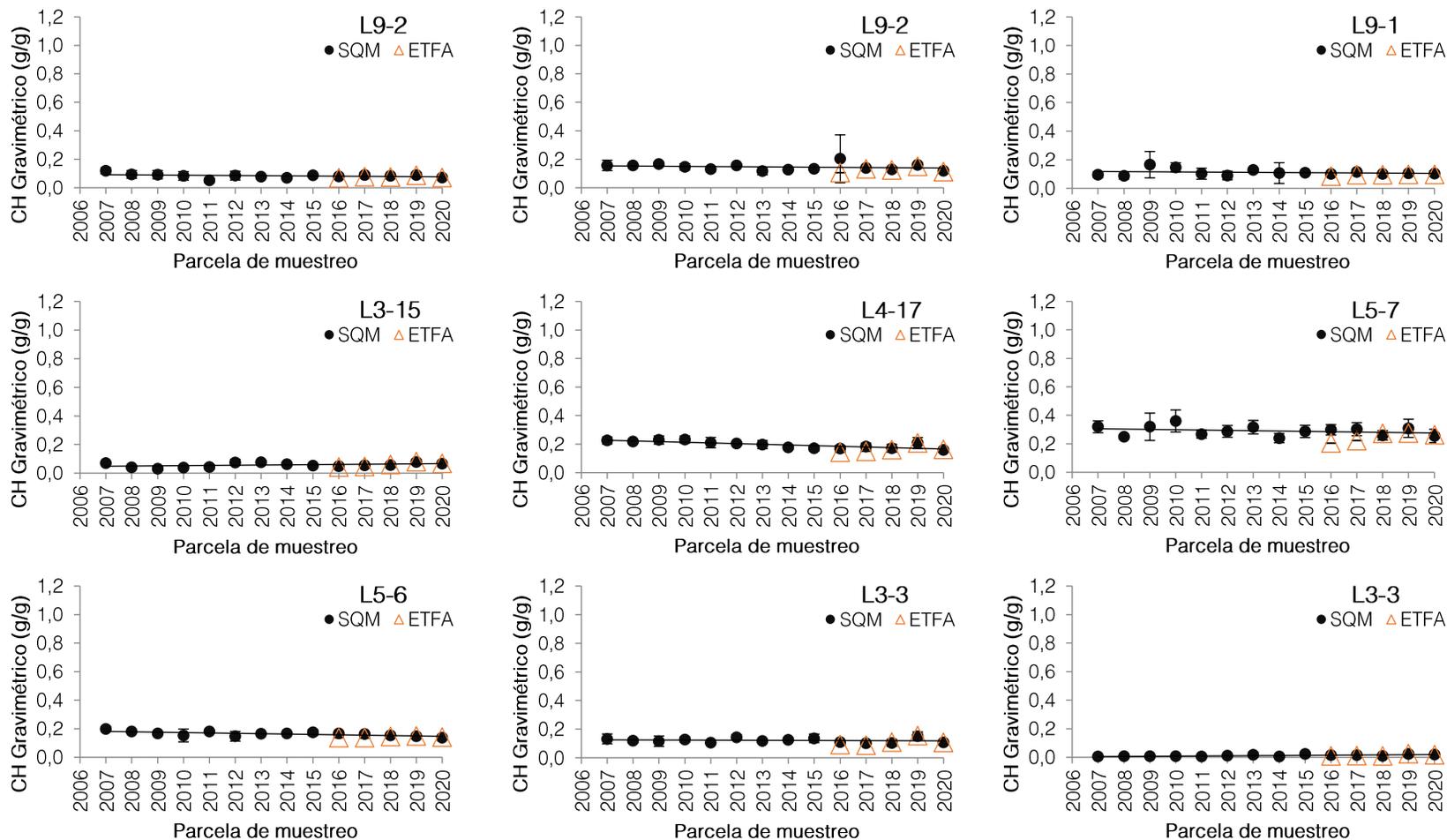


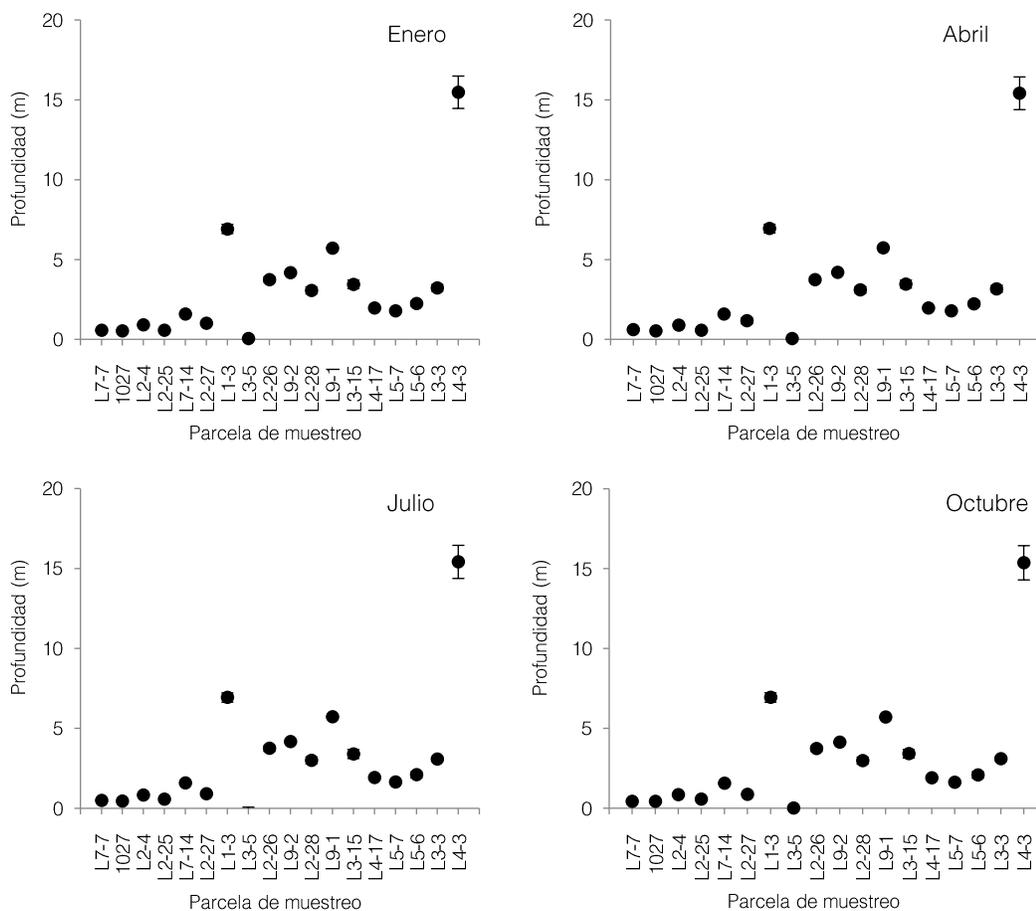
Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2020.



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 6-7 a Tabla 6-10, 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 (2007-2020), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados.



(*) Última campaña en la cual se monitoreó el Pozo L7-7 corresponde a enero del año 2019. La media calculada para los demás periodos no contempla los años 2019 y 2020.

Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en estas figuras se actualiza el dato para ese periodo.

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 .

Respecto a la Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2020), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados, se puede mencionar:

- La variabilidad histórica de los pozos ha sido baja, identificándose a los pozos L2-28, L3-15 y L4-3, como aquellos con mayor desviación estándar en todos los meses de monitoreo.
- En tres pozos la profundidad de la napa disminuyó, dos de estos pozos tuvieron aumentos bajos (0,01 y 0,14 m), mientras que en uno (pozo L4-3), se registró una disminución del orden de los 2,46 m respecto al año 2007.
- El pozo L4-3 en 2007 registró la napa a una profundidad promedio de 16,04 m y al 2020 la napa se ubica en promedio a 13,59 m (es decir, el nivel freático aumentó).
- 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 prácticamente surgente.
- De los 14 pozos donde se registró aumento en la profundidad de la napa respecto al año base (2007), el pozo L3-15 tuvo el mayor valor con un aumento de la profundidad promedio de 0,76 m en la campaña del 2020, no obstante, los valores registrados son menores a los observados en años previos. Por otro lado, el pozo L2-25 refleja el mínimo aumento promedio de la profundidad de la napa con 0,07 m. El contenido de humedad del suelo en las parcelas asociadas a los pozos L3-15 y L2-25 se comportó variable en el tiempo con inclinaciones al alza y a la baja (CHS en el punto L3-15 con 0,07 g/g y punto L2-25 con 0,414 g/g promedio anual año 2020), indicando que ambas variable poseen algún grado de dependencia entre sí, tal como se desarrolla en la sección 5.3 (Relación Contenido de humedad y napa freática).
- 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 2020, la profundidad de la napa aumentó en promedio 0,37 m en 14 de los 18 pozos objeto de estudio .

El análisis integral de la evolución de los niveles de la napa se desarrolla en el marco del plan de seguimiento hidrogeológico, donde se observa que los pozos han mantenido el comportamiento esperado según su patrón, influencia de agua superficial y todos los comportamientos transicionales asociados¹⁴.

¹⁴ Informe N°27 de PSAH Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama. RCA N°226/2006. Sección conclusiones.

Tabla 6-7. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de enero durante el periodo 2008 a 2020.

Parcela de monitoreo	Año														Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ⁴	2019	2020	
L7-7	-	0,521	0,507	0,536	0,491	0,550	0,590	0,577	0,548	0,618	0,572	0,620	0,642	S/I ³	0,564 (± 0,05)
1027	-	0,479	0,475	0,499	0,461	0,490	0,523	0,519	0,532	0,542	0,503	0,588	0,606	0,631	0,553 (± 0,13)
L2-4	-	0,855	0,855	0,884	0,868	0,887	0,888	0,883	0,916	0,911	0,920	0,940	0,970	0,976	0,944 (± 0,17)
L2-25	-	0,575	0,553	0,564	0,549	0,551	0,549	0,551	0,551	0,542	0,543	0,650	0,654	0,639	0,639 (± 0,26)
L7-14	-	1,556	1,558	1,576	1,567	1,589	1,619	1,620	1,655	1,650	1,672	1,543	1,570	1,534	1,681 (± 0,3)
L2-27	-	0,972	0,957	0,978	0,948	0,966	0,962	1,003	1,045	0,972	1,033	1,042	1,090	S/I ³	0,997 (± 0,04)
L1-3 ²	-	6,525	6,537	6,553	6,600	6,647	7,000	7,032	7,112	7,171	7,229	7,108	7,172	7,188	6,963 (± 0,38)
L3-5	-	0,061	0,074	0,096	0,069	0,083	0,131	0,025	0,063	0,071	0,053	0,034	0,053	-0,066	0,117 (± 0,18)
L2-26	-	3,515	3,505	3,548	3,580	3,633	3,686	3,745	3,839	3,857	3,925	3,910	3,944	3,941	3,827 (± 0,4)
L9-2	-	4,103	4,113	4,151	4,122	4,169	4,166	4,172	4,238	4,133	4,207	4,174	4,239	4,162	4,251 (± 0,31)
L2-28	-	2,771	2,787	2,842	2,863	2,942	2,981	3,047	3,142	3,178	3,274	3,356	3,378	3,268	3,144 (± 0,41)
L9-1	-	5,639	5,661	5,687	5,657	5,715	5,723	5,717	5,775	5,683	5,751	5,751	5,813	5,740	5,802 (± 0,32)
L3-15	-	3,017	3,061	3,152	3,241	3,329	3,417	3,493	3,577	3,607	3,662	3,795	3,779	3,684	3,516 (± 0,41)
L4-17	-	1,804	1,835	1,894	1,888	1,943	1,954	1,992	2,022	2,006	2,026	2,035	2,027	1,978	2,013 (± 0,23)
L5-7	-	1,646	1,684	1,719	1,707	1,754	1,749	1,785	1,796	1,744	1,803	1,916	1,933	1,931	1,847 (± 0,29)
L5-6	-	1,956	2,036	2,111	2,134	2,179	2,204	2,241	2,281	2,274	2,314	2,438	2,456	2,459	2,316 (± 0,38)
L3-3	-	2,944	2,967	3,006	3,030	3,074	3,152	3,177	3,283	3,355	3,416	3,507	3,522	3,445	3,256 (± 0,28)
L4-3	-	16,022	16,034	16,138	16,254	16,258	16,387	16,390	15,863	15,417	14,687	14,250	13,853	13,611	15,485 (± 0,99)

¹ desviación estándar entre paréntesis.

² 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.

³ sin mediciones dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de la pandemia y falta de permiso de ingreso según Protocolo CONAF-Comunidades.

⁴ Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo.

Tabla 6-8. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de abril durante el periodo 2008 a 2020.

