



Informe Anual – Monitoreo Contenido de Humedad del Suelo 2017

Plan de Seguimiento Ambiental Salar de Atacama

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

Región de Antofagasta

geobiota

Preparado para SQM Salar S.A.
Abril 2019.

Informe contenido humedad de suelos
GEOB.SQM512.INF001

Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
B	Nombre	CA	VB	XA	Para revisión del cliente.
	Fecha	14-09-2018	24-09-2018	18-12-2018	
0	Nombre	VB	JG		
	Fecha	04-01-2019	08-01-2019		
1	Nombre	CA	VB		
	Fecha	06-02-2019	20-02-2019		
2	Nombre	CA-CI	VB		Para emisión.
	Fecha	22-03-2019	05-04-2019		



CONTENIDO

1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCIÓN	3
3.	OBJETIVOS	4
3.1	Objetivo general	4
3.2	Objetivos específicos	4
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	5
4.1	Descripción del área de estudio.....	5
4.2	Ubicación de los puntos de muestreo.....	5
4.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	7
4.4	Metodología.....	7
4.4.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	7
4.4.1.1	Metodología utilizada por Laboratorio SGS Chile Ltda.....	8
4.4.1.2	Metodología utilizada por Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar S.A.....	8
4.4.2	Profundidad de la napa subterránea	9
4.4.3	Estado vital de la vegetación	10
4.5	Materiales	12
4.5.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	12
4.5.2	Profundidad de la napa subterránea	12
4.5.3	Vitalidad de la vegetación.....	13
4.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro	13
4.6.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	13
4.6.2	Profundidad de la napa subterránea	13
4.6.3	Estado vital de la vegetación	13
5.	RESULTADOS	14
5.1	Contenido de humedad del suelo	14
5.1.1	Laboratorio SGS Chile Ltda.	14
5.1.2	Laboratorio metalúrgico SQM Salar	16
5.1.3	Relación de los valores reportados entre laboratorios.....	17
5.2	Profundidad de la napa	18
5.3	Relación Contenido de humedad y napa freática	20
5.3.1	Laboratorio SGS Chile Ltda.	20
5.3.2	Laboratorio metalúrgico faena SQM Salar	21
5.4	Estado vital de la vegetación.....	22
5.4.1	Fenología	22

5.4.2	Vigor.....	24
5.4.3	Porcentaje de follaje verde	26
6.	DISCUSIONES.....	28
6.1	Variación del contenido de humedad del suelo en el tiempo	28
6.2	Variación de la profundidad de la napa en el tiempo.....	37
6.3	Variación interanual de la vitalidad de la vegetación	45
6.3.1	Atriplex atacamensis.....	46
6.3.2	Distichlis spicata	49
6.3.3	Nitrophila atacamensis.....	52
6.3.4	Tessaria absinthioides	54
6.4	Relación de la vitalidad de la vegetación y el contenido de humedad	58
6.5	Relación de la vitalidad de la vegetación y la profundidad de la napa.....	62
7.	CONCLUSIONES.....	66
8.	REFERENCIAS.....	68



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.	3
Tabla 4-1. Coordenadas de los Vértices del Borde este del Salara de Atacama (UTM Datum WGS84 Huso 19S).....	5
Tabla 4-2. Ubicación de las parcelas de monitoreo.	5
Tabla 4-3. Profundidad del estrato con presencia de raíces.....	7
Tabla 4-4. Categorías de porcentaje de follaje verde.....	11
Tabla 4-5. Categorías de vigor	11
Tabla 4-6. Fases fenológicas.....	11
Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SGS Chile Ltda. de las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2017.	14
Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas de 2017.	16
Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2017.	18
Tabla 5-4. Especies vegetales presentes en las 18 parcelas de monitoreo. Campañas del año 2017.	22
Tabla 5-5. Resumen de individuos por categoría de fenología.	22
Tabla 5-6. Resumen de individuos por categoría de vigor.....	24
Tabla 5-7. Resumen de individuos por categoría de copa verde.	26
Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo para el monitoreo de enero durante el periodo 2008 a 2017.....	30
Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo para el monitoreo de abril, durante el periodo 2007 a 2017.....	31
Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo para el monitoreo de julio, durante el periodo 2007 a 2017.....	32
Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo para el monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2017.....	33
Tabla 6-5. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de enero durante el periodo 2008 a 2017.....	38
Tabla 6-6. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de abril durante el periodo 2008 a 2017.....	39
Tabla 6-7. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2017.....	40
Tabla 6-8. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2017.....	41
Tabla 6-9. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de Vigor.....	58
Tabla 6-10. Resumen de la variación del profundidad de la napa por categoría de Vigor.....	62

FIGURAS

Figura 4-1. Ubicación de parcelas de monitoreo	6
Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo	9
Figura 4-3. Esquema del proceso de medición en un pozo.....	10
Figura 4-4. Medición del estado vital de la vegetación	12
Figura 4-5. Pozómetro utilizado para la medición de profundidad de la napa.....	12
Figura 5-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SGS Chile Ltda. en las parcelas de monitoreo en cada campaña del año 2017.	15
Figura 5-2. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2017.	17
Figura 5-3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrica obtenido por laboratorio SQM Salar y SGS Chile Ltda en el año 2017.	18
Figura 5-4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2017.....	19
Figura 5-5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SGS Chile Ltda. y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2017.	20
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 2017	21
Figura 5-7. Proporción (%) de individuos por categoría de Fenología en las campañas del año 2017.....	23
Figura 5-8. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de 2017	25
Figura 5-9. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en 2017	27
Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2017	29
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 2017.....	35
Figura 6-3. Variación de la profundidad de la napa, por parcela de monitoreo, periodo 2007 a 2017.	37
Figura 6-4. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2017.....	43
Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2017	45
Figura 6-6. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a <i>Atriplex atacamensis</i>	46
Figura 6-7. <i>Atriplex atacamensis</i> : Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2017.....	48
Figura 6-8. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a <i>Distichlis spicata</i>	49
Figura 6-9. <i>Distichlis spicata</i> : Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2017.	51
Figura 6-10. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a <i>Nitrophila atacamensis</i>	52
Figura 6-11. <i>Nitrophila atacamensis</i> : Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2017.....	53

Figura 6-12. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a <i>Tessaria absinthioides</i>	54
Figura 6-13. <i>Tessaria absinthioides</i> . Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2017.....	57
Figura 6-14. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de Vigor.	58
Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2017	60
Figura 6-16. Variación de la profundidad de la napa por categoría de Vigor.	62
Figura 6-17. Variación de la profundidad de la napa por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2017 ..	64



ANEXOS

Anexo I. Estado vital de la vegetación

Anexo II. Registro de Humedades realizados por ETFA SGS Chile

Anexo III. Registro de precipitaciones mensuales período 2007-2017.

Anexo IV. Responsables y participantes Seguimiento Ambiental

Anexo V. Resultados Modelo Estadístico



1. RESUMEN

El informe anual de monitoreo año 2017 presenta los resultados del seguimiento ambiental del contenido de humedad, profundidad de la napa y vitalidad de la vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama, con el objetivo de detectar cambios producidos por el bombeo de los pozos de agua del proyecto.

Para el seguimiento ambiental del contenido de humedad de suelo se establecieron 18 parcelas permanentes de monitoreo ubicadas adyacentes a los pozos de monitoreo de nivel freático¹.

El seguimiento del contenido de humedad del suelo indica que el promedio de las parcelas tiende a ser menor en dirección Oeste-Este, aunque los valores promedio más bajos no respondieron a una distribución espacial, sino que a las características del suelo.

La profundidad promedio de la napa de las parcelas ubicadas al oeste es menor; aunque, no es claro que exista una tendencia respecto a la distribución espacial, ya que en el centro del gráfico las parcelas de monitoreo registran una profundidad promedio mayor que en ambos extremos salvo el punto L4-3, el cual registró la mayor profundidad de la napa.

Respecto de la variación histórica del contenido de humedad de suelo, las mayores variaciones se reportan en las Parcelas L7-7, L2-4, L2-25, L3-5 y L2-28, presentando en algún mes una desviación estándar superior a 0,1 g/g.

Respecto de la variación histórica de la profundidad de la napa freática los resultados demuestran que la variabilidad ha sido baja, identificándose a los pozos L1-3, L3-15 y L4-3, como aquellos con mayor desviación estándar, en todos los meses de monitoreo.

La fenología en los ejemplares se encuentran generalmente en crecimiento vegetativo en los meses de enero, abril y octubre. Durante el monitoreo de julio se encuentran mayoritariamente en un estado recesivo. Los periodos de mayor expresión de la vegetación ocurre en los meses de enero y abril.

El registro de la especie *Atriplex atacamensis* muestra que la copa verde tiende a persistir durante todas las campañas, variando su cantidad principalmente, lo que guarda relación con el comportamiento perenne de la planta. Respecto a la fenología se identifica la producción de flores y frutos en el mes de enero y febrero.

Para la especie *Distichlis spicata*, se identifica una copa verde variable en el tiempo, presentan generalmente un vigor normal en los monitoreos, excepto en enero, donde destaca la presencia de ejemplares vigorosos y una fenología mayoritariamente correspondiente a crecimiento normal. En el presente año no se identificaron ejemplares vigorosos y se reporta ejemplares con floración.

El monitoreo de la especie *Nitrophila atacamensis* indica que el follaje verde varía entre 25 a 100% en los monitoreos de enero y abril, donde también tienden a presentar un crecimiento normal, aunque en el último monitoreo registraron ejemplares débiles. El estado fenológico común es crecimiento vegetativo, sin embargo en el último monitoreo se reportó floración.

Para la especie *Tessaria absinthioides* el monitoreo para el periodo reportado muestra una disminución de los ejemplares con porcentaje de follaje verde mayor a 75% y aumento de individuos sin follaje. Respecto al vigor se presentan individuos con crecimiento normal y vigoroso mayoritariamente. Sólo se presentan



¹ Los pozos de monitoreo forman parte del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico asociado a la RCA N°226/2006.

ejemplares con crecimiento vegetativo y senescente en todos los periodos excepto en enero donde además presenta ejemplares con floración.

Al efectuar un análisis de correlación entre la vegetación respecto del contenido de humedad y profundidad de la napa, no se identifican que exista una relación directa con las bajas vitalidades reportadas en *T. absinthioides*. Varias de las parcelas donde se muestrea a esta especie, se han mantenido con valores de profundidad de napa o contenido de humedad sin variaciones significativas en el tiempo.



2. INTRODUCCIÓN

El presente informe da cuenta los resultados del seguimiento ambiental del contenido de humedad del suelo, analizando su relación con la profundidad de la napa y el estado de la vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama, efectuado durante el año 2017. Estas mediciones forman parte del Plan de Seguimiento Ambiental del EIA Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama, de SQM Salar S.A.

Dicho Plan de Seguimiento Ambiental 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 Estudio de Impacto Ambiental del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama” desarrollado por SQM Salar S.A.

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	Variables de medición	Frecuencia de medición	Frecuencia de entrega de reportes
Contenido de humedad del suelo	Considerando 10.3.1	Contenido de humedad del suelo	Humedad del suelo: - trimestral	Anual
		Vitalidad de la vegetación	2 veces al año	Anual
		Nivel napa freática*	-	-

* El nivel de la napa subterránea es medido con una frecuencia mensual en el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico. Para efectos del presente informe sólo se utiliza la información de los meses de enero, abril, julio y octubre.
Fuente: RCA N°226/2006.