Parcela de monitoreo	Año														Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ⁴	2019	2020	
L7-7	-	0,663	0,628	0,662	0,601	0,516	0,570	0,688	0,447	0,713	0,399	0,716	S/l ³	s/l ³	0,564 (± 0,05)
1027	-	0,527	0,510	0,514	0,504	0,494	0,518	0,604	0,465	0,615	0,504	0,664	0,511	s/l ³	0,527 (± 0,05)
L2-4	-	0,864	0,861	0,879	0,882	0,828	0,874	0,896	0,859	0,958	0,869	0,965	0,829	0,984	0,904 (± 0,04)
L2-25	-	0,584	0,621	0,577	0,551	0,522	0,539	0,553	0,530	0,535	0,525	0,661	0,602	0,652	0,575 (± 0,04)
L7-14	-	1,601	1,598	1,611	1,603	1,605	1,593	1,644	1,553	1,688	1,614	1,575	1,412	1,594	1,593 (± 0,05)
L2-27	-	1,189	1,181	1,225	1,148	0,959	1,037	1,184	0,924	1,273	1,067	1,336	0,944	1,563	0,997 (± 0,04)
L1-3 ²	-	6,550	6,554	6,579	6,608	6,945	6,981	7,069	7,128	7,190	7,232	7,131	7,005	7,223	6,913 (± 0,29)
L3-5	-	0,087	0,083	0,111	0,088	0,053	0,114	0,092	0,041	0,107	0,055	0,106	-0,125	-0,094	0,057 (± 0,05)
L2-26	-	3,562	3,554	3,570	3,599	3,594	3,695	3,779	3,812	3,910	3,906	3,919	3,773	3,983	3,741 (± 0,17)
L9-2	-	4,180	4,190	4,195	4,200	4,097	4,190	4,228	4,175	4,205	4,191	4,250	4,161	4,219	4,165 (± 0,04)
L2-28	-	2,865	2,890	2,914	2,937	2,910	3,006	3,102	3,119	3,281	3,301	3,435	3,040	3,410	3,064 (± 0,22)
L9-1	-	5,695	5,704	5,729	5,718	5,683	5,725	5,765	5,729	5,737	5,734	5,813	5,765	5,785	5,716 (± 0,05)
L3-15	-	3,045	3,105	3,194	3,264	3,327	3,429	3,529	3,580	3,666	3,672	3,802	3,633	3,720	3,447 (± 0,27)
L4-17	-	1,845	1,866	1,927	1,937	1,941	1,973	2,025	1,934	2,039	2,021	2,053	1,951	1,985	1,954 (± 0,08)
L5-7	-	1,710	1,728	1,680	1,767	1,759	1,800	1,784	1,596	1,816	1,811	1,939	1,857	1,952	1,782 (± 0,09)
L5-6	-	1,994	2,064	2,060	2,151	2,181	2,243	2,254	2,131	2,303	2,307	2,452	2,414	2,461	2,237 (± 0,16)
L3-3	-	2,937	2,971	3,018	3,037	3,001	3,170	3,254	2,879	3,411	3,315	3,529	3,181	3,465	3,221 (± 0,21)
L4-3	-	15,982	16,055	16,154	16,221	16,299	16,347	16,218	15,705	15,229	14,553	14,136	13,793	13,609	15,474 (± 1,01)

¹ desviación estándar entre paréntesis.

² 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.

³ sin mediciones dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de la pandemia y falta de permiso de ingreso según Protocolo CONAF-Comunidades.

⁴ valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo.

Tabla 6-9. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2020.

Parcela de monitoreo	Año														Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ⁴	2019	2020	
L7-7	0,545	0,480	0,475	0,487	0,475	0,451	0,439	0,516	0,434	0,550	0,468	0,539	S/I ³	S/I ³	0,6 (± 0,11)
1027	0,442	0,420	0,416	0,420	0,424	0,416	0,421	0,464	0,426	0,491	0,453	0,514	0,449	S/I ³	0,536 (± 0,06)
L2-4	0,798	0,784	0,798	0,819	0,819	0,809	0,809	0,829	0,834	0,852	0,840	0,888	0,871	0,902	0,888 (± 0,05)
L2-25	0,563	0,548	0,544	0,544	0,545	0,529	0,532	0,538	0,524	0,537	0,527	0,640	0,619	0,627	0,573 (± 0,05)
L7-14	1,565	1,560	1,557	1,573	1,583	1,587	1,588	1,617	1,604	1,654	1,645	1,534	1,464	1,549	1,592 (± 0,06)
L2-27	0,864	0,855	0,854	0,866	0,869	0,858	0,842	0,875	0,861	0,905	0,878	1,002	0,922	1,110	1,156 (± 0,18)
L1-3 ²	6,527	6,547	6,550	6,590	6,647	6,976	6,988	7,090	7,137	7,209	7,251	7,148	7,094	7,235	6,938 (± 0,27)
L3-5	0,012	0,056	0,057	0,058	0,058	0,097	0,010	0,003	0,016	0,001	0,060	-0,018	-0,135	-0,168	0,055 (± 0,08)
L2-26	3,517	3,524	3,509	3,562	3,635	3,656	3,694	3,799	3,835	3,909	3,962	3,920	3,866	3,982	3,743 (± 0,16)
L9-2	4,120	4,140	4,151	4,173	4,177	4,112	4,149	4,206	4,108	4,207	4,163	4,237	4,142	4,206	4,191 (± 0,04)
L2-28	2,733	2,737	2,757	2,812	2,871	2,897	2,955	3,031	3,092	3,181	3,215	3,324	3,116	3,324	3,093 (± 0,2)
L9-1	5,645	5,678	5,689	5,708	5,709	5,685	5,702	5,749	5,666	5,751	5,716	5,814	5,736	5,787	5,737 (± 0,04)
L3-15	2,863	3,013	3,070	3,182	3,272	3,337	3,401	3,497	3,571	3,635	3,659	3,754	3,634	3,671	3,459 (± 0,25)
L4-17	1,769	1,820	1,835	1,897	1,918	1,917	1,928	1,975	1,951	1,997	1,995	2,005	1,948	1,918	1,961 (± 0,06)
L5-7	1,520	1,542	1,565	1,583	1,602	1,625	1,626	1,631	1,623	1,675	1,673	1,787	1,773	1,786	1,785 (± 0,1)
L5-6	1,735	1,852	1,900	1,976	2,007	2,054	2,082	2,131	2,137	2,198	2,211	2,346	2,349	2,358	2,232 (± 0,15)
L3-3	2,893	2,913	2,921	2,953	2,996	3,001	3,068	3,057	3,128	3,194	3,201	3,301	3,231	3,271	3,167 (± 0,21)
L4-3	16,089	15,987	16,047	16,158	16,264	16,306	16,413	16,073	15,627	15,034	14,418	14,044	13,725	13,579	15,408 (± 1,03)

¹ desviación estándar entre paréntesis.

² 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.

³ sin mediciones dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de la pandemia y falta de permiso de ingreso según Protocolo CONAF-Comunidades.⁴ valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese período.

Tabla 6-10. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2020.

Parcela de monitoreo	Año														Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ⁴	2019	2020	
L7-7	0,405	0,408	0,408	0,404	0,419	0,414	0,441	0,420	0,438	0,451	0,475	0,461	S/I ³	S/I ³	0,429 (± 0,02)
1027	0,394	0,371	0,395	0,385	0,394	0,407	0,428	0,425	0,425	0,446	0,443	0,487	0,478	S/I ³	0,421 (± 0,04)
L2-4	0,785	0,781	0,795	0,802	0,813	0,820	0,825	0,836	0,832	0,853	0,852	0,896	0,894	0,904	0,835 (± 0,04)
L2-25	0,561	0,544	0,538	0,532	0,532	0,523	0,526	0,522	0,529	0,529	0,527	0,641	0,621	0,610	0,553 (± 0,04)
L7-14	1,540	1,527	1,526	1,534	1,545	1,564	1,580	1,584	1,596	1,621	1,632	1,498	1,472	1,507	1,552 (± 0,05)
L2-27	0,850	0,842	0,832	0,833	0,846	0,839	0,847	0,839	0,843	0,852	0,857	0,920	0,960	0,943	0,865 (± 0,04)
L1-3 ²	6,525	6,543	6,541	6,594	6,634	6,976	7,021	7,085	7,149	7,217	7,264	7,153	7,146	7,236	6,935 (± 0,3)
L3-5	0,000	0,049	0,052	0,036	0,037	0,070	0,008	0,013	0,044	0,042	0,067	-0,035	-0,154	-0,207	0,002 (± 0,08)
L2-26	3,523	3,512	3,521	3,553	3,601	3,650	3,707	3,777	3,837	3,896	3,939	3,912	3,899	3,969	3,735 (± 0,17)
L9-2	4,087	4,111	4,117	4,131	4,127	4,113	4,126	4,165	4,083	4,166	4,133	4,201	4,121	4,159	4,131 (± 0,03)
L2-28	2,655	2,707	2,729	2,784	2,838	2,895	2,944	3,013	3,075	3,153	3,191	3,286	3,149	3,285	2,979 (± 0,22)
L9-1	5,620	5,659	5,673	5,677	5,675	5,688	5,678	5,732	5,643	5,723	5,684	5,785	5,714	5,740	5,692 (± 0,04)
L3-15	2,980	3,019	3,094	3,188	3,269	3,357	3,433	3,505	3,582	3,615	3,669	3,726	3,632	3,654	3,409 (± 0,26)
L4-17	1,758	1,795	1,825	1,868	1,879	1,897	1,929	1,946	1,989	1,968	1,971	1,971	1,917	1,881	1,9 (± 0,07)
L5-7	1,486	1,522	1,539	1,557	1,582	1,593	1,614	1,614	1,615	1,650	1,657	1,777	1,759	1,758	1,623 (± 0,09)
L5-6	1,700	1,832	1,879	1,950	1,989	2,044	2,071	2,125	2,136	2,189	2,201	2,346	2,345	2,349	2,083 (± 0,2)
L3-3	2,895	2,909	2,914	2,949	2,973	3,011	3,076	3,084	3,130	3,192	3,212	3,292	3,241	3,263	3,082 (± 0,14)
L4-3	15,992	16,007	16,113	16,197	16,237	16,342	16,398	16,012	15,522	14,830	14,317	13,938	13,667	13,541	15,365 (± 1,07)

¹ desviación estándar entre paréntesis. ()

² 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.

³ Sin mediciones dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de la pandemia y falta de permiso de ingreso según Protocolo CONAF-Comunidades.

⁴ Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo.

Tabla 6-11. Profundidad de la napa (m) promedio anual por parcela para el monitoreo periodo 2007 a 2020.

Parcela de monitoreo	Año														Profundidad promedio (m) ¹	m	Valor-p	Resultado
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ⁴	2019	2020				
L7-7	0,48	0,52	0,50	0,52	0,50	0,48	0,51	0,55	0,47	0,58	0,48	0,58	0,64	S/I ³	0,52 (± 0,05)	43,62	0,037	Significativo
1027	0,42	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,47	0,50	0,46	0,52	0,48	0,56	0,51	0,63	0,49 (± 0,06)	61,44	0,000	Significativo
L2-4	0,79	0,82	0,83	0,85	0,85	0,84	0,85	0,86	0,86	0,89	0,87	0,92	0,89	0,94	0,86 (± 0,04)	96,54	0,000	Significativo
L2-25	0,56	0,56	0,56	0,55	0,54	0,53	0,54	0,54	0,53	0,54	0,53	0,65	0,62	0,63	0,56 (± 0,04)	51,06	0,075	No Significativo
L7-14	1,553	1,56	1,56	1,57	1,57	1,59	1,60	1,62	1,60	1,65	1,64	1,54	1,48	1,546	1,58 (± 0,04)	-4,84	0,862	No Significativo
L2-27	0,86	0,96	0,96	0,98	0,95	0,91	0,92	0,98	0,92	1,00	0,96	1,08	0,98	1,21	0,97 (± 0,08)	33,28	0,010	Significativo
L1-3 ²	6,53	6,54	6,55	6,58	6,62	6,89	7,00	7,07	7,13	7,20	7,24	7,14	7,10	7,22	6,91 (± 0,29)	13,49	0,000	Significativo
L3-5	0,01	0,06	0,07	0,08	0,06	0,08	0,06	0,03	0,03	0,06	0,03	0,02	-0,09	-0,13	0,03 (± 0,06)	-43,53	0,012	Significativo
L2-26	3,52	3,53	3,52	3,56	3,60	3,63	3,70	3,78	3,83	3,89	3,93	3,92	3,87	3,97	3,73 (± 0,17)	23,84	0,000	Significativo
L9-2	4,10	4,13	4,14	4,16	4,16	4,12	4,16	4,19	4,15	4,18	4,17	4,22	4,17	4,19	4,16 (± 0,03)	108,02	0,002	Significativo
L2-28	2,69	2,77	2,79	2,84	2,88	2,91	2,97	3,05	3,11	3,20	3,25	3,35	3,17	3,32	3,02 (± 0,22)	18,85	0,000	Significativo
L9-1	5,63	5,67	5,68	5,70	5,69	5,69	5,71	5,74	5,70	5,72	5,72	5,79	5,76	5,76	5,71 (± 0,04)	91,121	0,000	Significativo
L3-15	2,92	3,02	3,08	3,18	3,26	3,34	3,42	3,51	3,58	3,63	3,67	3,77	3,67	3,68	3,41 (± 0,28)	14,649	0,000	Significativo
L4-17	1,76	1,82	1,84	1,90	1,91	1,92	1,95	1,98	1,97	2,00	2,00	2,02	1,96	1,94	1,93 (± 0,08)	46,202	0,000	Significativo
L5-7	1,50	1,61	1,63	1,63	1,66	1,68	1,70	1,70	1,66	1,72	1,74	1,85	1,83	1,86	1,7 (± 0,1)	39,265	0,000	Significativo
L5-6	1,72	1,91	1,97	2,02	2,07	2,11	2,15	2,19	2,17	2,24	2,26	2,40	2,39	2,41	2,14 (± 0,2)	20,519	0,000	Significativo
L3-3	2,89	2,93	2,94	2,98	3,01	3,02	3,12	3,14	3,11	3,29	3,29	3,41	3,29	3,36	3,13 (± 0,17)	23,329	0,000	Significativo
L4-3	16,04	16,00	16,06	16,16	16,24	16,30	16,39	16,17	15,68	15,13	14,49	14,09	13,76	13,59	15,44 (± 1,02)	-3,459	0,000	Significativo

¹ desviación estándar entre paréntesis. ()

² 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.

³ Sin mediciones dado el cierre de la RN Los Flamencos producto de la pandemia y falta de permiso de ingreso según Protocolo CONAF-Comunidades.

⁴ Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo.

m: Pendiente de la recta que describe los datos.

La variación histórica de la profundidad de la napa por pozo de monitoreo se ilustra en la Figura 6-4, donde se aprecia que la mayoría de los pozos estudiados presentan en 2020 la napa ubicada a mayor profundidad respecto del monitoreo inicial, con excepción de los pozos L3-5, L4-17 y L4-3 que registran un aumento en el nivel freático y por lo tanto una disminución en la profundidad de la napa.

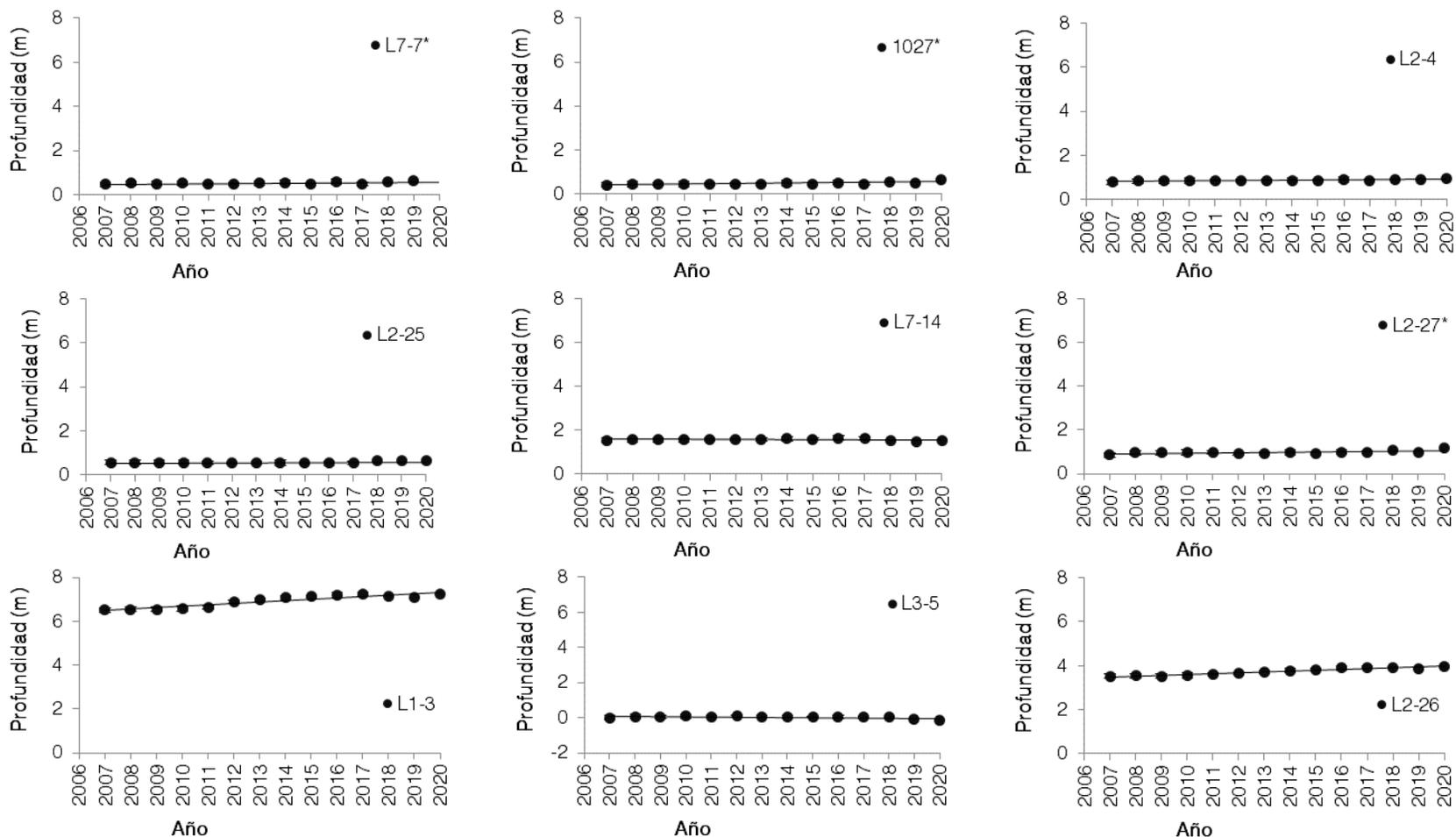
La profundidad de la ubicación de la napa para el periodo 2020, fue mayor que la registrada el año anterior en aproximadamente 7 cm promedio, en 14 pozos de observación, indicando una disminución del nivel del agua, hecho esperable tras el aumento del nivel del agua que tuvo lugar el año 2019 respecto al 2018, dado el importante aporte hídrico registrado en la zona durante la época estival 2019.

De los 18 pozos objeto de estudio, 14 han registrado un aumento en la profundidad de la napa en el año 2020 respecto al año base (2007). 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 Mully 1 y a 6,54 km al noreste de Allana, cercano a la ruta B-355, frente a las Vegas de Carvajal. En el monitoreo del 2007 la profundidad de la napa registrada en este pozo fue de 6,53 m y para el actual monitoreo llegó a 7,22 m; aumentando en 0,69 m en 14 años de monitoreo y 0,12 m respecto al año anterior. La profundidad máxima histórica en este pozo fue en 2017 donde alcanzo los 7,24 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. Cercano a la ruta B-355, frente al sector Aguas de Quelana de la RN Los Flamencos. En 2007 este pozo registro una profundidad de la napa promedio de 2,69 m, mientras que en el año 2018 se registró el máximo con 3,35 m. En la campaña actual la profundidad promedio entre los cuatro trimestres evaluados fue de 3,32 m; aumentando en 14 años de monitoreo 0,63 m.
- **Pozo L3-15:** Se ubica 2,3 km al este del pozos 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. De esta forma, desde el 2007 a la fecha, la profundidad de la napa aumento en 0,76 m. Tras el cese del bombeo del pozo Camar 2 en 2018 se observa una inmediata recuperación de 0,1 m en 2019. Respecto al año anterior, la profundidad del nivel disminuyó en 0,01 m, manteniéndose prácticamente constante en los últimos dos años de monitoreo.
- **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 el. Actualmente, los registros indican que napa en este punto se ubica a 2,41 m de profundidad, correspondiente a 0,69 m bajo lo reportado en 2007, donde la napa se ubicó a 1,72 m. en 2020 la profundidad es 0,02 m mayor que el año anterior.
- Si bien la tendencia hacia la disminución de la profundidad de la napa en el tiempo en la mayoría de los casos es significativa (14 de 18 pozos evaluados), en los 10 pozos no descritos anteriormente, la tasa de aumento no supera los 0,05 m por año.

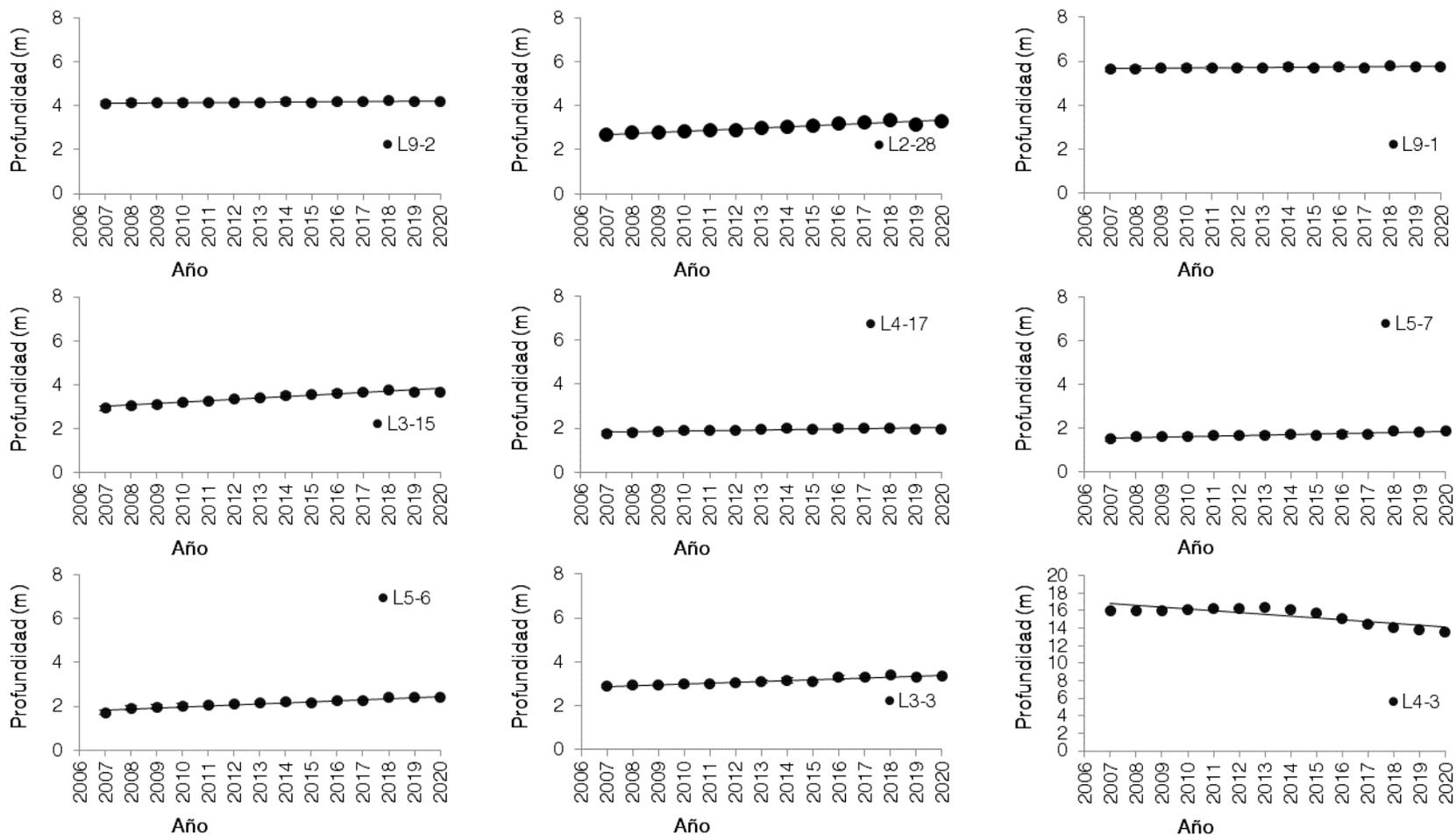
En resumen, la pendiente de la recta que describe las profundidades promedio anuales de los cuatro pozos descritos anteriormente es positiva y significativa, al igual que la mayoría de los pozos evaluados. Solo los pozos L2-25 y L7-4 no poseen tendencia en el tiempo. Mientras que en los pozos L4-3 y L3-5 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 2020.



*Pozo 1027 medido únicamente en la campaña de enero, pozo L2-27 sin medición en campaña de enero y pozo L7-7 sin medición en los cuatro trimestres (dada restricción por el protocolo CONAF-Comunidades y restricciones sanitarias producto de la pandemia).

Figura 6-4. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2020.



*Pozo 1027 medido únicamente en la campaña de enero, pozo L2-27 sin medición en campaña de enero y pozo L7-7 sin medición en los cuatro trimestres (dada restricción por el protocolo CONAF-Comunidades y restricciones sanitarias producto de la pandemia).

6.2. Variación interanual de la vitalidad de la vegetación

La variación de la vitalidad de la vegetación presente en las parcelas prospectadas se muestra en la Figura 6-5, donde se caracteriza esta variable respecto a las categorías establecidas: seco, muy débil, débil, crecimiento normal y excepcionalmente vigoroso, para todos aquellos individuos presentes en el área de estudio.