La medición del contenido de humedad del suelo, profundidad de la napa y vitalidad de la vegetación tiene por objetivo detectar cambios producidos por el bombeo de los pozos de agua Mullay 1, Allana y Camar 2. Para tales efectos, el Plan de Seguimiento contempla la medición simultánea en 18 puntos de muestreo que conforman el Plan de seguimiento ambiental hidrogeológico del sistema Borde Este, y de los sistemas lacustres de Soncor y Aguas de Quelana (Figura 4-1).

Durante el año 2008 se inició en forma escalonada el bombeo de agua para uso industrial con la puesta en marcha del pozo Camar 2 en el mes de marzo, y los pozos Allana y Mullay en el mes de septiembre del 2008. En dicho periodo se entregaron 2 informes pre-operacionales. Posteriormente se ha entregado ocho informes operacionales anuales (2009 - 2016), que compilan los monitoreos ejecutados trimestralmente (4 monitoreos durante el año). El presente informe corresponde a la novena entrega del periodo operacional 2017.

El equipo de profesionales que midió, elaboró y consolidó el informe se presenta en el Anexo IV. Las mediciones de campo fueron ejecutadas por SQM Salar S.A. en lo que respecta a monitoreo de vegetación y niveles de los pozos; Algoritmos en la extracción de muestras de suelos y SGS en la medición de laboratorio de las muestras de suelos. Geobiota estuvo a cargo del análisis de datos y elaboración de informe.



3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

El presente Plan de Seguimiento Ambiental tienen por objetivo detectar cambios en el contenido de humedad del suelo, la profundidad de la napa y la vitalidad de la vegetación, producto del bombeo de los pozos de agua del proyecto (Mullay 1, Allana y Camar 2).

3.2 Objetivos específicos

Para lograr cumplir con el objetivo general propuesto se desarrollarán los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el contenido de humedad de suelo en 18 parcelas permanentes.
- Determinar la profundidad de napa en 18 pozos que conforman el Plan de Seguimiento Hidrogeológico.
- Determinar el estado vital de la vegetación presente en las parcelas de monitoreo de contenido de humedad y profundidad de napa.
- Analizar las variables y verificar la existencia de relaciones.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio del seguimiento ambiental corresponde al borde este del Salar de Atacama. El Salar de Atacama se ubica en la Región de Antofagasta, en la cuenca endorreica del Salar de Atacama, dicho salar está ubicado a 55 km de San Pedro de Atacama y 316 km al noreste de Antofagasta. En la siguiente Tabla 4-1 se indican las coordenadas del área donde se ejecuta el presente Plan de seguimiento ambiental.

Tabla 4-1. Coordenadas de los Vértices del Borde este del Salara de Atacama (UTM Datum WGS84 Huso 19S).

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

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Ubicación de los puntos de muestreo

Para el monitoreo de contenido de humedad se establecieron 18 parcelas permanentes, de tipo circular con un radio de 5 m, ubicadas adyacentes a los pozos de monitoreo de nivel freático (Figura 4-1). En cada parcela se realizan las mediciones de contenido de humedad del suelo, profundidad de la napa y monitoreo de vegetación. La ubicación detallada de las parcelas se presenta en la Tabla 4-2.

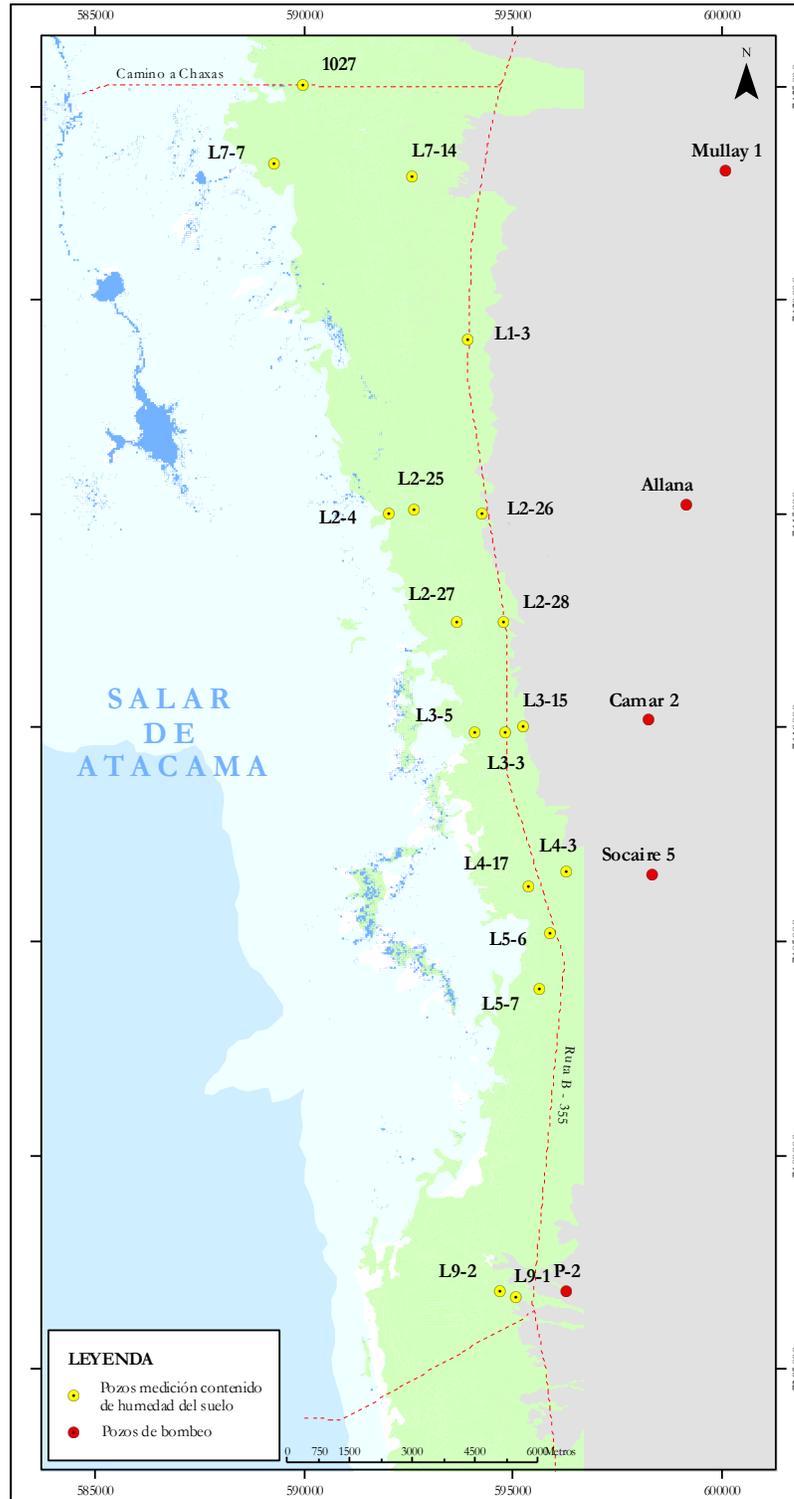
Tabla 4-2. Ubicación de las parcelas de monitoreo.

Nº	Parcela	Coordenadas (UTM PSAD56 19S)		Coordenadas (UTM WGS84 19S)		Nº	Parcela	Coordenadas (UTM PSAD56 19S)		Coordenadas (UTM WGS84 19S)	
		Norte	Este	Norte	Este			Norte	Este	Norte	Este
1	1027	7.425.017	589.996	7.424.651	589.830	10	L3-15	7.410.000	595.270	7.409.634	595.104
2	L7-7	7.423.190	589.303	7.422.824	589.137	11	L3-5	7.409.890	594.086	7.409.524	593.920
3	L7-14	7.422.900	592.600	7.422.534	592.434	12	L3-3	7.409.882	594.816	7.409.516	594.650
4	L1-3	7.419.080	593.909	7.418.714	593.743	13	L4-3	7.406.648	596.294	7.406.282	596.128
5	L2-26	7.415.000	594.250	7.414.634	594.084	14	L4-17	7.406.312	595.380	7.405.946	595.214
6	L2-25	7.415.077	592.645	7.414.711	592.479	15	L5-6*	-	-	7.404.824	595.737
7	L2-4	7.414.984	592.031	7.414.618	591.865	16	L5-7	7.403.910	595.653	7.403.544	595.487
8	L2-28	7.412.480	594.770	7.412.114	594.604	17	L9-2	7.396.800	594.684	7.396.434	594.518
9	L2-27	7.412.480	593.670	7.412.114	593.504	18	L9-1	7.396.685	595.067	7.396.319	594.901

* El pozo L5-6 reemplaza al pozo L4-7, ya que este último se encontraba fuera de la formación vegetal propia matorral ralo Brea – Cachiyyo. La modificación fue informada en el primer informe de monitoreo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-1. Ubicación de parcelas de monitoreo



Fuente: Elaboración propia.



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

Los parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales son los siguientes:

- Contenido de humedad gravimétrico del suelo
- Profundidad de la napa subterránea
- Estado vital de la vegetación, evaluado a través del vigor, copa verde y fenología.

4.4 Metodología

4.4.1 *Contenido de humedad gravimétrico del suelo*

Para su medición se extraen tres muestras desde una calicata confeccionada en la parcela para cada monitoreo, actividad que en el presente monitoreo estuvo a cargo de la ETFA Algoritmos acreditada para el muestreo de suelos por medio de la Resolución Exenta N°178/2017 SMA.

La profundidad de extracción de las muestras se definió en función del crecimiento radicular de la vegetación, para lo cual se realizó un análisis en la primera campaña de la etapa pre-operacional, abril de 2007. La profundidad de muestreo en cada parcela se presenta 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

Fuente: Elaboración propia.

La determinación del contenido de humedad de las muestras se realizó en 2 laboratorios:

- Laboratorio SGS Chile Ltda., sucursal Santiago, quien ha realizado las mediciones desde el mes de octubre de 2016 y se encuentra acreditado ETFA por la Resolución Exenta 303/2016 SMA
- Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar S.A. quien ha realizado las mediciones históricas del monitoreo.



4.4.1.1 Metodología utilizada por Laboratorio SGS Chile Ltda.

Según se describe en la matriz de alcances autorizados para la ETFA SGS-Santiago el método aplicado corresponde a "I-ENV-LAB-102 Rev.01 Basado en Métodos de Análisis Recomendados para Suelos (INIA, 2006)".

4.4.1.2 Metodología utilizada por Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar S.A.

La metodología aplicada para la medición de contenido de humedad por el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar S.A. es descrita a continuación:

Previo a la extracción de muestras en terreno, en laboratorio se pesó cada bolsa a utilizar con una balanza de precisión de 0,1 g, registrando su peso y rotulando la bolsa con un código identificador. La muestra extraída tiene un peso aproximado de 500 g (Figura 4-2).

Durante el mismo día en que se han tomado las muestras en terreno, se transportaron 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 consistió en el pesaje de las muestras de suelo en estado húmedo. Para ello se pesaron 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 extrajo el suelo de las bolsas, cuidando de sacar la totalidad de la muestra. Ésta se dispuso sobre una bandeja de aluminio de peso conocido y se secó a una estufa de circulación de aire por 48 horas a $105 \pm 5^\circ\text{C}$, tiempo estimado para que las muestras logren un peso constante. Tras finalizar el secado, las muestras se pesaron (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 realizó utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde,

CH_g : Contenido de humedad gravimétrico (g/g)

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

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

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



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



Extracción de muestras calcicatas



Embolsado de muestras en terreno



Pesaje de muestras húmedas con balanza de precisión



Extracción de la muestra de suelo y preparación para su secado.