Es relevante señalar que durante los dos últimos años de monitoreo (2019 y 2020) se produjeron dos situaciones que impactan en el análisis de este capítulo:

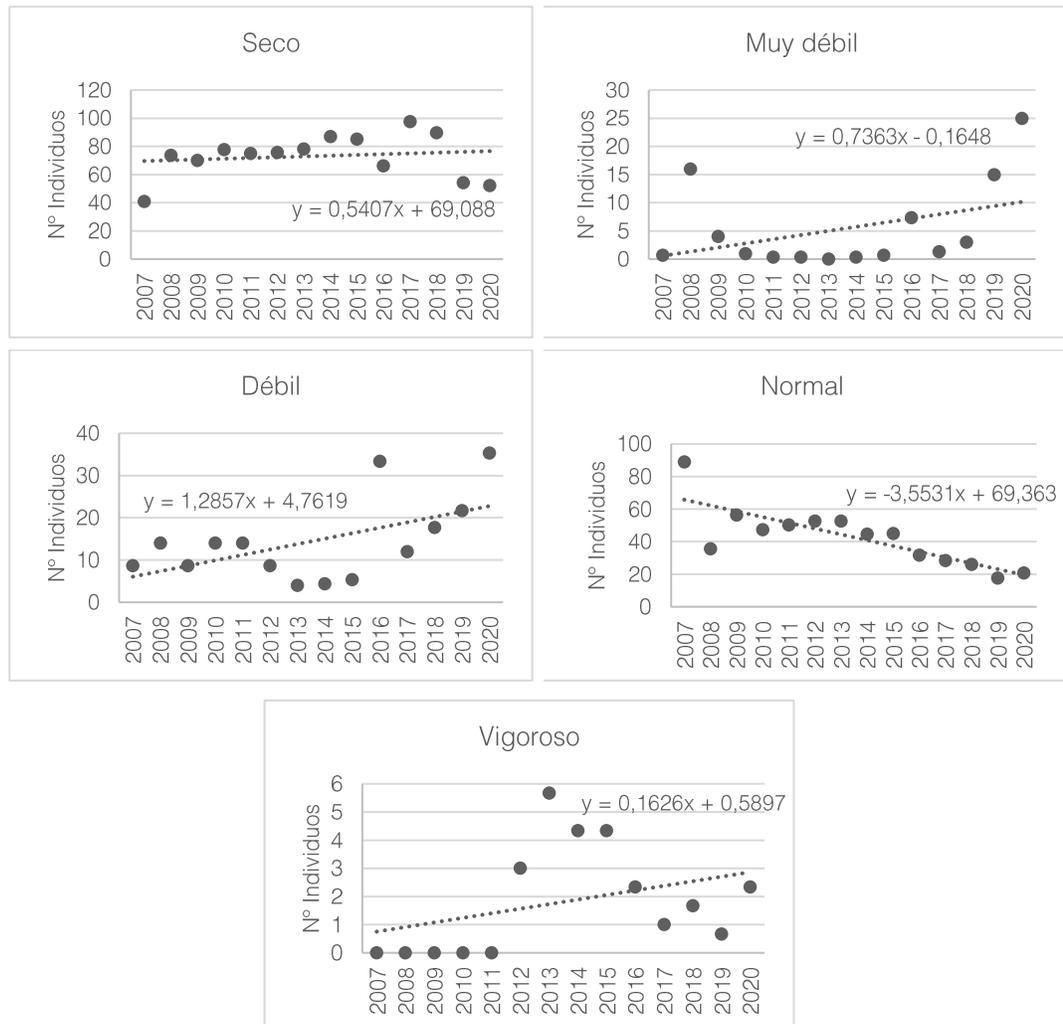
- La primera asociada a las fuertes lluvias registradas en la zona durante la época estival del año 2019, las que produjeron un aluvión que descendió desde la quebrada de Camar y afectó las parcelas asociadas a los pozos de monitoreo L3-15, L3-3 y L3-5, perdiendo parte de los ejemplares existentes a 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, lo que obligó al cierre de las áreas silvestres protegidas del estado, incluyendo la Reserva Nacional Los Flamencos. Esto detuvo los procesos del protocolo de ingreso a áreas de la Reserva Nacional Los Flamencos¹⁵, impidió 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.

A la fecha, las categorías muy débil y excepcionalmente vigoroso presentan variaciones menores, las rectas de los gráficos representativos del periodo 2007 – 2020 poseen pendientes cercanas a 0, por lo que no se observa una tendencia al alza o baja de individuos dentro de estas características. Por otra parte, la categoría seco muestra una pendiente positiva (incremento de observaciones), con oscilaciones temporales como la observada entre el 2016, 2019 y 2020, donde se observa una disminución de individuos en esta categoría. Por su parte, la categoría de Vitalidad Normal está representada por una recta de pendiente negativa (reducción de observaciones). La cantidad de ejemplares vigorosos también poseen una tendencia hacia el alza.

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.

¹⁵ Resolución 56/2019 Aprueba el Protocolo de Ingreso en Sectores N°4, 5 y 7 de la RN Los Flamencos.

Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vitalidad, desde el año 2007 a 2020.



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

6.2.1. Atriplex atacamensis

La Figura 6-6 (A) presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares de *Atriplex atacamensis* monitoreados. De la figura se extrae:

- El primer trimestre se caracteriza por el predominio de plantas con flores y en menor medida plantas con crecimiento vegetativo de ramas. Hacia el segundo trimestre, los individuos de esta especie muestran signos del comienzo de la producción de frutos (en esta época aún quedan ejemplares con flores, pero en menor medida que el trimestre anterior). Hacia el tercer trimestre las flores y frutos dejan de predominar, dando lugar a plantas con crecimiento vegetativo de ramas y hojas. Hacia el cuarto trimestre, los

ejemplares con crecimiento vegetativo predominan y aquellos con flores y frutos son aún menos que la temporada anterior.

- Durante el cuarto trimestre (octubre) las plantas se encuentran mayoritariamente en el periodo recesivo de crecimiento, a excepción de años aislados donde se presentan algunos individuos con flores y frutos.
- 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 periodo de fructificación solo alcanza 4 individuos en octubre. Estas variaciones pueden reflejar decaimiento¹⁶ o fortalecimiento¹⁷ de la vegetación. Es probable que episodios de condiciones climáticas adversas expliquen dicho comportamiento para el presente monitoreo.

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

- Los ejemplares secos no muestran una tendencia temporal ni estacional y sus máximos fueron registrados entre el 2013 y 2017.
- La categoría muy débil tiende a mantenerse alrededor de un individuo, sin embargo, en el monitoreo de julio del 2009 registró el máximo de ejemplares observados a la fecha, con 9 individuos muy débiles.
- Los individuos débiles son registrados en mayor proporción en los trimestres 2 y 3 (de los meses de abril y julio). Coincidiendo con periodo recesivo de las plantas.
- En todos los periodos de monitoreo predominan los individuos con crecimiento normal. 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, se registró 1 individuo esta categoría en cada uno de los primeros tres trimestres (enero, abril y julio), mientras que en el cuarto trimestre se identificaron 2 ejemplares.

La Figura 6-6 (C) representa el comportamiento de la Copa viva de *Atriplex atacamensis* en la serie de tiempo 2007-2020. De la figura se destaca lo siguiente:

- No se registran individuos con copa 0% en los periodos 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.

¹⁶ Floración y fructificación como estrategia reproductiva con el fin de la supervivencia de la especie

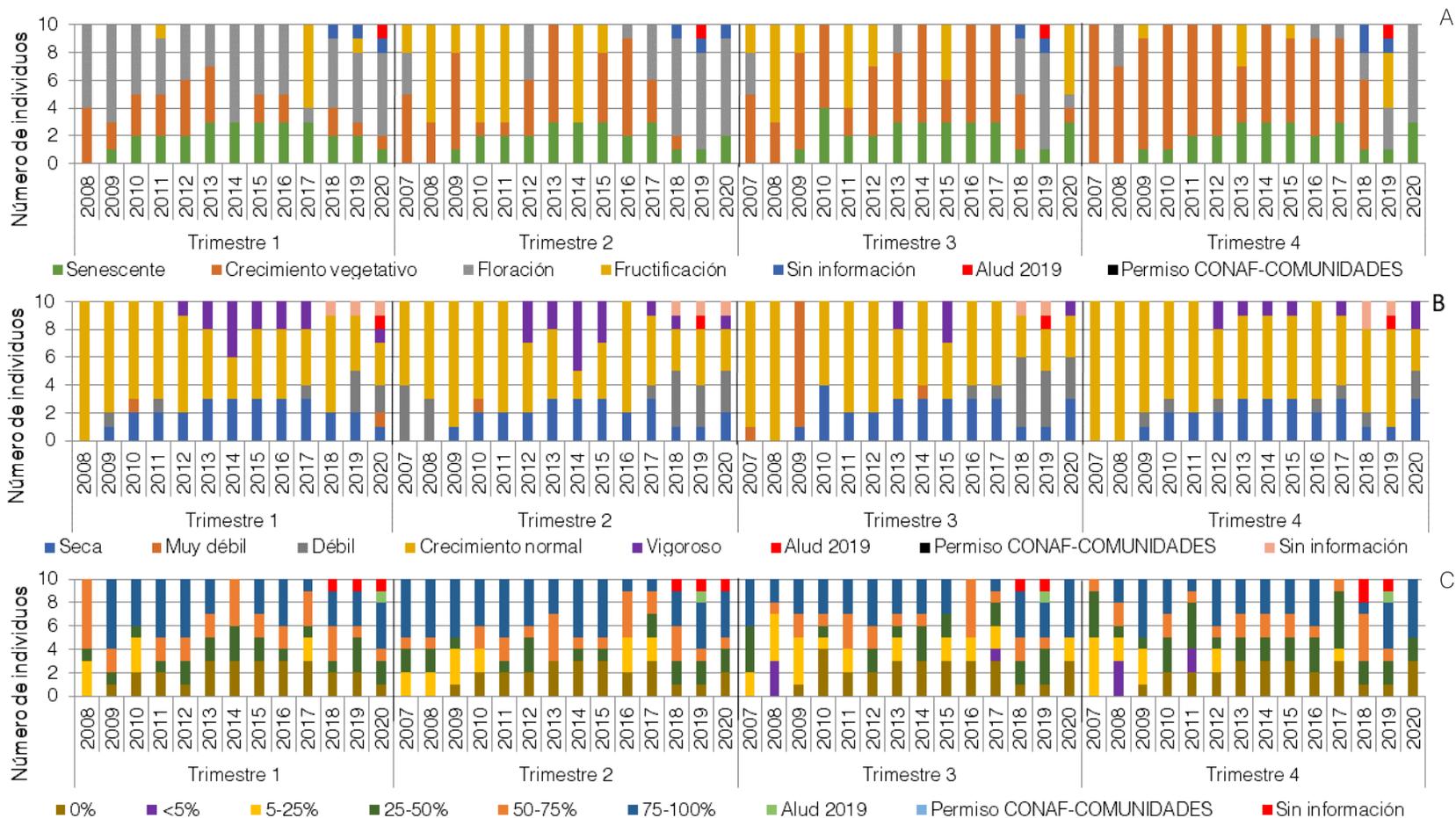
¹⁷ Dada una mayor disponibilidad de recursos en el entorno, lo que permite a la planta mejorar sus estrategias reproductivas.

- 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.
- 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. Por otra parte, los datos de enero y abril presentan variaciones menores en número, llegando a 0 ejemplares bajo esta categoría en varios años, incluso el actual. 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 relaciona a cambios fenológicos.
- Respecto de la categoría 75-100%, el mayor número de ejemplares en esta categoría se reporta en el monitoreo de abril y octubre, los que tienden a reducirse en el primer y tercer trimestre. En el presente año, la expresión de copa viva aumentó con respecto al año 2019, exceptuando el segundo trimestre (abril), con 4 individuos para esta categoría.

Un ejemplar de esta especie se vio afectado por el aluvión que descendió de la quebrada de Camar durante la época estival del 2019, no llegando al descepado, por lo que en 2020 este fue re-etiquetado. Además, un ejemplar diferente se presenta en la categoría no aplica en los cuatro periodos prospectados.

Cabe destacar que los individuos de *A. atacamensis* con categoría de vitalidad débil, muy débil o secos, se ubican en parcelas de monitoreo donde también subsisten individuos de otras especies catalogadas con crecimiento normal o excepcionalmente vigoroso. A la vez, los niveles de CHS y profundidad de la napa varían levemente en el tiempo. Además, en comparación con el año anterior, el número de individuos débiles en los tres primeros trimestres disminuyó, aumentando aquellos excepcionalmente vigorosos. Lo que apoya la hipótesis de que las variaciones en la vitalidad de *A. atacamensis* podría estar asociado a la dinámica natural de la especie y los aportes hídricos de las escorrentías superficiales y lluvias que dominan el área donde se emplazan (sector este del área de estudio).

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 2020.



6.2.2. *Distichlis spicata*

El estado vital de *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, 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 en las parcelas prospectadas.

La fenología de *D. 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 enero y abril, los individuos se presentan mayoritariamente con crecimiento vegetativo, y en menor número ejemplares senescentes (en toda la serie temporal). También, en menor cantidad se registran individuos con floración y fructificación.
- El crecimiento vegetativo de las plantas disminuye en julio, dando pie al periodo recesivo donde se aprecia un elevado número de individuos senescentes.
- En octubre los ejemplares recuperan vitalidad, aumentando los registros de individuos con crecimiento vegetativo.
- A nivel general, la especie se comporta según lo esperado en cada trimestre, no observándose tendencias aparentes en el tiempo.
- En el primer trimestre se observa un ejemplar no medido al verse afectado por el aluvión del 2019, así como dos ejemplares sin información, debido a que no se encontraron en terreno o su placa identificatoria se desprendió). Además, en el segundo, tercer y cuarto trimestre se evidencio la falta de prospección de dos individuos que no se pudieron medir al no tener acceso a la parcela de monitoreo (dado el protocolo CONAF-Comunidades y las restricciones sanitarias producto de la pandemia, la cual obligó al cierre de la RN).

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

- La categoría seca se presenta como una variable constante en el monitoreo la cual ha alcanzado su máximo dentro del tercer trimestre de medición (julio) con un máximo de seis individuos.
- Los individuos muy débiles y débiles se presentan de forma aislada y sin una tendencia clara dentro de todas las fechas de monitoreo.
- Aquellos individuos con crecimiento normal representan la máxima expresión dentro del trimestre dos y cuatro, 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, en su reemplazo se observa un aumento de ejemplares secos y débiles.

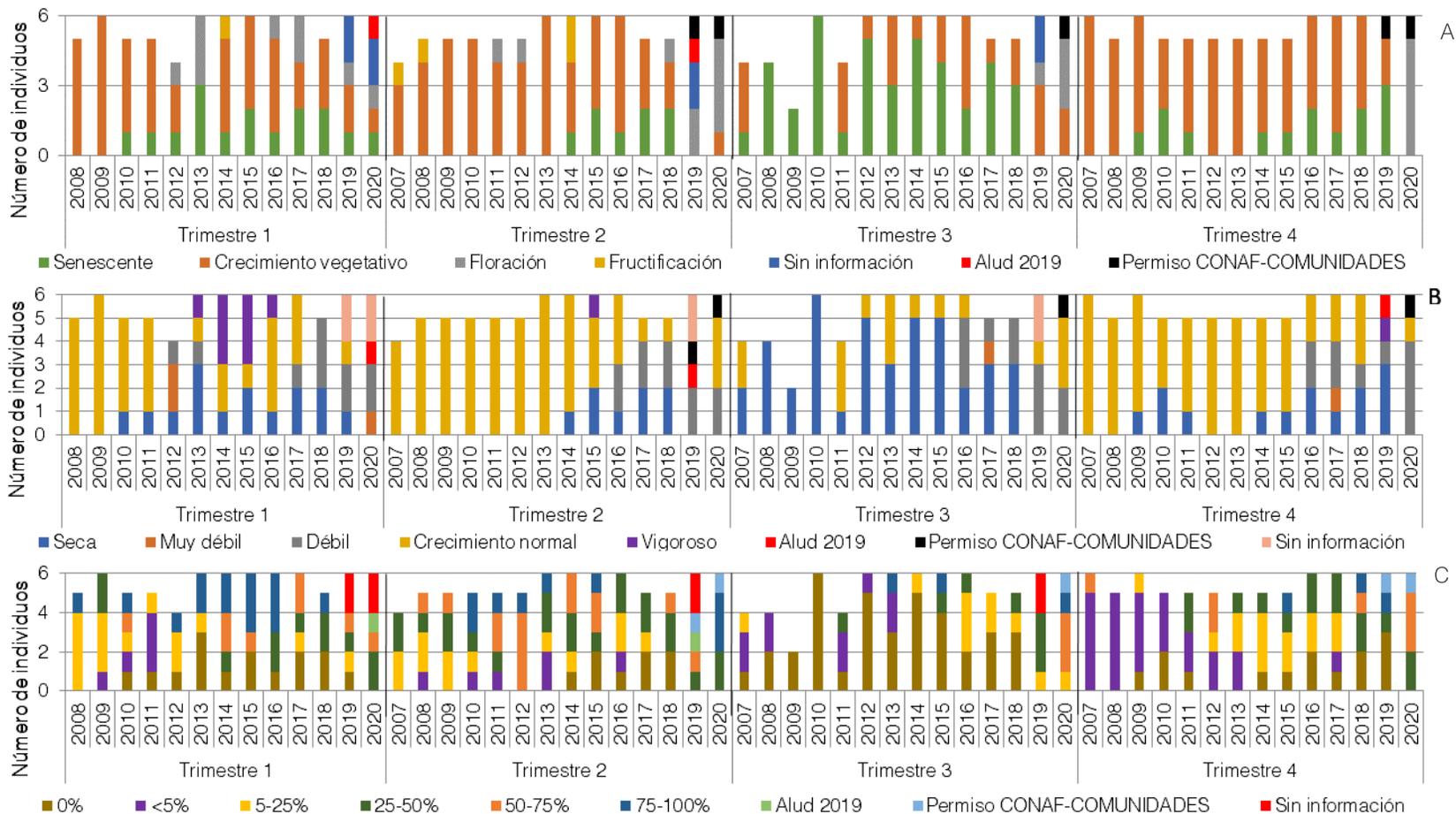
- Los individuos excepcionalmente vigorosos, al igual que los secos, se presentan de forma puntual y aislada en el área de monitoreo sin responder a una tendencia clara en el tiempo.

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:

- Si bien es variable el número de individuos prospectados en el tiempo, en el mes de enero se observa una mayor cantidad de registros entre las categorías de copa viva mayores a 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%).
- Durante 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%.
- 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 dos monitoreos no se registraron ejemplares sin copa en este periodo, en 2020 los registros dan cuenta de tres ejemplares con copa entre 50-75%, un ejemplar entre 5-25% de copa viva y un ejemplar entre 75-100%.
- En octubre se observa una disminución de individuos con copa viva de bajo porcentaje; por una parte, aumentan aquellos con copa viva <5% y disminuyen aquellos con 0% (respecto al trimestre anterior). También se ve un aumento en la cantidad de individuos entre 25-50% de copa viva. Desde 2007 a 2013 los registros son mayoritariamente de individuos con <5% de copa viva; hacia la actualidad los ejemplares tienden a presentar 0% de copa viva o en su defecto porcentajes mayores a 5%. En 2020 no se observan ejemplares con 0% de copa viva, sino que individuos con copa viva superior al 25%.

Distichlis spicata se comporta según lo esperado históricamente en los periodos uno y dos, mientras que, en los periodos de abril y octubre, se observa una leve tendencia al aumento de ejemplares senescentes en perjuicio de aquellos con crecimiento vegetativo. De forma puntual, en 2020, no se registraron individuos secos, predominando en los trimestres 2, 3 y 4, la etapa de floración de las plantas y en menor medida, crecimiento vegetativo.

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 2020.



6.2.3. *Nitrophila atacamensis*

El estado vital de *Nitrophila atacamensis* tiene variaciones respecto al número total de individuos, ya que los ejemplares no se encuentran etiquetados, y estos tienden a eliminar la biomasa aérea rebrotando en otro lugar en la temporada siguiente. Cabe destacar que durante las prospecciones de abril, julio y octubre no se contó con la autorización de ingreso a áreas de la RN, ya que esta se encontró cerrada producto de la pandemia, por lo que las parcelas asociadas a los pozos L7-7 y 1027 (únicas parcelas donde se registra la especie), no fueron monitoreadas.

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 periodos 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 1 y 2 se evidenció presencia de frutos (monitoreos de 2008 y 2009) y flores (2017, 2018 y 2020).

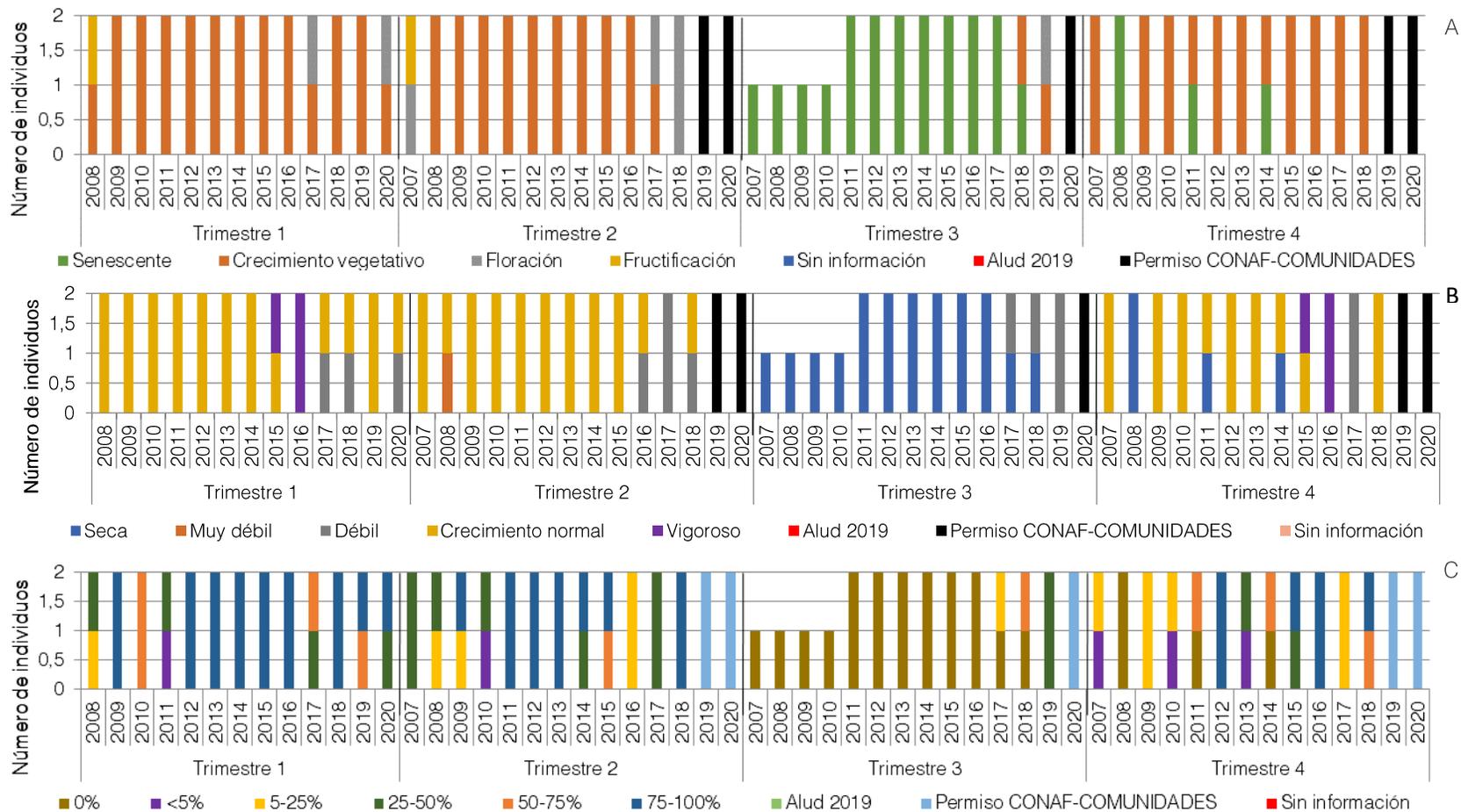
De los resultados de vitalidad de la especie que se muestran en la Figura 6-8 (B), se extrae:

- En los primeros dos trimestres predominan individuos con crecimiento normal, salvo en algunos años de monitoreo donde además de la categoría antes mencionada, predominaron ejemplares vigorosos (como el caso del año 2015 y 2016) o ejemplares débiles (como en los años 2017, 2018 y enero de 2020).
- En el tercer trimestre del año (monitoreo de julio) los ejemplares se aprecian bajo la categoría seco, rebrotando hacia el mes de octubre.
- 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.
- Las campañas realizadas en 2020 estuvieron marcadas por restricciones de acceso, las que limitaron las prospecciones, evitando el monitoreo de esta especie en los trimestres 2, 3 y 4.

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

- Durante todos los años prospectados se observa una marcada tendencia de *N. atacamensis* a descartar toda su biomasa aérea en el periodo invernal, dando pie al rebrote durante octubre. La especie alcanza su máxima expresión de copa viva en torno a los monitoreos de enero y abril, lo cual se evidencia en el primer trimestre del 2020, donde la mitad de los ejemplares prospectados registraron copa viva entre 25-50% y la otra mitad copa entre 75 y 100%.

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 2020.