Estufa con circulación de aire utilizada para secar las muestras



Muestras secas en proceso de pesaje

Fuente: Elaboración propia.

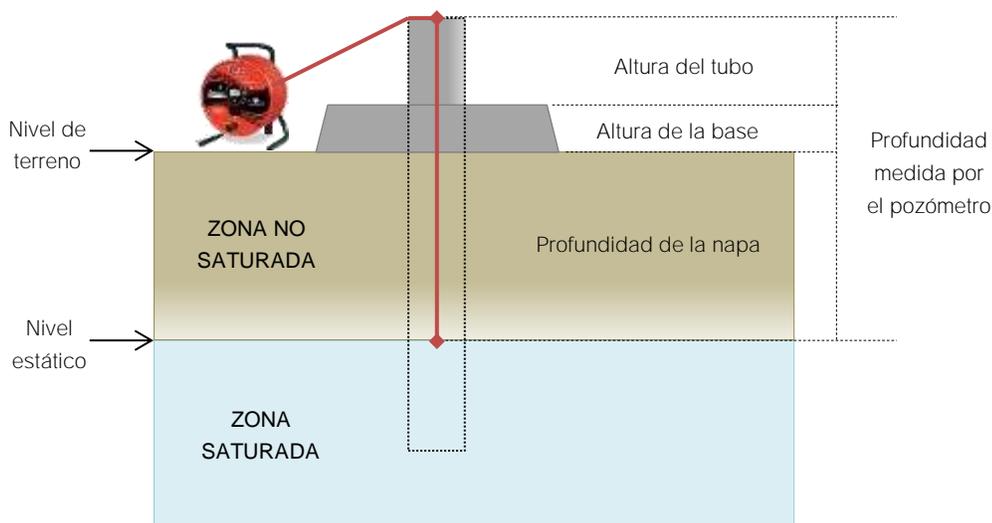
4.4.2 Profundidad de la napa subterránea

Cada parcela de monitoreo permanente se encuentra cercano a un pozo de monitoreo de nivel que es parte de la red del Plan de Seguimiento Hidrogeológico. La medición de la profundidad de la napa subterránea se realizó con un pozómetro, equipo que en uno de sus extremos tiene un sensor sonoro y lumínico que detecta la presencia del nivel de agua (Figura 4-3).

La profundidad de la napa corresponde al valor registrado por el pozómetro menos la altura del tubo y la base de cemento.

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

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



Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Estado vital de la vegetación

De acuerdo con la RCA N°226/2006, el monitoreo se debiese ejecutar con frecuencia semestral, aunque se ha optado por realizarlo de forma trimestral con el fin de mejorar el seguimiento a las plantas. La evaluación se realizó en parcelas circulares permanentes de radio 5 m, que fueron establecidas en la primera campaña y son las mismas donde se realiza el monitoreo de contenido de humedad gravimétrico del suelo.

Para el seguimiento permanente se marcó en cada parcela 10 ejemplares arbustivos con etiquetas metálicas (Figura 4-4). En los casos que hubo menos individuos en la parcela, se etiquetaron todos los ejemplares presentes; y en el caso de vegetación herbácea se consideró toda la biomasa. La evaluación de vitalidad de los ejemplares marcados se realizó en función de las siguientes variables:

- **Altura:** Este parámetro se evalúa sólo en ejemplares arbustivos y consiste en la medición de la altura (cm), desde el suelo, del follaje fotosintéticamente activo (verde). Cuando un individuo no presenta follaje verde, esta variable no se mide.
- **Porcentaje de follaje verde:** Esta variable evalúa la proporción de follaje verde versus la estructura aérea total de la planta (Tabla 4-4).
- **Vigor:** Evalúa el estado fitosanitario de los individuos en función de su estado fisiológico (Tabla 4-5).
- **Estado Fenológico:** Evalúa la formación de estructuras en la planta (Tabla 4-6).

Adicionalmente se efectuó un registro fotográfico de los ejemplares marcados.

Tabla 4-4. Categorías de porcentaje de follaje verde

Categoría	Porcentaje (%)
1	0
2	< 5
3	5 - 25
4	25 - 50
5	50 - 75
6	75 - 100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-5. Categorías de vigor

Categoría	Vigor
1	Seco, senescente o recesivo.
2	Muy débil sin producción de frutos, con signos de ataque de patógenos
3	Débil, capaz de producir algunos frutos, signos leves de ataque de patógenos
4	Crecimiento normal, producción de frutos, sin signos de patógenos
5	Excepcionalmente vigoroso

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-6. Fases fenológicas

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

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-4. Medición del estado vital de la vegetación



A.- Individuos rotulado



B.- Medición de altura en un individuo

Fuente: Elaboración propia

Para analizar los efectos de la humedad y profundidad de la napa sobre el vigor de los Tamarugos, se realizaron 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 vigor de cada especie en cada una de las campañas como variable dependiente. Los datos utilizados para el análisis corresponden a aquellos reportados en los informes entre los años 2007-2017.

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

- Balanza de precisión 0,1 g para el pesaje de las muestras
- Estufa de circulación de aire para el secado de las muestras
- Bolsas plásticas
- Frascos plásticos
- Pala

4.5.2 *Profundidad de la napa subterránea*

Para la medición de la profundidad de la napa subterránea se utilizaron los siguientes materiales:

- Pozómetro (Figura 4-5).

Figura 4-5. Pozómetro utilizado para la medición de profundidad de la napa.



Fuente: Elaboración propia.

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 esta propiedad se realiza de forma trimestral. Los muestreos fueron realizados los días 31 de enero y 1 de febrero, 25 y 26 de abril, 8 y 9 agosto y 24 de octubre del año 2017. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio metalúrgico de SQM Salar el mismo día que se extrajeron de terreno, mientras que SGS realizó sus mediciones en las fechas 03 de febrero, 05-11 de mayo, 21-22 de agosto y 28-31 de octubre de 2017.

4.6.2 **Profundidad de la napa subterránea**

Esta medición se realizó con una frecuencia mensual y son reportados en el respectivo informe asociado al Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico. 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 2017.

4.6.3 **Estado vital de la vegetación**

El monitoreo de esta propiedad se realiza de forma trimestral. Los muestreos fueron realizados los días 31 de enero y 1 de febrero, 25 y 26 de abril, 8 y 9 agosto y 31 de octubre del año 2017.

5. RESULTADOS

5.1 Contenido de humedad del suelo

En la presente sección se presentan los resultados de las mediciones de contenido de humedad reportada para el año 2017 por los dos laboratorios donde se ejecutaron las mediciones.

5.1.1 Laboratorio SGS Chile Ltda.

La Tabla 5-1 muestra los resultados reportados por SGS Chile Ltda. para las mediciones del contenido de humedad en las cuatro campañas correspondientes al monitoreo del año 2017.

Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SGS Chile Ltda. de las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2017.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g)					
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	Promedio (g/g)	Desv. est.
L7-7	0,328	0,375	0,357	0,330	0,348	0,022
1027	0,439	0,418	0,410	0,397	0,416	0,018
L2-4	0,325	0,327	0,350	0,319	0,330	0,014
L2-25	0,320	0,319	0,327	0,290	0,314	0,016
L7-14	0,256	0,230	0,272	0,239	0,249	0,019
L2-27	0,233	0,341	0,303	0,187	0,266	0,069
L1-3	0,018	0,026	0,030	0,029	0,026	0,006
L3-5	0,283	0,254	0,324	0,325	0,297	0,034
L2-26	0,098	0,111	0,124	0,111	0,111	0,011
L9-2	0,053	0,087	0,088	0,084	0,078	0,017
L2-28	0,180	0,123	0,112	0,120	0,134	0,031
L9-1	0,104	0,096	0,091	0,094	0,096	0,006
L3-15	0,034	0,048	0,064	0,049	0,049	0,012
L4-17	0,168	0,127	0,169	0,131	0,149	0,023
L5-7	0,256	0,205	0,217	0,211	0,222	0,023
L5-6	0,140	0,138	0,139	0,128	0,136	0,005
L3-3	0,075	0,086	0,099	0,099	0,090	0,011
L4-3	0,003	0,015	0,015	0,014	0,012	0,006

Fuente: Elaboración propia.

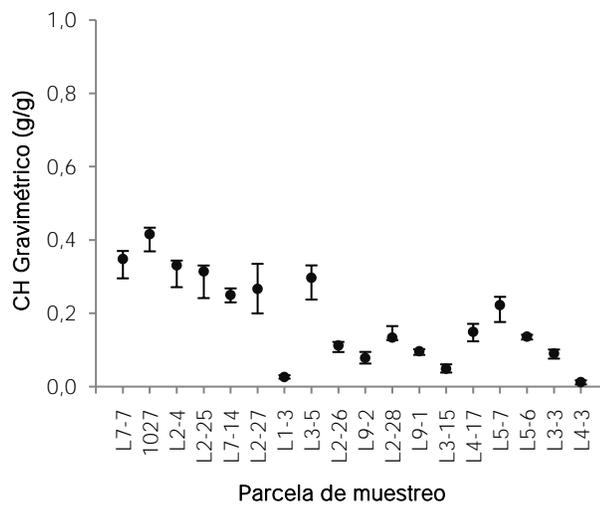
La Figura 5-1 corresponde al promedio del contenido de humedad gravimétrico obtenidos durante las cuatro campañas de muestreo, para cada uno de los 18 puntos de medición evaluados en el año 2017. Los puntos de muestreo están distribuidos de oeste a este. El gráfico muestra que el mayor contenido de humedad promedio se obtuvo en las parcelas ubicadas al oeste (1027, L7-7, L2-4 y L2-25), registrando valores que variaron entre 0,416 g/g a 0,314 g/g respectivamente. Los menores registros de contenido de



humedad se registraron en las parcelas de monitoreo L4-3, L1-3 y L3-15, las cuales presentan valores entre 0,012 g/g y 0,049 g/g. No se encontró una distribución espacial para los valores de humedad registrados.

El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos L2-27, L3-5 y L2-28, con desviaciones estándar entre 0,069 y 0,031 g/g respectivamente. Mientras que la mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo L5-6, L1-3, L9-1 y L4-3, cuyas desviaciones estándar fueron entre 0,005 g/g y 0,006 g/g respectivamente.

Figura 5-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SGS Chile Ltda. en las parcelas de monitoreo en cada campaña del año 2017.



Los gráficos muestran el promedio anual y la desviación estándar de las mediciones.
Fuente: Elaboración propia



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 2017.

Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas de 2017.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g)					
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	Promedio (g/g)	Desv. est.
L7-7	0,531	0,651	0,617	0,573	0,593	0,052
1027	0,785	0,818	0,781	0,707	0,773	0,047
L2-4	0,480	0,556	0,616	0,511	0,541	0,059
L2-25	0,477	0,507	0,460	0,621	0,516	0,072
L7-14	0,354	0,320	0,349	0,316	0,335	0,020
L2-27	0,460	0,533	0,548	0,406	0,487	0,066
L1-3	0,024	0,027	0,025	0,033	0,027	0,004
L3-5	0,378	0,429	0,485	0,510	0,451	0,059
L2-26	0,106	0,139	0,139	0,115	0,125	0,017
L9-2	0,067	0,100	0,095	0,095	0,089	0,015
L2-28	0,139	0,135	0,15	0,136	0,140	0,007
L9-1	0,125	0,112	0,118	0,102	0,114	0,010
L3-15	0,040	0,060	0,062	0,059	0,055	0,010
L4-17	0,217	0,160	0,18	0,169	0,182	0,025
L5-7	0,361	0,302	0,298	0,249	0,303	0,046
L5-6	0,167	0,162	0,167	0,151	0,162	0,008
L3-3	0,085	0,104	0,117	0,105	0,103	0,013
L4-3	0,006	0,018	0,017	0,016	0,014	0,006

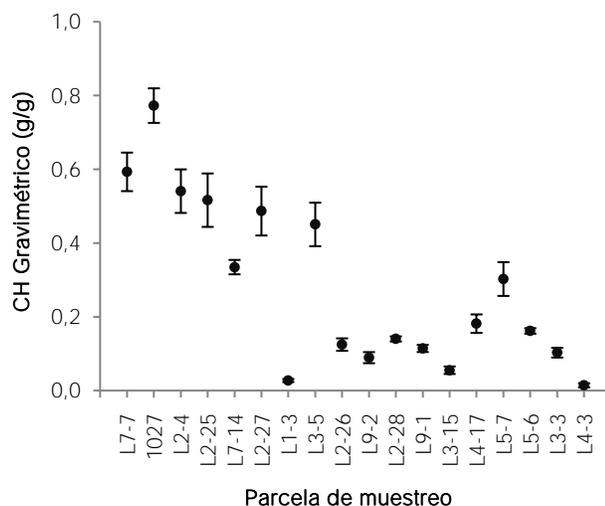
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5-1 corresponde al promedio del contenido de humedad gravimétrico obtenidos durante las cuatro campañas de muestreo, para cada uno de los 18 puntos de medición evaluados en el año 2017. Los puntos de muestreo están distribuidos de oeste a este. El gráfico muestra que el mayor contenido de humedad promedio se obtuvo en las parcelas ubicadas al oeste (1027, L7-7, L2-4 y L2-25), registrando valores que variaron entre 0,773 g/g a 0,516 g/g respectivamente. Los menores registros de contenido de humedad se registraron en las parcelas de monitoreo L4-3, L1-3 y L3-15, las cuales presentan valores entre 0,014 g/g a 0,089 g/g. No se encontró una distribución espacial para los valores de humedad registrados.

El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos L2-25, L2-27, L3-5 y L2-4, con desviaciones estándar entre 0,072 y 0,059 g/g respectivamente. Mientras que la mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo L1-3, L4-3, L2-28 y L5-6, cuyas desviaciones estándar fueron entre 0,004 g/g y 0,008 g/g respectivamente.



Figura 5-2. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2017.



Los gráficos muestran el promedio anual y la desviación estándar de las mediciones.

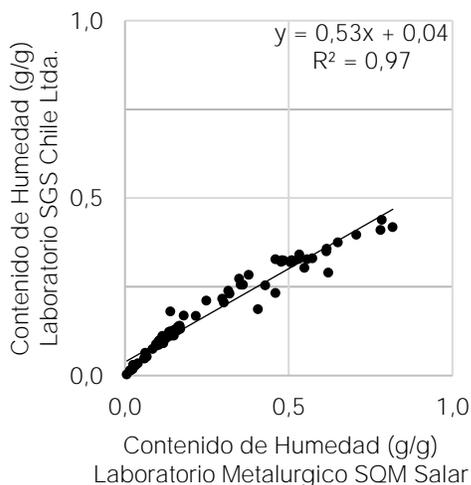
Fuente: Elaboración propia

5.1.3 **Relación de los valores reportados entre laboratorios**

La Figura 5-3 muestra los valores de contenido de humedad gravimétrica del suelo reportada por los laboratorios metalúrgico faena SQM Salar y SGS Chile Ltda. De acuerdo con los registros, el laboratorio SGS Chile Ltda. reportó valores más bajos de contenido de humedad de suelo que el laboratorio de SQM Salar ($R^2 = 0,97$). También se puede apreciar una magnitud similar de los valores de humedad de las muestras.

La causa de la variación del contenido de humedad de las muestras está relacionada con el tiempo que toma el proceso de transporte de las muestras antes de ser analizadas. En el caso de las muestras analizadas en el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar, este se ubica en el área industrial por lo que las muestras son recibidas e ingresadas en el mismo día que fueron colectadas, a diferencia de las muestras de SGS Chile Ltda, que son analizadas en Santiago. Se puede verificar en los certificados de laboratorio emitidos por SGS Chile que existe un periodo de tiempo de 3 días o más desde que la muestra fue colectada hasta que es ingresada para su análisis, periodo de tiempo que tiene un evidente efecto en la pérdida de humedad de la muestra. Se puede verificar en la Figura 5-3 que las diferencias pueden superar 0,2 g/g en las muestras con mayor contenido de humedad de acuerdo al laboratorio Metalúrgico SQM Salar-

Figura 5-3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrica obtenido por laboratorio SQM Salar y SGS Chile Ltda en el año 2017.



Fuente: Elaboración propia

5.2 Profundidad de la napa

La Tabla 5-3 muestra los resultados de las mediciones de profundidad de la napa en las cuatro campañas correspondientes al monitoreo del año 2017.

Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2017.

Pozos (oeste a este)	Profundidad napa (m)					
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	Promedio (m)	Desv. est.
L7-7	0,572	0,399	0,468	0,475	0,479	0,071
1027	0,503	0,504	0,453	0,443	0,476	0,032
L2-4	0,92	0,869	0,84	0,852	0,870	0,035
L2-25	0,543	0,525	0,527	0,527	0,531	0,008
L7-14	1,672	1,614	1,645	1,632	1,641	0,024
L2-27	1,033	1,067	0,878	0,857	0,959	0,107
L1-3	7,229	7,232	7,251	7,264	7,244	0,017
L3-5	0,053	0,055	-0,06	-0,067	-0,005	0,068
L2-26	3,925	3,906	3,962	3,939	3,933	0,024
L9-2	4,207	4,191	4,163	4,133	4,174	0,033
L2-28	3,274	3,301	3,215	3,191	3,245	0,051
L9-1	5,751	5,734	5,716	5,684	5,721	0,029
L3-15	3,662	3,672	3,659	3,669	3,666	0,006

Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2017.

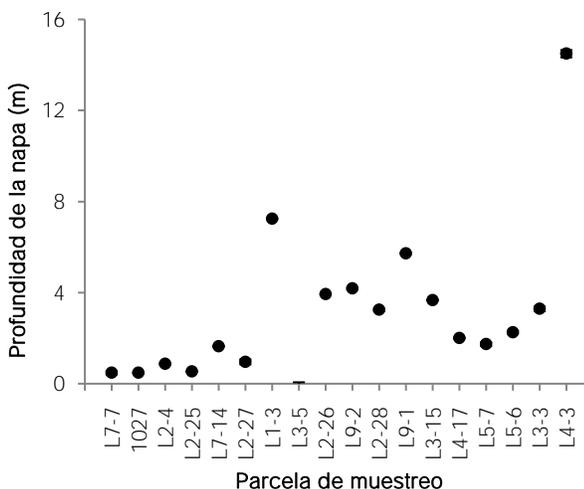
Pozos (oeste a este)	Profundidad napa (m)					
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	Promedio (m)	Desv. est.
L4-17	2,026	2,021	1,995	1,971	2,003	0,025
L5-7	1,803	1,811	1,673	1,657	1,736	0,082
L5-6	2,314	2,307	2,211	2,201	2,258	0,061
L3-3	3,416	3,315	3,201	3,212	3,286	0,101
L4-3	14,687	14,553	14,418	14,317	14,494	0,161

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5-4 se presenta la profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2017. Las parcelas de monitoreo L3-5 presentó la menor profundidad promedio de la napa con un valor de -0,005 m, lo que significa que la napa aumentó su nivel en 5 mm. En contraposición, la mayor profundidad promedio de la napa se observó en el pozo L4-3, llegando a 14,494 m, seguido por los pozos L1-3 (7,244 m) y L9-1 (5,721 m).

La profundidad de la napa en los puntos L4-3, L2-27 y L3-3 registraron la mayor variación a lo largo del año, presentando una desviación estándar entre 0,161 y 0,101 m. Mientras que la mayor homogeneidad de la profundidad de la napa durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo L3-15 L2-25 cuya desviación estándar fue de 0,06 y 0,08 m, respectivamente.

Figura 5-4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2017.



Los gráficos muestran el promedio anual y la desviación estándar de las mediciones.
Fuente: Elaboración propia



5.3 Relación Contenido de humedad y napa freática

La Figura 5-6 y Figura 5-9, muestran a continuación la relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por los Laboratorios metalúrgico faena SQM Salar y SGS Chile Ltda. con la profundidad de la napa en cada campaña de monitoreo del año 2017.

5.3.1 Laboratorio SGS Chile Ltda.

En los cuatro monitoreos del año 2017, y de acuerdo con lo esperado, se aprecia una relación exponencial inversa entre ambas propiedades, indicando que la profundidad de la napa tiene un efecto significativo sobre el contenido de humedad gravimétrico del suelo. La relación de ambas mediciones muestra que existe una relación R² que varía entre un mínimo de 0,81 observado en el monitoreo de abril a 0,88 observada en el monitoreo de enero.

Figura 5-5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SGS Chile Ltda. y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2017.