6.2.4. Tessaria absinthioides

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

- Principalmente se observan individuos con crecimiento vegetativo y senescente. La cantidad de individuos bajo cada categoría varía durante el transcurso del año. Los ejemplares de *T. absinthioides* tienden a presentar fenología senescente mayoritariamente en el mes de julio, coincidiendo con el periodo recesivo de crecimiento de las plantas del sector, situación que sigue presentándose en el presente monitoreo.
- El periodo reproductivo de la vegetación se identifica entre los monitoreos de enero y abril (asociado a las fenofases de floración y fructificación).
- Por cuarto año consecutivo se reporta la producción de flores en abril, mes que ha sido variable a lo largo del tiempo, sin embargo, su aparición responde a fechas y situaciones puntuales sin poder establecer un seguimiento o continuidad.

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

- La vitalidad de los individuos es predominantemente seco o normal durante gran parte del año, en todos los años de monitoreo, a excepción del tercer trimestre (época invernal) donde esta última categoría se encuentra prácticamente ausente.
- Se observa en el primer y segundo trimestres una disminución en el tiempo de la cantidad de individuos bajo crecimiento normal y un aumento de ejemplares secos. En abril se aprecia también el comienzo del periodo recesivo, registrándose una mayor cantidad de ejemplares débiles.
- *T. absinthioides* presenta un notorio periodo recesivo respecto a la vitalidad durante el monitoreo histórico del tercer trimestre, donde predominan los individuos secos, sin embargo, en los últimos dos años presenta variaciones atípicas al comportamiento histórico reduciéndose el periodo recesivo y dando paso a ejemplares en categoría muy débil y débil.
- Se identifican pocos individuos excepcionalmente vigorosos a lo largo del periodo 2007-2020. Estos se registraron por primera vez en enero del 2012 y continúan apareciendo hasta el actual monitoreo (dos ejemplares en abril y uno en julio) de forma aislada y sin una tendencia que pueda establecerse.

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

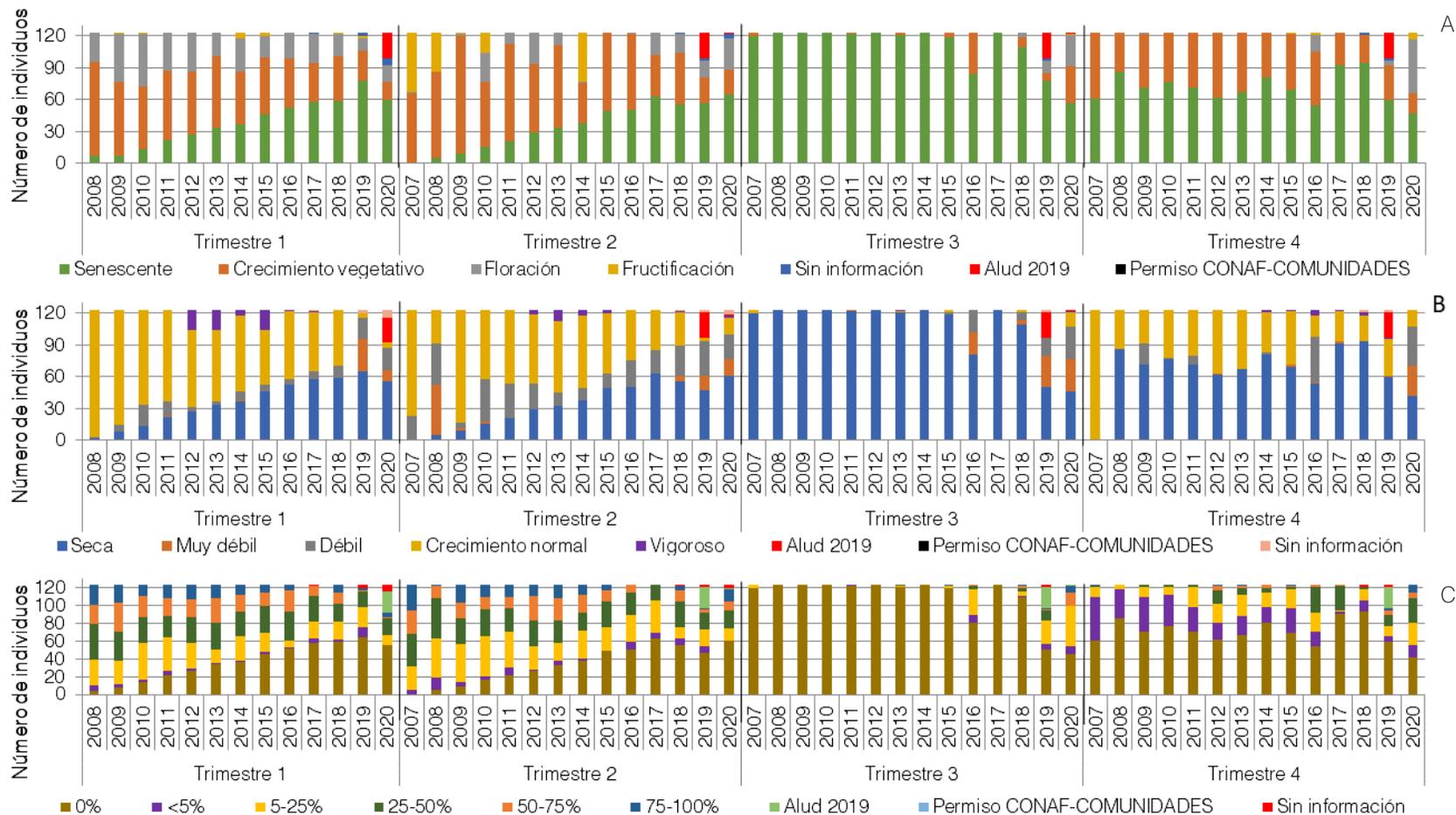
- La copa viva de *T. absinthioides* tiene un comportamiento cíclico anual, siendo el monitoreo de julio el periodo de recesión vegetativa y donde se observa menor follaje. En octubre comienza a recuperarse y luego en los monitoreos de enero y abril aumenta el porcentaje de copa viva. Los datos del 2020 siguen la misma tendencia observada.
- En los monitoreos de enero y abril se aprecia la mayor expresión de copa viva de *T. absinthioides*.

- La serie de tiempo completa presenta una tendencia al alza de individuos con copa 0% durante el monitoreo de enero y abril. Esto puede relacionarse al tipo de muestreo implementado para el monitoreo de *T. absinthioides*, el cual contempla 123 individuos identificados y etiquetados, lo que no permite registrar los posibles individuos que han surgido desde el inicio del monitoreo.
- Durante el monitoreo de abril se re-etiquetaron aquellos individuos afectados por el aluvión que descendió de las quebradas en el mes de febrero de 2019, por lo que solo en el monitoreo de enero 2020 se observa esta categoría de afectación.

Los efectos del aluvión que descendió desde la quebrada de Camar se evidencia en los meses posteriores al evento (segundo, tercer y cuarto trimestre de 2019 y primer trimestres de 2020), donde 24 ejemplares de *Tessaria absinthioides* se vieron afectados. Los individuos de *Tessaria absinthioides* perjudicados en el evento, fueron re-etiquetados por SQM durante el mes de abril de 2020.

Tessaria absinthioides se comporta según lo esperado en un año de monitoreo. Sin embargo, en general, presenta tendencias hacia una disminución de vitalidad en el tiempo, principalmente, en los primeros dos trimestres del año, lo que puede estar relacionado al tipo de muestreo utilizado para evaluar la vitalidad, copa viva y fenología de los ejemplares, los que fueron escogidos y etiquetados en la primera campaña de monitoreo.

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 2020.



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

La Tabla 6-12 representa 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. La información del CHS proviene de los análisis del Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar en faena, junto con resultados de las ETFA SGS (2017) y Algoritmos SpA (2018-2020).

Además, cabe destacar que los análisis contemplan la totalidad de la serie de datos disponible y no diferencia entre los trimestres analizados, por lo que siempre los cambios ambientales asociados a las estaciones del año son una posible interpretación de los datos.

Tabla 6-12. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (g/g) por categoría de vitalidad para el periodo 2007-2020.

Vitalidad	N	Media	D.E	Min	Max	Mediana	Q1	Q3
0-Seco	3.586	0,24	0,18	0,00	1,00	0,17	0,11	0,34
1-Muy débil	237	0,21	0,17	0,02	1,00	0,15	0,11	0,28
2-Débil	753	0,27	0,20	0,02	1,00	0,18	0,11	0,45
3-Crecimiento normal	2.790	0,26	0,21	0,00	1,08	0,17	0,11	0,40
4-Excepcionalmente vigoroso	166	0,32	0,22	0,03	0,92	0,32	0,10	0,48

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).

En la Figura 6-10, se puede apreciar una tendencia al incremento del valor promedio del contenido de humedad en la medida que la vitalidad de las plantas aumenta. Por lo que, es probable que las parcelas con mayor disponibilidad del recurso 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 V, donde se observa una relación significativa y positiva entre el CHS y la vitalidad de las plantas.

Los valores máximos (saturación) corresponden a mediciones de los años 2007, 2009, 2010 y 2019 en las parcelas L2-25, L2-4 y 1027, las que presentan profundidad de napa promedio menor a 0,8 m. En estas parcelas se registraron individuos en todas las categorías de vitalidad.

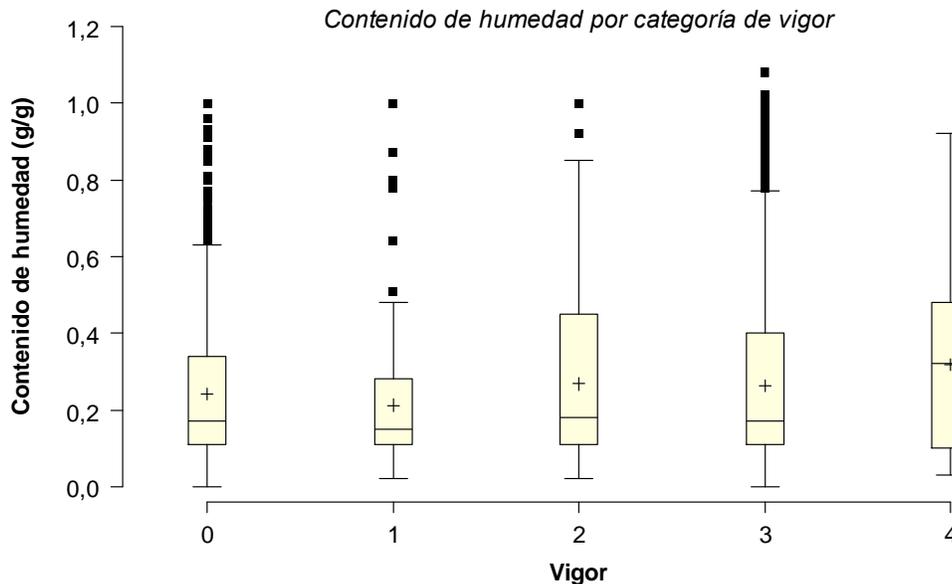
Respecto a las medias, se observan valores que varían entre las categorías de vitalidad seco (0), muy débil (1), débil (2) y normal (3) entre 0,21 g/g y 0,27 g/g promedio; mientras que la categoría excepcionalmente vigoroso (4) alcanza un valor medio de 0,32 g/g.

Además, se aprecia que los datos del tercer cuartil del gráfico se encuentran más dispersos (estos comprenden el 75% de la muestra), he indica que en las parcelas donde se ubicaron individuos con vitalidad entre las categorías seco y normal, el contenido de humedad del suelo fue más variable cuando se registraron valores superiores a la mediana. Caso contrario a lo visualizado en la categoría 4 de vitalidad (excepcionalmente vigoroso), donde el CHS es más variable cuando se registran valores por debajo de la mediana (0,32 g/g).

Las categorías de vitalidad 0, 1, 2 y 3 poseen valores atípicos de contenido de humedad, esto porque se realiza una medición de CHS por parcela y en cada parcela se registran individuos que no poseen necesariamente igual característica de vitalidad, además este análisis contempla toda la vegetación, sin diferenciar especie. No se observan valores atípicos para la categoría de vitalidad 4.

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

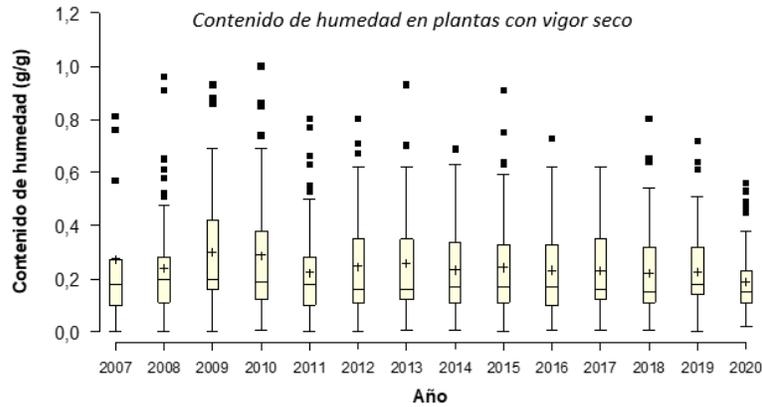
Categoría de vitalidad: 0=Seco; 1=Muy débil; 2=Débil; 3=Normal; 4=Excepcionalmente vigoroso.



Por lo demás, las figuras siguientes ilustran el comportamiento de la vitalidad de las plantas y el contenido de humedad gravimétrico del suelo asociado a las parcelas de monitoreo, para el periodo 2007-2020.

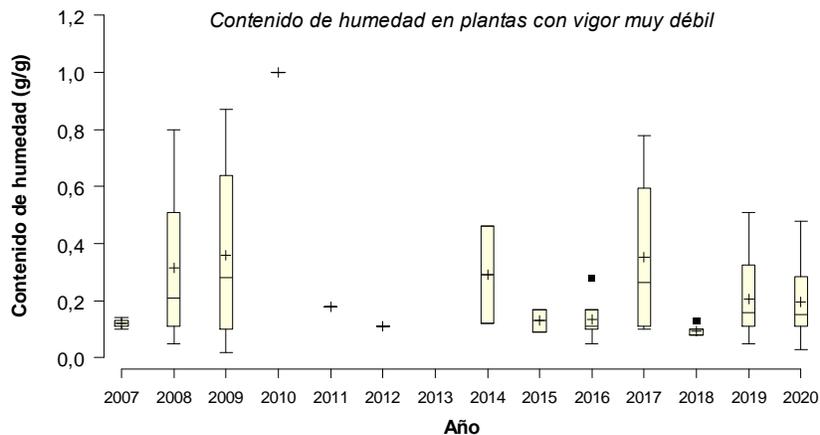
- Categoría seco (Figura 6-11): Desde el año 2007 se han reportado plantas bajo esta categoría de vitalidad. Al igual que los años anteriores, en el actual monitoreo, hay individuos en categoría seco en suelos con alto contenido de humedad. La serie completa de tiempo reporta valores de CHS promedio de 0,24 g/g; mediana 0,17 g/g y valor máximo 1,00 g/g. Los valores de CHS tienden a ser más dispersos en el primer cuartil hacia los monitoreos iniciales (25% de los datos), mientras que desde el año 2012 se observa mayor dispersión del CHS hacia el tercer cuartil (75% de los datos).

Figura 6-11. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad seco, desde el año 2007 al 2020.



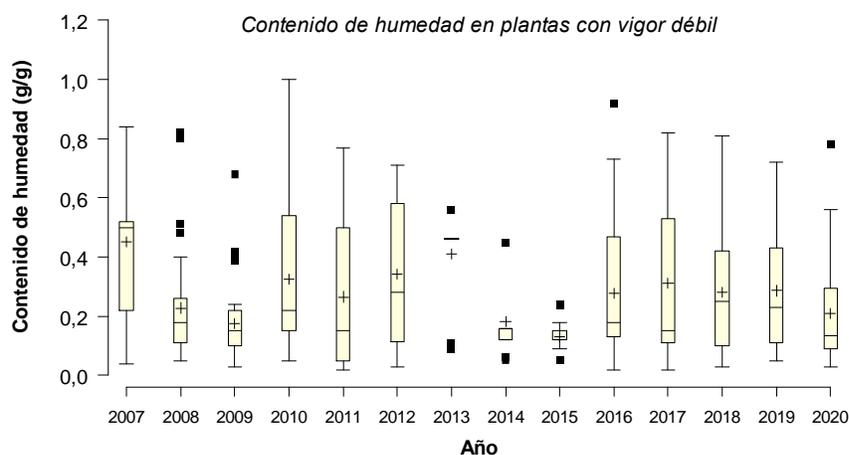
- Categoría muy débil (Figura 6-12): La presencia de individuos bajo esta categoría es ocasional en el tiempo, con observaciones particularmente altas en 2008, 2009, 2014, 2017, 2019 y 2020. En el año base se reporta un valor de contenido de humedad promedio de 0,12 g/g, mientras que en el periodo siguiente (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. Para el 2020 se observa una baja en la cantidad de plantas bajo esta categoría, respecto del año anterior. El contenido de humedad promedio (2007-2020) de las parcelas donde se ubican estos ejemplares es relativamente alto (0,24 g/g), mediana de 0,17 g/g y máximo de 1,00 g/g, indicando una baja relación entre el CHS y el número de individuos en esta categoría. En 2020 se observa que los datos están menos dispersos y hacia contenidos de humedad del suelo más bajos que el año anterior.

Figura 6-12. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad muy débil, desde el año 2007 al 2020.



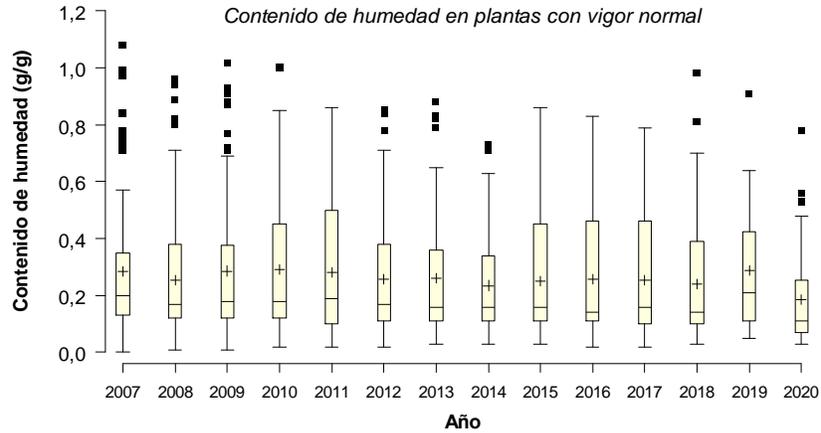
- Categoría débil (Figura 6-13), En el monitoreo del 2007 el valor promedio de contenido de humedad fue de 0,45 g/g, mediana de 0,5 g/g con un máximo de 0,84 g/g. El contenido de humedad para el periodo 2007-2020 reporta un promedio de 0,27 g/g, mediana de 0,18 g/g y un máximo de 1,00 g/g. Al igual que el monitoreo anterior, en 2020 se observa mayor dispersión hacia el tercer cuartil de los datos (75% de la muestra). El rango de CHS para las plantas en esta categoría es menor que el año anterior, tal como se muestra en el extremo superior del BoxPlot del año 2020, que llega a aproximadamente 0,5 g/g, con valores atípicos a la muestra en torno a los 0,8 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 2020.



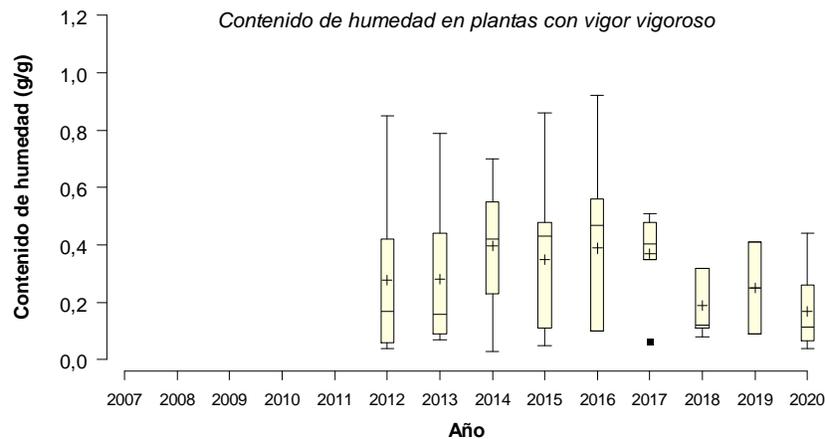
- Categoría normal (Figura 6-14): En general, esta categoría se ha mantenido estable en el tiempo respecto al contenido de humedad del suelo, con variaciones que se observan a partir del año 2015, en los valores del extremo superior de los BoxPlot, que representan el valor máximo de la muestra. Durante 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 periodo de monitoreo 2007-2020, estos valores alcanzaron 0,26 g/g de promedio, mediana 0,17 g/g y máximo 1,08 g/g. Los datos del 2020 muestran que el primer cuartil (25% de los datos) representa menor dispersión que el año anterior, pero muy semejante a los años antecesores, indicando la existencia de pocos individuos con crecimiento normal en condiciones de bajo CHS. Mientras que el tercer cuartil se comporta como lo observado en años anteriores, es decir con gran dispersión sobre la mediana (>0,17 g/g). Se observan valores de CHS atípicos para esta categoría de vitalidad, los que llegan a valores superiores a 0,5 g/g.

Figura 6-14. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad crecimiento normal, desde el año 2007 al 2020.



- 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. Para el periodo 2020 el CHS fluctuó entre 0,44 g/g y 0,04 g/g, mientras que en el año 2012 se describió un contenido de humedad promedio de 0,28 g/g, mediana 0,17 g/g y valor máximo de 0,85 g/g. Para el periodo 2012-2020 se describe un promedio de 0,32 g/g, mediana de 0,32 g/g y máximo de 0,92 g/g. El año 2020 al igual que los años 2012 y 2013, los datos se observan más dispersos en el tercer cuartil, es decir, hacia contenidos de humedad mayores es posible encontrar ejemplares vigorosos. Mientras que para valores de CHS menores a la mediana, los registros de plantas vigorosos son menos variables. Solo en el año 2017 se observó un valor atípico, esto por la baja cantidad de individuos registrados en esta categoría.

Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad excepcionalmente vigoroso, desde el año 2007 al 2020.



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

La Tabla 6-13 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)). 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 2,06 m a 2,84 m, siendo similares los promedios entre las categorías de vitalidad seco, débil 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 (1,6 m) y la categoría muy débil (1) presenta los valores de mayor profundidad (2,46 m). Se puede apreciar una tendencia al incremento de los valores máximos de los BoxPlot cuando se aumenta en categoría de vitalidad, lo que podría indicar que las variables se relacionarían. A pesar de esto, el resultado del modelo multinivel, disponible en el Anexo V, muestra una relación significativa y positiva entre la profundidad y la vitalidad de las plantas, hecho que no es biológicamente correcto, dado que es de esperar que, a mayor disponibilidad de agua, las plantas posean mejores categorías de vitalidad. Este resultado podría estar relacionado al diseño muestral, ya que se evalúa individuos fijos en el tiempo, lo que sitúa ejemplares que ya han cumplido su ciclo vital (secos) en todos los sectores donde se evalúa la profundidad.

El promedio de la profundidad de la napa se mantiene relativamente constante respecto a las categorías de vitalidad estudiadas. Siendo mayor en la categoría muy débil. Los datos suelen estar más dispersos hacia el primer cuartil (25% de los datos), es decir, hacia niveles más profundos; en las categorías 0, 2 y 3 se observan valores atípicos de profundidad.

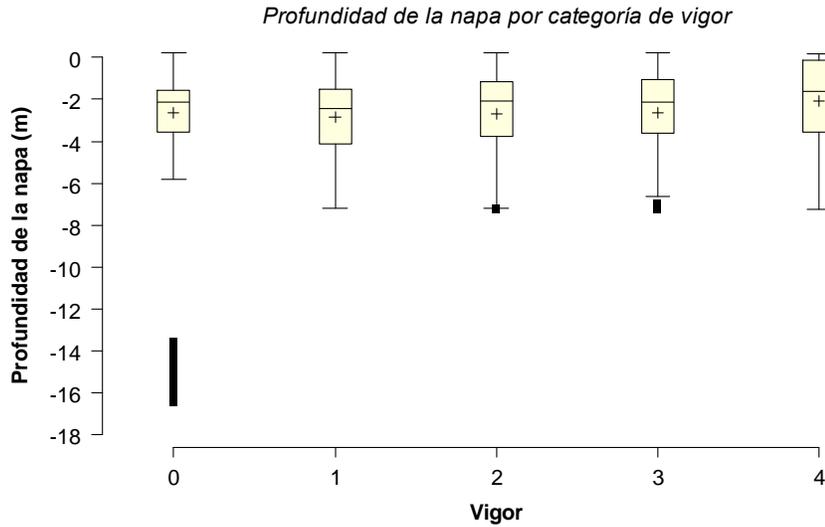
Tabla 6-13. Resumen de la variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad.

Vitalidad	N	Media	D.E.	Min	Max	Mediana	Q1	Q3
0-Seco	3.640	2,65	2,11	-0,21	16,41	2,14	1,56	3,58
1-Muy débil	236	2,84	1,72	-0,21	7,19	2,46	1,55	4,14
2-Débil	719	2,69	1,82	-0,21	7,26	2,06	1,15	3,79
3-Crecimiento normal	2.689	2,63	1,83	-0,21	7,26	2,13	1,04	3,60
4-Excepcionalmente vigoroso	166	2,06	2,00	-0,17	7,24	1,60	0,21	3,58

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).