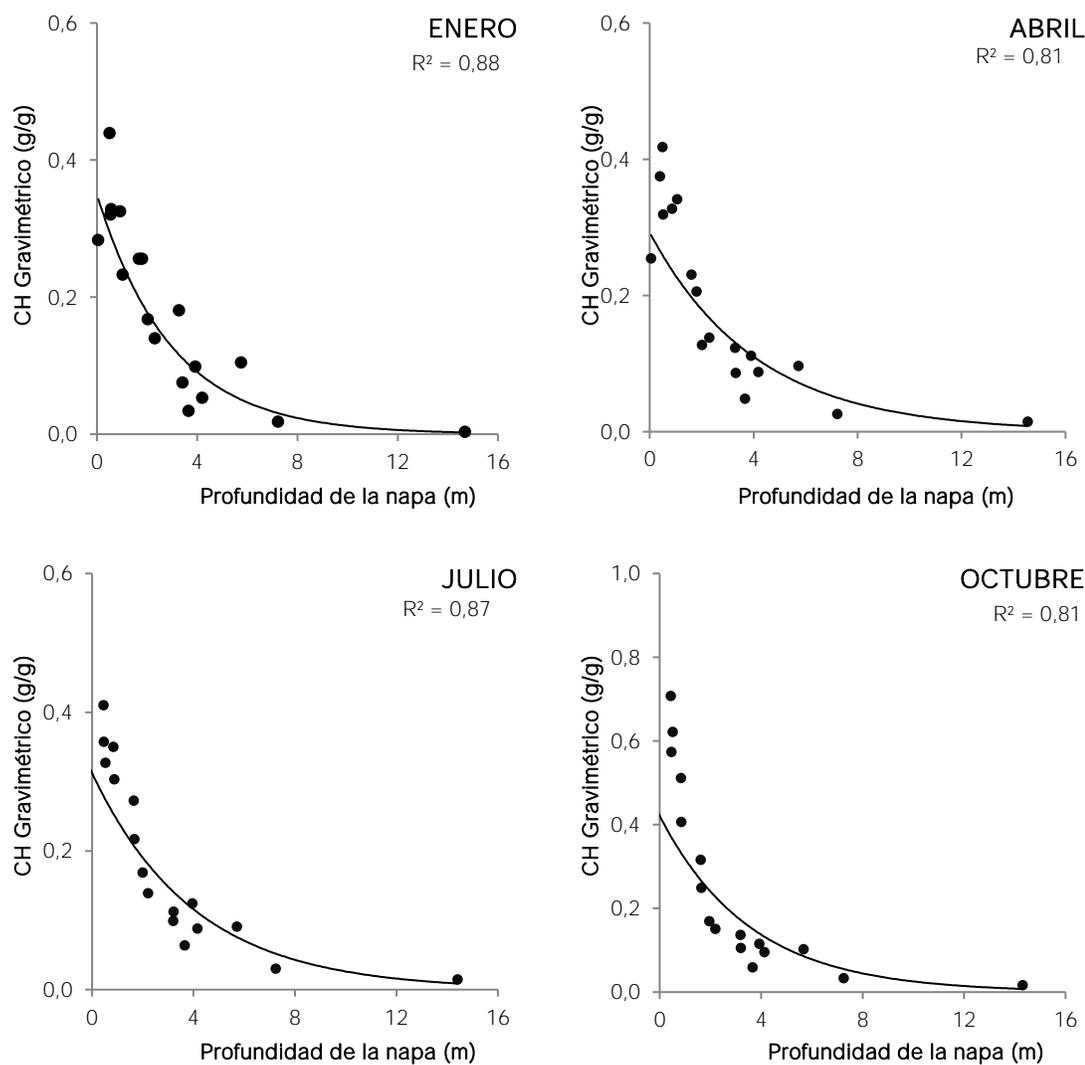


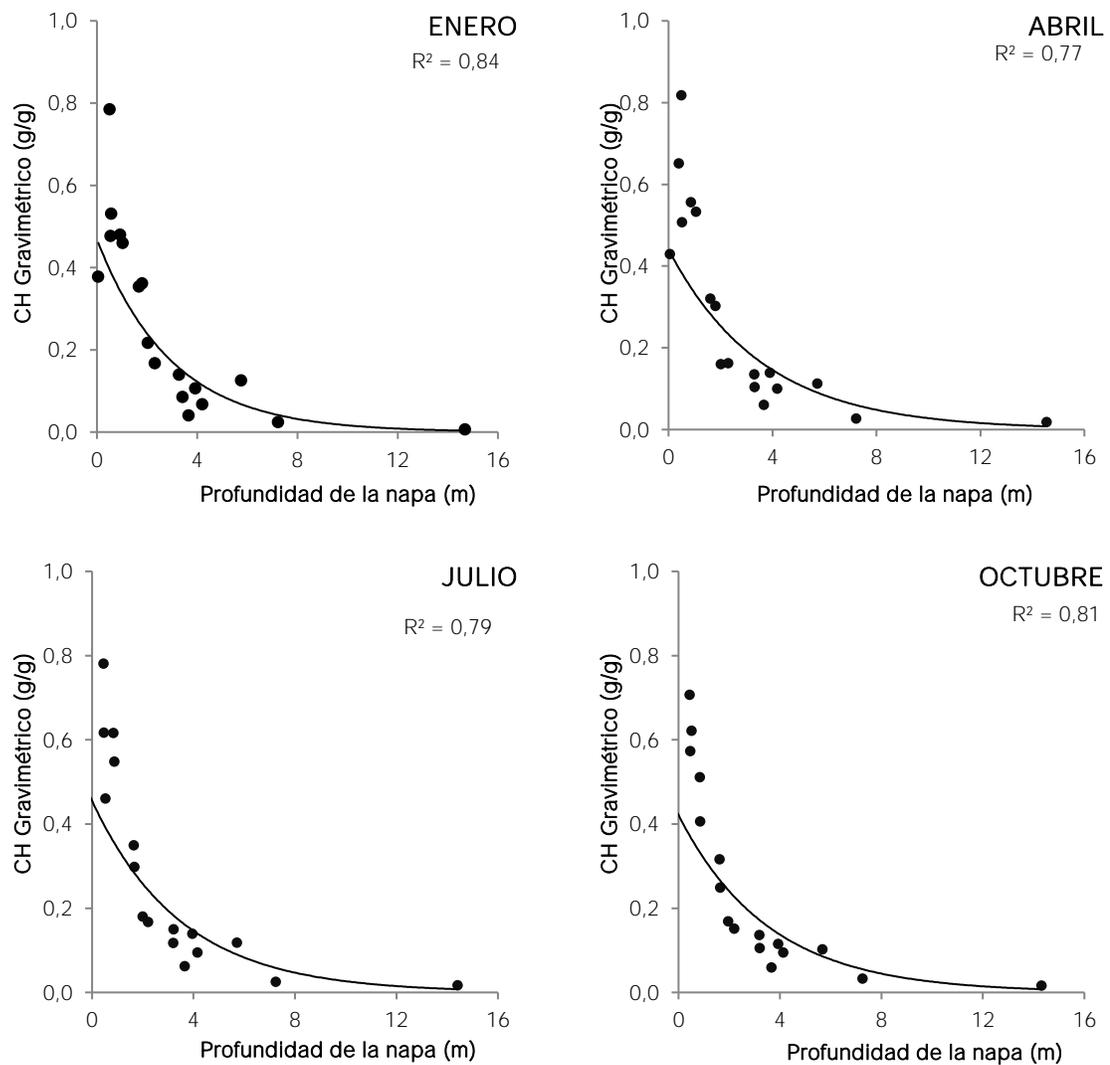
Figura 5-5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SGS Chile Ltda. y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2017.

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Laboratorio metalúrgico faena SQM Salar

En los cuatro monitoreos del año 2017 se aprecia una relación exponencial inversa entre ambas propiedades, indicando que la profundidad de la napa tiene un efecto significativo sobre el contenido de humedad gravimétrico del suelo. La relación de ambas mediciones muestra que existe una relación R^2 que varía entre un mínimo de 0,77 observado en el monitoreo de abril a 0,84 observada en el monitoreo de enero.

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 2017



Fuente: Elaboración propia



5.4 Estado vital de la vegetación

El seguimiento del estado vital de la vegetación se ha realizado en función del porcentaje de follaje verde, vigor y estado fenológico. La Tabla 5-4 muestra el listado de especies monitoreadas.

Tabla 5-4. Especies vegetales presentes en las 18 parcelas de monitoreo. Campañas del año 2017.

Nº	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>)

Fuente: Elaboración propia.

Si bien de acuerdo con la RCA N° 226/06, sólo está comprometido realizar dos monitoreos en el año de estado vital de la vegetación (enero y octubre), se realizan cuatro al año con el fin de aportar mayor cantidad de información para el análisis.

5.4.1 Fenología

Los resultados del monitoreo del estado fenológico de los ejemplares se presentan a continuación. Los detalles de cada punto de monitoreo se encuentran en el Anexo I - Estado vital de la vegetación.

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

Categoría	Número de individuos				%			
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE
Senescente	64	68	132	96	45,3	48,3	93,6	68,1
Crecimiento vegetativo	39	46	8	44	27,7	32,6	5,7	31,2
Crecimiento vegetativo y floración	32	26	0	1	22,7	18,4	0,0	0,7
Crecimiento vegetativo y fructificación	6	0	0	0	4,3	0,0	0,0	0,0
No aplica*	0	1	1	0	0,0	0,7	0,7	0,0
Total	141	141	141	141	100,0	100,0	100,0	100,0

* : Ejemplar de *D. spicata* no encontrado en parcela de monitoreo.

Fuente: Elaboración propia.

En el monitoreo realizado durante enero de 2017 se observó que un 27,7% de los individuos presentó estado fenológico de crecimiento vegetativo; el 22,7% tuvo crecimiento vegetativo con floración; un 4,3% crecimiento vegetativo y fructificación; y un 45,3% estaba en un estado fenológico senescente o recesivo.

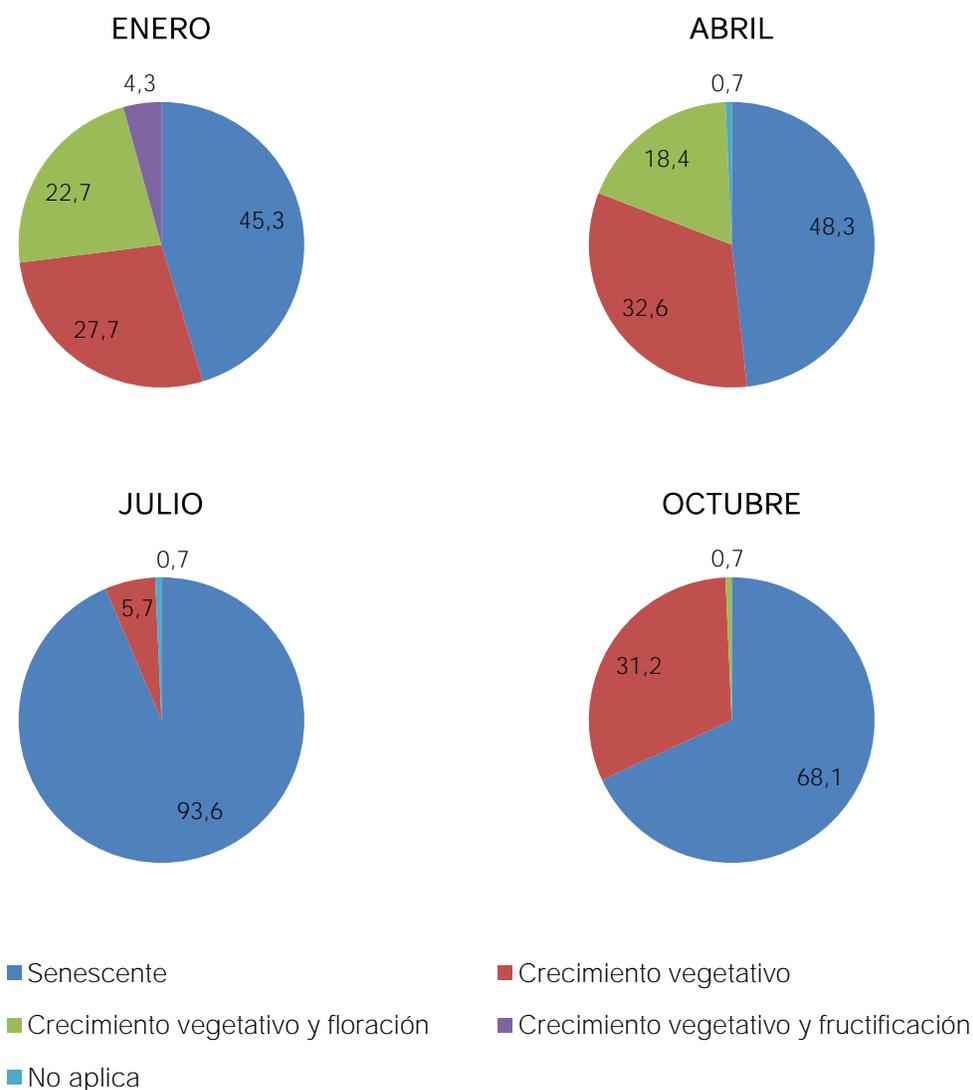
Para abril de 2017 se observó que un 32,6% de los individuos presentó estado fenológico de crecimiento vegetativo; el 18,4% tuvo crecimiento vegetativo con floración; ninguna planta presentó crecimiento vegetativo y fructificación; y un 48,3% estaba en un estado fenológico senescente o recesivo. Hubo un ejemplar (0,7%) no encontrado en las parcelas de monitoreo.