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

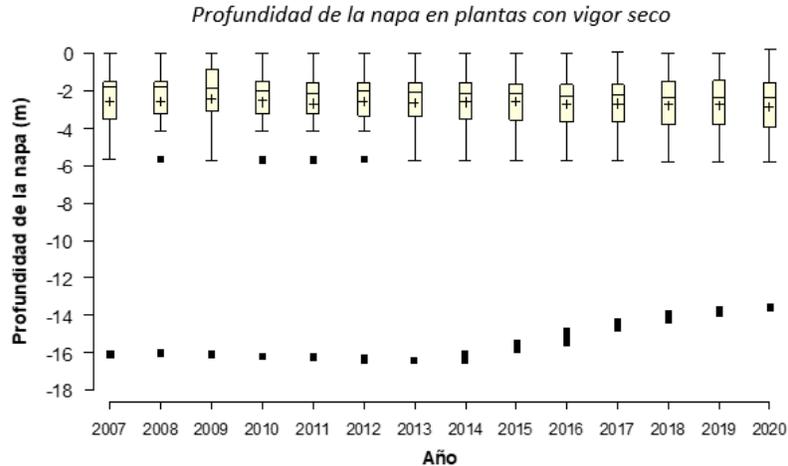
Categoría de vitalidad: 0=Seco; 1=Muy débil; 2=Débil; 3=Normal; 4=Excepcionalmente vigoroso.



Por lo demás, la Figura 6-17 a Figura 6-21 ilustran el comportamiento de la vitalidad de las plantas y la profundidad de la napa asociado a las parcelas donde se ubicó cada una de ellas, para el periodo 2007-2020.

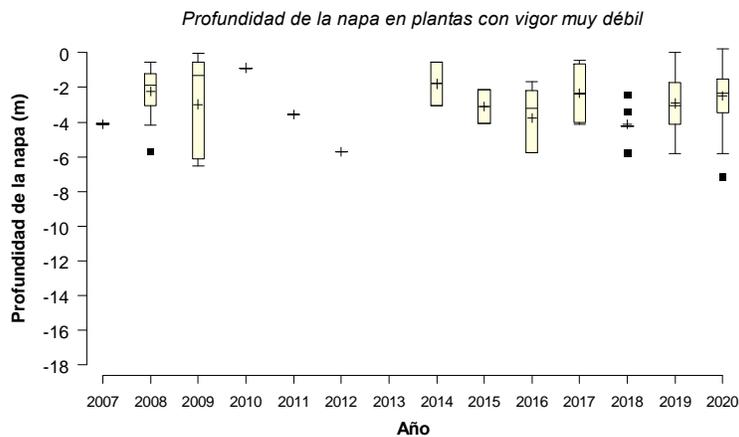
- Categoría Seco (Figura 6-17): Como se mencionó anteriormente, la categoría de vitalidad seco se ha registrado desde el año base (2007) donde la napa tuvo un valor promedio de 2,57 m; mediana de 1,77 m y valor máximo de 16,09 m. En la serie de tiempo 2007-2020 se registraron individuos en esta categoría de vitalidad con una profundidad de napa promedio 2,65 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 periodos, 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 2020.



- 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 2007-2020 se registra una profundidad promedio de 2,84 m, mediana de 2,46 m y máximo de 7,19 m. No se observa un patrón en la ocurrencia de ejemplares muy débiles, ya que se registran ejemplares bajo esta categoría en distintas profundidades.

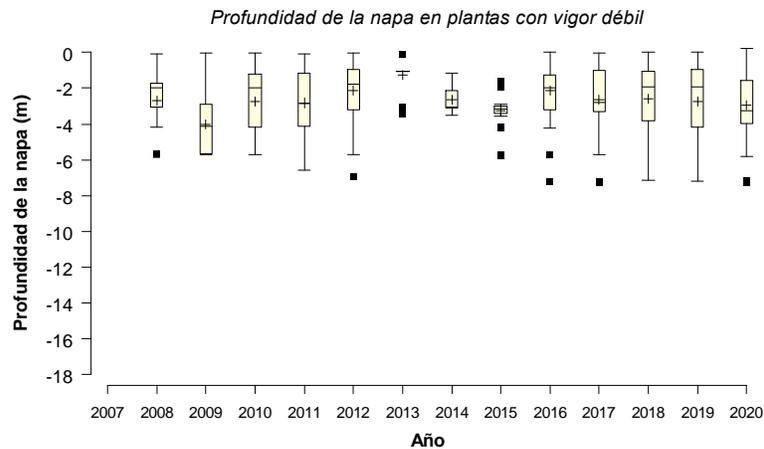
Figura 6-18. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad muy débil, desde el año 2007 al 2020.



- 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 periodo, 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 periodo 2008-2020 tiene en promedio 2,69 m; mediana de 2,06 m y un valor máximo de 7,26 m. En 2020 se observa que en contraste con el año anterior los datos

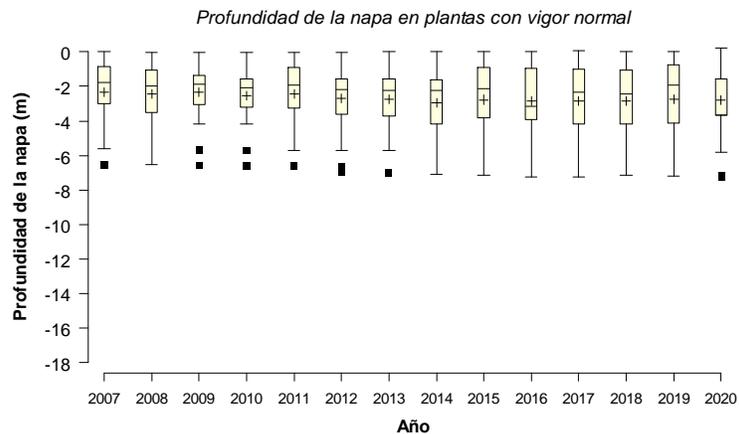
son más dispersos hacia el tercer cuartil del BoxPlot, con un mínimo mayor que el año anterior (napa menos profunda), lo que indica que en profundidades mayores las plantas se catalogaron con otra categoría de vigor. Se aprecian también valores anómalos para este periodo.

Figura 6-19. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad débil, desde el año 2007 al 2020.



- 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 periodo 2007-2020 reporta un promedio de 2,63 m; mediana de 2,13 m y un máximo de 7,26 m. Para el periodo 2020 se observa que las plantas con vigor normal se distribuyen homogéneamente entre profundidades que llegan como máximo a los seis metros. Se observa solo un valor anómalo.

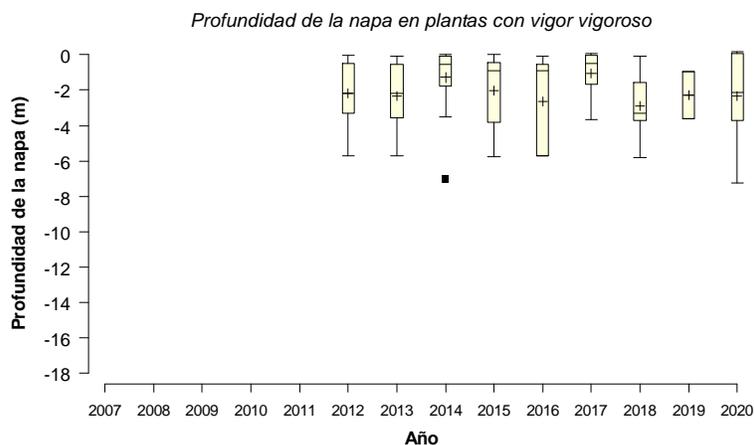
Figura 6-20. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad crecimiento normal, desde el año 2007 al 2020.



- 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 periodo 2012-2020, la profundidad se mantiene variable entre las observaciones, describiéndose una profundidad promedio de 2,06

m; mediana de 1,60 m y máximo de 7,24 m. En contraste con los años anteriores, el valor máximo de profundidad donde se registraron ejemplares vigorosos llega a los seis y ocho metros de profundidad, indicando que no existe una relación directa entre la profundidad y el vigor. Los valores tienen a ser más homogéneos hacia al primer cuartil de los gráficos.

Figura 6-21. Variación de la profundidad de la napa en la categoría de vitalidad excepcionalmente vigoroso, desde el año 2007 al 2020.



7. CONCLUSIONES

Durante el 2020, el monitoreo del contenido de humedad gravimétrico del suelo, profundidad de la napa y el estado vital de la vegetación se vio afectado por el aluvión de febrero de 2019, el cual afectó parte de las plantas evaluadas en este informe. Así mismo, el monitoreo se vio afectado por el cierre de la Reserva Nacional Los Flamencos, producto de la pandemia de COVID-19, ya que, durante los meses de abril, julio y octubre, no se otorgó el permiso de ingreso a ella. Esto implicó no acceder a los pozos y parcelas L7-7 y 1027.

Respecto al contenido de humedad gravimétrico del suelo, 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 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. Esto tendía relación a con la cantidad de agua en las muestras y el tiempo transcurrido entre los análisis.

Las mediciones efectuadas en 2020 mostraron una reducción en el contenido de humedad gravimétrico del suelo respecto al año anterior, lo que podría estar relacionado al aumento en el CHS que se observó en 2019 en 14 puntos de monitoreo, lo que se atribuye a la recarga producida por las lluvias estivales, que en 2019 alcanzaron los 212 mm de agua caída en la zona. En la mayoría de los puntos de control el CHS no posee tendencia significativa hacia el alza o baja de sus valores.

En el monitoreo actual 14 parcelas (77,8% del total), registraron una disminución del orden de los 0,121 g/g promedio en el CHS, respecto del primer monitoreo. El máximo se registró en el pozo L2-25 (disminución de 0,579 g/g) y el mínimo en el pozo L3-15 (diminución de 0,05 g/g).

Por otra parte, el cuatro parcelas (22,2% del total), registraron un aumento respecto del primer monitoreo, del orden de 0,008 g/g promedio. El máximo se registró en la parcela L4-3 (aumento de 0,014 g/g) y el mínimo en la parcela 1027 (aumento de 0,002 g/g).

Respecto a la profundidad la napa, el año 2020 respecto al primer año de monitoreo (2007), presenta disminución en 14 de los 18 pozos monitoreados, salvo en los pozos L7-14, L3-5 y L4-3 donde la profundidad aumentó respecto al año base. Y el pozo L7-7 que no se prospectó este año. Esta disminución se observa en toda la serie temporal evaluada, donde los pozos con tendencia significativa al aumento de la profundidad llegan a 14 y solo uno no muestra tendencia (pozo L2-25). Por su parte, la serie temporal de monitoreo de los tres pozos donde la profundidad disminuye también es significativa.

Considerando lo antes mencionado, en el monitoreo actual, 14 pozos (77,8% del total) poseen aumento del orden de los 0,37 m promedio en la profundidad de la napa respecto del primer monitoreo. El máximo se registró en el pozo L3-15 (profundidad 3,68 m, aumento de 0,76 m) y el mínimo en el pozo L2-25 (profundidad 0,63 m, aumento de 0,07 m).

Por otra parte, cuatro pozos (22,2% del total) registraron un aumento respecto del primer monitoreo, del orden de 0,87 m promedio. Cuyo máximo se registró en la parcela L4-3 (profundidad 13,59 m, disminución de 2,46 m) y mínimo en el pozo L7-14 (profundidad 1,55 m, disminución de 0,01 m).

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. 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 a factores ambientales propios de la zona, como la radiación o evaporación.

Respecto a la vegetación, al igual en año anterior, se registraron los efectos del aluvión de febrero de 2019, el que afectó la totalidad de la parcela asociada al pozo de monitoreo L3-3 y parcialmente las parcelas L3-5 y L3-15 (en total 24 individuos de *Tessaria absinthioides*, un ejemplar de *Atriplex atacamensis* y un ejemplar de *D. spicata* dañados permanentemente). Sin embargo, en el monitoreo de abril del 2020 parte de los individuos afectados pudieron ser re-etiquetados por SQM, por lo que, se contó con mayor información en los meses de abril, julio y octubre.

Los resultados indican una tendencia histórica hacia los procesos fenológicos normales de las plantas en el periodo de un año, que implican aumento y reducción del follaje verde¹⁸ o producción de estructuras reproductivas. Así, la vegetación responde de forma habitual a la disponibilidad hídrica de cada periodo de tiempo (monitoreos de verano, otoño, invierno y primavera), observándose las etapas de vitalidad esperadas en cada una de las especies prospectadas, esto es: mayor expresión de la copa viva, crecimiento normal y crecimiento vegetativo en los meses de verano y otoño, invierno con porcentajes de copa viva cercanos al 0%, individuos secos y senescentes, para luego presentar mayor vitalidad en primavera.

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

¹⁸ Porcentaje de copa viva según RCA N°226/2006.

que estaría relacionado al diseño muestral del monitoreo el cual estableció hace 14 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 natural, al descartar la medición de ejemplares nuevos en estas parcelas, lo que se puede verificar en el Anexo I, donde se muestran fotografías de cada una de las parcelas prospectadas.

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 probable, por lo que este resultado no implica causalidad entre las variables.

8. REFERENCIAS

Brady, C. y Weil, R. 2008. The Nature and Properties of Soils. 14th Ed. Pearson International Edition. 975 p.

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.

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.