En julio de 2017 se aprecia un cambio en las proporciones de individuos por fase fenológica respecto del monitoreo de abril. El 93,6% de los individuos ha iniciado la fase fenológica recesiva invernal o senescente; mientras que el 5,7% de los ejemplares tuvo crecimiento vegetativo; ninguno de los ejemplares tuvo crecimiento vegetativo y floración, ni se han detectado ejemplares produciendo frutos. El resultado indica que durante los dos primeros monitoreos (enero y abril) ocurre la máxima expresión fenológica de los individuos, comenzando antes del monitoreo de julio la etapa senescente o recesiva de las plantas. Hubo un ejemplar (0,7%) no encontrado en las parcelas de monitoreo.

Para octubre de 2017, se inicia el crecimiento vegetativo de los ejemplares, reduciéndose la cantidad de individuos en estado fenológico en receso invernal o senescencia al 68,1%; aumentando a 31,2% la cantidad de individuos con crecimiento vegetativo. En este periodo se inicia la formación de nuevas estructuras, observando su máxima expresión en los monitoreos posteriores, presentándose sólo un 0,7% de los individuos en crecimiento vegetativo y floración.

Figura 5-7. Proporción (%) de individuos por categoría de Fenología en las campañas del año 2017



Fuente: Elaboración propia



5.4.2 Vigor

Los resultados del monitoreo al vigor de los ejemplares se presentan a continuación. 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 vigor.

Categoría	Individuos				%			
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE
Seca	64	68	130	95	45,4	48,3	92,2	67,4
Muy débil	0	0	1	3	0,0	0,0	0,7	2,1
Débil	10	27	3	6	7,1	19,1	2,1	4,3
Crecimiento normal	64	44	6	35	45,4	31,2	4,3	24,8
Vigoroso	3	1	0	2	2,1	0,7	0,0	1,4
No aplica	0	1*	1*	0	0,0	0,7*	0,7*	0,0
Total	141	141	141	141	100,0	100,0	100,0	100,0

* : Ejemplar de *D. spicata* no encontrado en parcela de monitoreo.
Fuente: Elaboración propia.

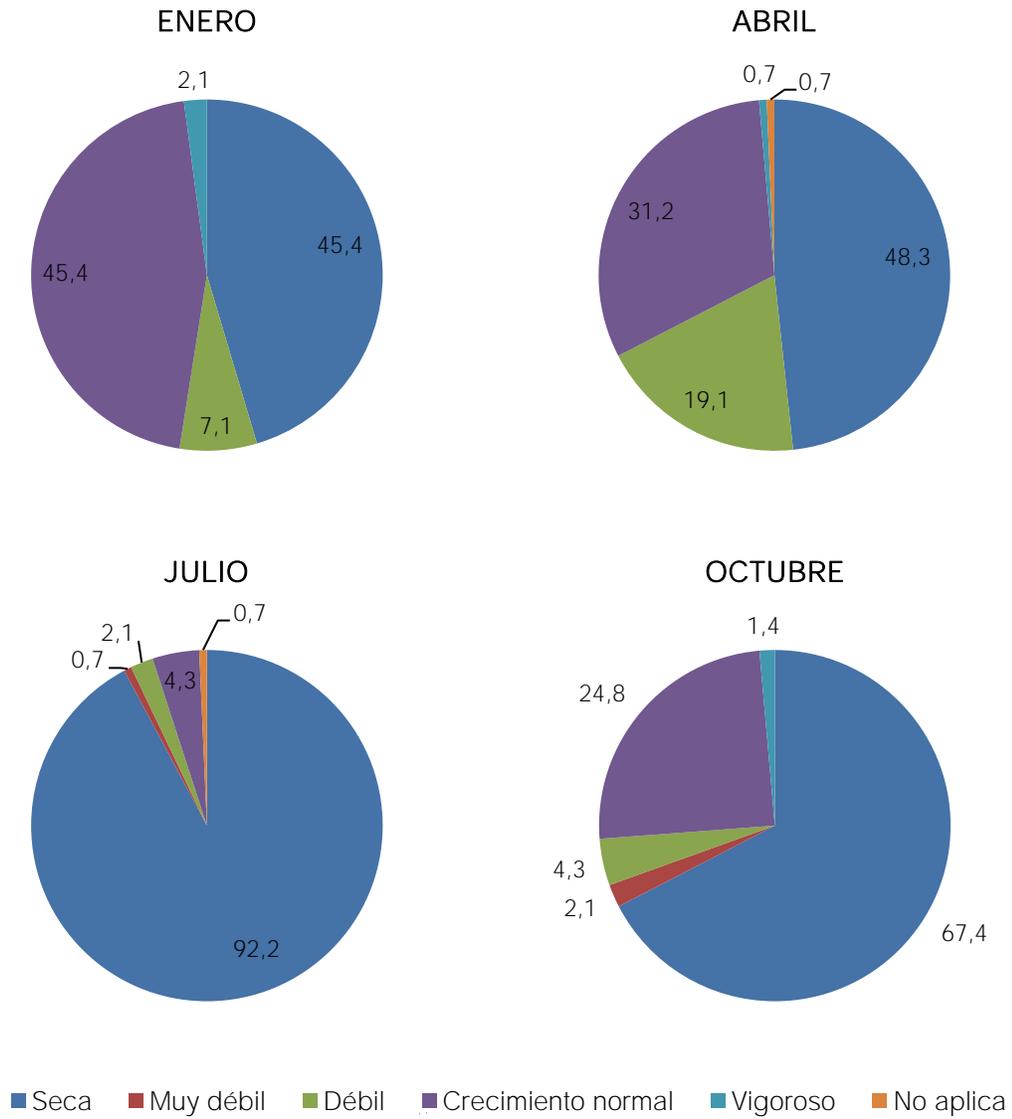
En enero de 2017 se identificaron dos grandes grupos de vigor, correspondiendo el 45,4% a crecimiento normal y el 45,4% a vegetación seca.

En abril de 2017 observó una disminución respecto al monitoreo previo de la categoría crecimiento normal, presentando un 31,2% de individuos y el 48,3% fue clasificada en un estado recesivo o senescente.

En julio de 2017 no se mantuvo una distribución de la vitalidad similar a la observada en el monitoreo previo, ya que la categoría crecimiento normal bajo a un 4,3% de individuos, y se registró un 92,2% a la categoría seca. Las restantes categorías fueron un 2,1% de individuos con vigor débil y un 0,7% de ejemplares con vigor muy débil.

Para octubre de 2017 se ha descrito a más de la mitad (67,4%) de los ejemplares en estado recesivo. La categoría Crecimiento normal agrupó al 24,8% de los individuos.

Figura 5-8. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de 2017



Fuente: Elaboración propia



5.4.3 Porcentaje de follaje verde

Los resultados del monitoreo al porcentaje de follaje verde de los ejemplares se presentan a continuación. Los detalles de cada punto de monitoreo se encuentran en el Anexo I Estado vital de la vegetación.

Tabla 5-7. Resumen de individuos por categoría de copa verde.

Categoría	Individuos				%			
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE
0%	64	68	130	95	45,4	48,2	92,3	67,4
<5%	5	6	1	3	3,5	4,3	0,7	2,1
5-25%	22	40	5	6	15,6	28,4	3,5	4,3
25-50%	32	23	2	35	22,7	16,3	1,4	24,8
50-75%	17	2	1	2	12,1	1,4	0,7	1,4
75-100	1	1	1	0	0,7	0,7	0,7	0,0
No aplica	0	1	1	0	0,0	0,7	0,7	0,0
Total	141	141	141	141	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia.

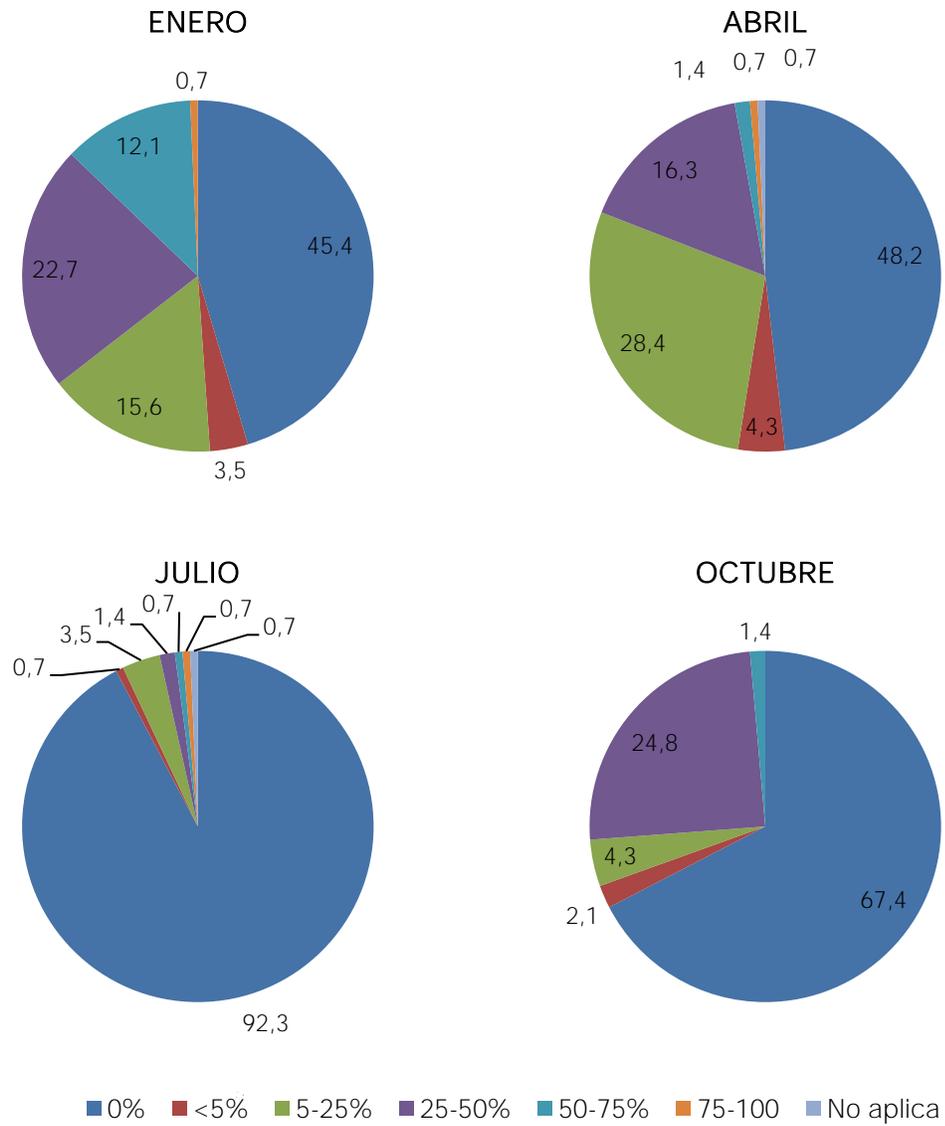
En el monitoreo de enero de 2017 el 45,4% de la vegetación no presentó copa verde. De los ejemplares restantes, el 22,7% presentó copa verde entre 25 a 50%; el 15,6% tuvo copa verde de 5 a 25%; el 12,1% varió entre 50 a 75%. El 3,5% de los individuos se distribuyó en la categoría <5%. La categoría 75 a 100% reportó al 0,7% de ejemplares.

Para el monitoreo de abril de 2017, el mayor porcentaje de individuos lo presenta la categoría sin copa verde, con un 48,2%; se registraron un 28,4% de los individuos en la categoría 5 a 25% y un 16,3% en la categoría 25 a 50%.

Para el monitoreo de julio de 2017 la mayor concentración de ejemplares tuvo una copa verde de un 0%, presentando un 92,3% de los individuos, la categoría 5-25% registró un 3,5% de individuos. Las restantes categorías presentan porcentajes menores 1,4% de individuos.

Para el monitoreo de octubre de 2017, se presentó la mayor concentración de ejemplares correspondiente a la categoría 0% de copa verde con el 67,4% de los individuos, le sigue la categoría 25 a 50% con el 24,8% de los individuos y un 4,3% en la categoría 5 a 25%.

Figura 5-9. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en 2017



Fuente: Elaboración propia



6. DISCUSIONES

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 por parcela de monitoreo para ambos laboratorios que efectuaron la medición en el presente año. En los gráficos se reportan los valores promedio de los años de evaluación y las barras representan la desviación estándar.

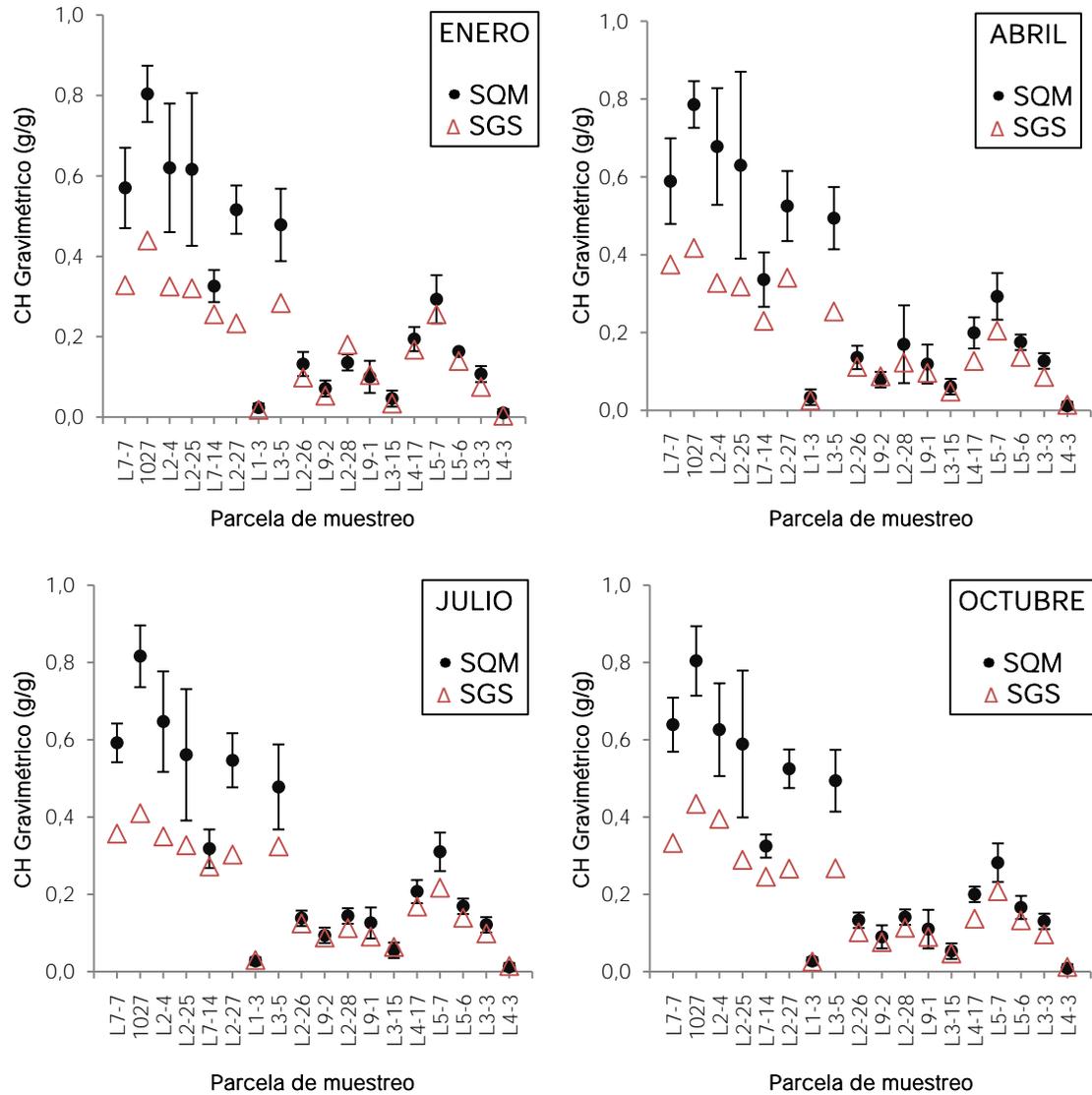
En los gráficos presentados se evidencia que los valores reportados por los laboratorios mantienen las diferencias señaladas anteriormente en la sección 5.1.3. SGS Chile Ltda reporta valores inferiores a los valores históricos del Laboratorio Metalúrgico de SQM. La diferencia es mayor en las muestras que tienen mayor humedad, diferencia producida principalmente por la pérdida de humedad que se produce en el período de tiempo que transcurre antes de ser analizada en el laboratorio.

Respecto de los valores históricos de los datos, se aprecia que las parcelas ubicadas al oeste (es decir, cercanas al eje de las coordenadas Y) son las que han tenido mayor variación en su contenido de humedad para todos los meses en los cuales se ha realizado la medición (Figura 6-1). La amplitud de la desviación estándar permite identificar que las parcelas L7-7, L2-4, L2-25, L3-5 y L2-28 son las que ha variado en mayor grado sus valores de contenido de humedad, presentando en algún mes una desviación estándar superior a 0,1 g/g. Cabe mencionar que el grupo de parcelas de menor contenido de humedad, han sido las más estables en el tiempo.

En las Tabla 6-1 a Tabla 6-4 se presentan los resultados de los monitoreos de contenido de humedad gravimétrico realizados para cada uno de los años de seguimiento. El monitoreo de enero de 2007 no es presentada 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 2017



Puntos señalan el promedio y barras de representan la desviación estandar de las mediciones.
 Valores reportados por SGS para los monitoreos de enero, abril y julio corresponden a la primera medición reportada por el laboratorio.
 Valores reportados por SGS para el monitoreo de octubre corresponde al promedio de la medición 2016 y 2017.
 Fuente: Elaboración propia.



Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo para el monitoreo de enero durante el periodo 2008 a 2017.

Parcela de Monitoreo	Laboratorio Metalúrgico SQM Salar										Contenido de humedad promedio (g/g)	Laboratorio SGS Chile Ltda
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		2017
L7-7	0,798	0,723	0,499	0,487	0,537	0,559	0,512	0,550	0,501	0,531	0,574 (± 0,11)	0,328
1027	0,894	0,908	0,731	0,798	0,780	0,876	0,700	0,734	0,830	0,785	0,806 (± 0,08)	0,439
L2-4	0,614	0,524	0,997	0,769	0,461	0,622	0,631	0,549	0,555	0,480	0,636 (± 0,16)	0,325
L2-25	0,935	0,707	0,625	0,828	0,397	0,792	0,505	0,426	0,465	0,477	0,631 (± 0,19)	0,320
L7-14	0,247	0,263	0,384	0,354	0,353	0,364	0,300	0,316	0,324	0,354	0,323 (± 0,05)	0,256
L2-27	0,480	0,501	0,622	0,578	0,487	0,555	0,469	0,464	0,546	0,460	0,522 (± 0,06)	0,233
L1-3	0,013	0,007	0,024	0,022	0,021	0,033	0,030	0,029	0,033	0,024	0,024 (± 0,01)	0,018
L3-5	0,381	0,385	0,603	0,554	0,418	0,56	0,553	0,480	0,466	0,378	0,489 (± 0,08)	0,283
L2-26	0,127	0,104	0,202	0,184	0,119	0,105	0,114	0,114	0,140	0,106	0,134 (± 0,04)	0,098
L9-2	0,072	0,069	0,092	0,044	0,041	0,085	0,065	0,090	0,087	0,067	0,072 (± 0,02)	0,053
L2-28	0,149	0,151	0,177	0,146	0,148	0,085	0,121	0,122	0,126	0,139	0,136 (± 0,03)	0,180
L9-1	0,105	0,031	0,170	0,096	0,049	0,114	0,087	0,118	0,102	0,125	0,097 (± 0,04)	0,104
L3-15	0,031	0,014	0,023	0,043	0,055	0,085	0,061	0,057	0,050	0,040	0,047 (± 0,02)	0,034
L4-17	0,224	0,209	0,225	0,208	0,19	0,225	0,162	0,143	0,137	0,217	0,191 (± 0,04)	0,168
L5-7	0,233	0,230	0,356	0,299	0,239	0,339	0,213	0,329	0,336	0,361	0,286 (± 0,06)	0,256
L5-6	0,170	0,166	0,16	0,162	0,158	0,163	0,163	0,155	0,166	0,167	0,163 (± 0)	0,140
L3-3	0,103	0,063	0,116	0,122	0,128	0,112	0,135	0,092	0,112	0,085	0,109 (± 0,02)	0,075
L4-3	0,005	0,003	0,008	0,003	0,001	0,044	0,005	0,003	0,017	0,006	0,01 (± 0,01)	0,003

¹ Desviación estándar entre paréntesis.

² El 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%).

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

Fuente: Elaboración propia



Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo para el monitoreo de abril, durante el periodo 2007 a 2017.

Parcela de monitoreo	Laboratorio Metalúrgico SQM Salar											Contenido de humedad promedio (g/g)	Laboratorio SGS Chile Ltda
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		2017
L7-7	0,453	0,644	0,872	0,623	0,533	0,560	0,533	0,548	0,551	0,515	0,651	0,583 (± 0,11)	0,375
1027	0,753	0,798	0,666	0,849	0,858	0,840	0,831	0,732	0,718	0,778	0,818	0,782 (± 0,06)	0,418
L2-4	0,838	0,795	0,929	0,845	0,529	0,707	0,618	0,475	0,628	0,534	0,556	0,690 (± 0,16)	0,327
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	0,594 (± 0,21)	0,319
L7-14	0,217	0,258	0,362	0,381	0,491	0,379	0,327	0,344	0,331	0,289	0,320	0,338 (± 0,08)	0,230
L2-27	0,496	0,509	0,766	0,552	0,502	0,582	0,458	0,445	0,451	0,479	0,533	0,524 (± 0,1)	0,341
L1-3	0,04	0,029	0,019	0,086	0,017	0,035	0,028	0,037	0,027	0,028	0,027	0,035 (± 0,02)	0,026
L3-5	0,524	0,403	0,628	0,540	0,626	0,502	0,443	0,419	0,424	0,500	0,429	0,501 (± 0,08)	0,254
L2-26	0,183	0,131	0,156	0,171	0,104	0,138	0,128	0,129	0,114	0,106	0,139	0,136 (± 0,03)	0,111
L9-2	0,097	0,107	0,068	0,058	0,037	0,088	0,066	(*) ³	0,091	0,082	0,100	0,077 (± 0,02)	0,087
L2-28	0,183	0,157	0,167	0,137	0,104	0,166	0,106	0,117	0,143	0,455	0,135	0,174 (± 0,10)	0,123
L9-1	0,115	0,056	0,178	0,147	0,051	0,086	0,128	0,210	0,118	0,106	0,112	0,120 (± 0,05)	0,096
L3-15	0,066	0,052	0,039	0,052	0,067	0,096	0,084	0,051	0,054	0,050	0,060	0,061 (± 0,02)	0,048
L4-17	0,242	0,211	0,263	0,238	0,163	0,197	0,162	0,190	0,177	0,183	0,160	0,203 (± 0,03)	0,127
L5-7	0,338	0,259	0,244	0,448	0,238	0,280	0,313	0,238	0,242	0,317	0,302	0,292 (± 0,07)	0,205
L5-6	0,198	0,180	0,163	0,179	0,187	0,158	0,165	0,162	0,202	0,165	0,162	0,176 (± 0,02)	0,138
L3-3	0,133	0,132	0,121	0,111	0,106	0,168	0,124	0,135	0,157	0,102	0,104	0,129 (± 0,02)	0,086
L4-3	0,004	0,004	0,009	0,007	0,010	0,017	0,009	0,007	0,033	0,013	0,018	0,011 (± 0,01)	0,015

¹ Desviación estándar entre paréntesis.

² El 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%).

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

Fuente: Elaboración propia



Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo para el monitoreo de julio, durante el periodo 2007 a 2017.

Parcela de monitoreo	Laboratorio Metalúrgico SQM Salar											Contenido de humedad promedio (g/g) ¹	Laboratorio SGS Chile Ltda
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		2017
L7-7	S/l ²	0,577	0,693	0,601	0,530	0,619	0,608	0,563	0,594	0,519	0,617	0,589 (± 0,05)	0,357
1027	0,806	0,913	0,857	0,767	0,802	0,799	0,925	0,694	0,909	0,728	0,781	0,820 (± 0,08)	0,410
L2-4	0,759	0,484	0,868	0,864	0,534	0,673	0,617	0,551	0,638	0,516	0,616	0,650 (± 0,14)	0,350
L2-25	0,987	0,583	0,642	0,740	0,446	0,545	0,458	0,457	0,455	0,397	0,460	0,571 (± 0,18)	0,327
L7-14	0,237	0,279	0,332	0,365	0,230	0,383	0,334	0,337	0,337	0,312	0,349	0,315 (± 0,05)	0,272
L2-27	0,568	0,509	0,546	0,637	0,490	N/M ³	0,697	0,519	0,465	0,493	0,548	0,547 (± 0,08)	0,303
L1-3	0,024	0,031	0,022	0,024	0,022	0,026	0,038	0,033	0,029	0,022	0,025	0,027 (± 0,01)	0,030
L3-5	S/l ²	0,410	0,304	0,691	0,419	0,519	0,549	0,390	0,541	0,470	0,485	0,477 (± 0,11)	0,324
L2-26	S/l ²	0,160	0,156	0,190	0,122	0,136	0,133	0,119	0,119	0,106	0,139	0,138 (± 0,03)	0,124
L9-2	0,12	0,069	0,129	0,122	0,071	0,111	0,085	0,071	0,087	0,076	0,095	0,094 (± 0,02)	0,088
L2-28	S/l ²	0,159	0,168	0,149	0,14	0,164	0,137	0,129	0,128	0,119	0,15	0,144 (± 0,02)	0,112
L9-1	0,094	0,093	0,228	0,169	0,138	0,112	0,139	0,090	0,103	0,098	0,118	0,126 (± 0,04)	0,091
L3-15	S/l ²	0,050	0,031	0,044	0,031	0,091	0,077	0,064	0,052	0,050	0,062	0,054 (± 0,02)	0,064
L4-17	S/l ²	0,208	0,202	0,262	0,25	0,213	0,214	0,183	0,179	0,179	0,18	0,210 (± 0,03)	0,169
L5-7	0,272	0,263	0,388	0,377	0,282	0,339	0,363	0,222	0,318	0,284	0,298	0,311 (± 0,05)	0,217
L5-6	0,183	0,175	0,177	0,186	0,185	0,098	0,171	0,178	0,167	0,174	0,167	0,169 (± 0,03)	0,139
L3-3	0,097	0,109	0,142	0,150	0,102	0,146	0,106	0,109	0,144	0,113	0,117	0,122 (± 0,02)	0,099
L4-3	0,004	0,015	0,010	0,008	0,005	0,017	0,009	0,005	0,029	0,015	0,017	0,012 (± 0,01)	0,015

¹ Desviación estándar entre paréntesis.

² Este valor fue descartado del análisis por considerarse un valor outlier (atípico) que induce error al análisis.

³ Este punto no pudo ser muestreado por encontrarse interrumpido el camino de acceso.

Fuente: Elaboración propia



Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo para el monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2017.

Parcela de monitoreo	Laboratorio Metalúrgico SQM Salar											Contenido de humedad promedio (g/g) ¹	Laboratorio SGS Chile Ltda		Contenido de humedad promedio (g/g) ²
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		2016	2017	
L7-7	0,713	0,609	0,694	0,751	0,664	0,644	0,649	0,632	0,529	0,570	0,573	0,639 (± 0,07)	0,336	0,330	0,333
1027	0,776	0,958	0,673	0,763	0,826	0,838	0,817	0,712	0,856	0,915	0,707	0,804 (± 0,09)	0,471	0,397	0,434
L2-4	0,731	0,648	0,878	0,547	0,527	0,611	0,534	0,526	0,748	0,624	0,511	0,626 (± 0,12)	0,471	0,319	0,395
L2-25	0,974	0,712	0,556	0,41	0,386	0,852	0,478	0,512	0,482	0,491	0,621	0,589 (± 0,19)	0,288	0,290	0,289
L7-14	0,275	0,272	0,358	0,344	0,337	0,348	0,344	0,321	0,332	0,326	0,316	0,325 (± 0,03)	0,251	0,239	0,245
L2-27	0,515	0,520	0,545	0,512	0,540	0,610	0,578	0,539	0,481	0,529	0,406	0,525 (± 0,05)	0,345	0,187	0,266
L1-3	0,012	0,024	0,03	0,02	0,018	0,031	0,042	0,039	0,025	0,027	0,033	0,027 (± 0,01)	0,022	0,029	0,026
L3-5	0,525	0,348	0,681	0,481	0,498	0,527	0,49	0,465	0,471	0,435	0,510	0,494 (± 0,08)	0,209	0,325	0,267
L2-26	0,142	0,134	0,153	0,169	0,146	0,123	0,115	0,124	0,134	0,111	0,115	0,133 (± 0,02)	0,092	0,111	0,102
L9-2	0,141	0,126	0,102	0,06	0,053	0,101	0,078	0,075	0,086	0,075	0,095	0,09 (± 0,03)	0,069	0,084	0,076
L2-28	0,131	0,165	0,178	0,124	0,134	0,151	0,138	0,138	0,140	0,114	0,136	0,141 (± 0,02)	0,107	0,120	0,113
L9-1	0,075	0,093	0,224	0,102	0,124	0,113	0,136	0,040	0,098	0,101	0,102	0,110 (± 0,05)	0,086	0,094	0,090
L3-15	0,078	0,031	0,043	0,040	0,035	0,059	0,06	0,076	0,048	0,049	0,059	0,053 (± 0,02)	0,044	0,049	0,047
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 (± 0,02)	0,143	0,131	0,137
L5-7	0,349	0,239	0,416	0,260	0,251	0,290	0,252	0,286	0,258	0,254	0,249	0,282 (± 0,05)	0,205	0,211	0,208
L5-6	0,215	0,195	0,159	0,088	0,183	0,175	0,161	0,163	0,171	0,164	0,151	0,166 (± 0,03)	0,137	0,128	0,133
L3-3	0,166	0,134	0,138	0,136	0,098	0,132	0,128	0,129	0,151	0,114	0,105	0,130 (± 0,02)	0,092	0,099	0,096
L4-3	0,005	0,003	0,006	0,007	0,003	0,011	0,008	0,005	0,022	0,011	0,016	0,009 (± 0,01)	0,009	0,014	0,012

1 : Desviación estándar entre paréntesis.

2 : Dado que se dispone de datos sólo para dos años no se presenta desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia



En la Figura 6-2 se detalla la tendencia 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 destacó en las Figura 6-1, correspondientes a las parcelas L7-7, L2-4, L2-25, L3-5 y L2-28.

- Parcela 7-7: se observa que las tendencias de los valores de contenido de humedad se han estabilizado en el tiempo, la amplitud de la desviación estándar se produce principalmente por los valores reportados en el año 2009.
Por otra parte, de acuerdo con los valores reportados por el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar, al comparar el contenido de humedad inicial (2007) cuyo promedio fue 0,58 g/g ($\pm 0,18$), con el contenido de humedad observado en el presente año de 0,593 ($\pm 0,05$), se evidencia un ligero incremento del promedio anual. Cabe mencionar que el promedio anual (2017) reportado por SGS es de 0,348 g/g ($\pm 0,022$).
- Parcela 2-4: 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.
Respecto de los valores reportados por el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar, se identifica una diferencia respecto del monitoreo inicial (2007), donde el contenido de humedad fue de 0,78 g/g ($\pm 0,06$) y para el año 2017 su promedio fue de 0,541 ($\pm 0,06$).
- Parcela 2-25: se identifica que los valores de contenido de humedad muestran un incremento en su promedio, el cual inicia en 2015. Aun así, en esta parcela se identifica una diferencia respecto del monitoreo inicial (2007), donde el contenido de humedad fue de 0,78 g/g ($\pm 0,06$) y para el año 2017 su promedio es menor, reportando valores de 0,516 ($\pm 0,07$).
- Parcela 3-5: se identifica que la amplitud de la desviación estándar del contenido de humedad es producida por los valores reportados entre los años 2009 y 2010, donde se identifican diferencias de hasta 0,2 g/g. En esta parcela actualmente el contenido de humedad se ha mantenido estable. Se identifica una diferencia respecto del monitoreo inicial (2007), donde el contenido de humedad fue de 0,52 g/g ($\pm 0,0$) y para el año 2017 su promedio fue de 0,451 ($\pm 0,06$).
- Parcela 2-28: esta parcela muestra una tendencia estable en su contenido de humedad. La amplitud de su desviación es explicada sólo por los valores registrados en 2016. En esta parcela el valor promedio registrado en el monitoreo inicial (2007) fue de 0,16 g/g ($\pm 0,04$) y para el año 2017 su promedio fue de 0,14 ($\pm 0,01$).



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 2017.

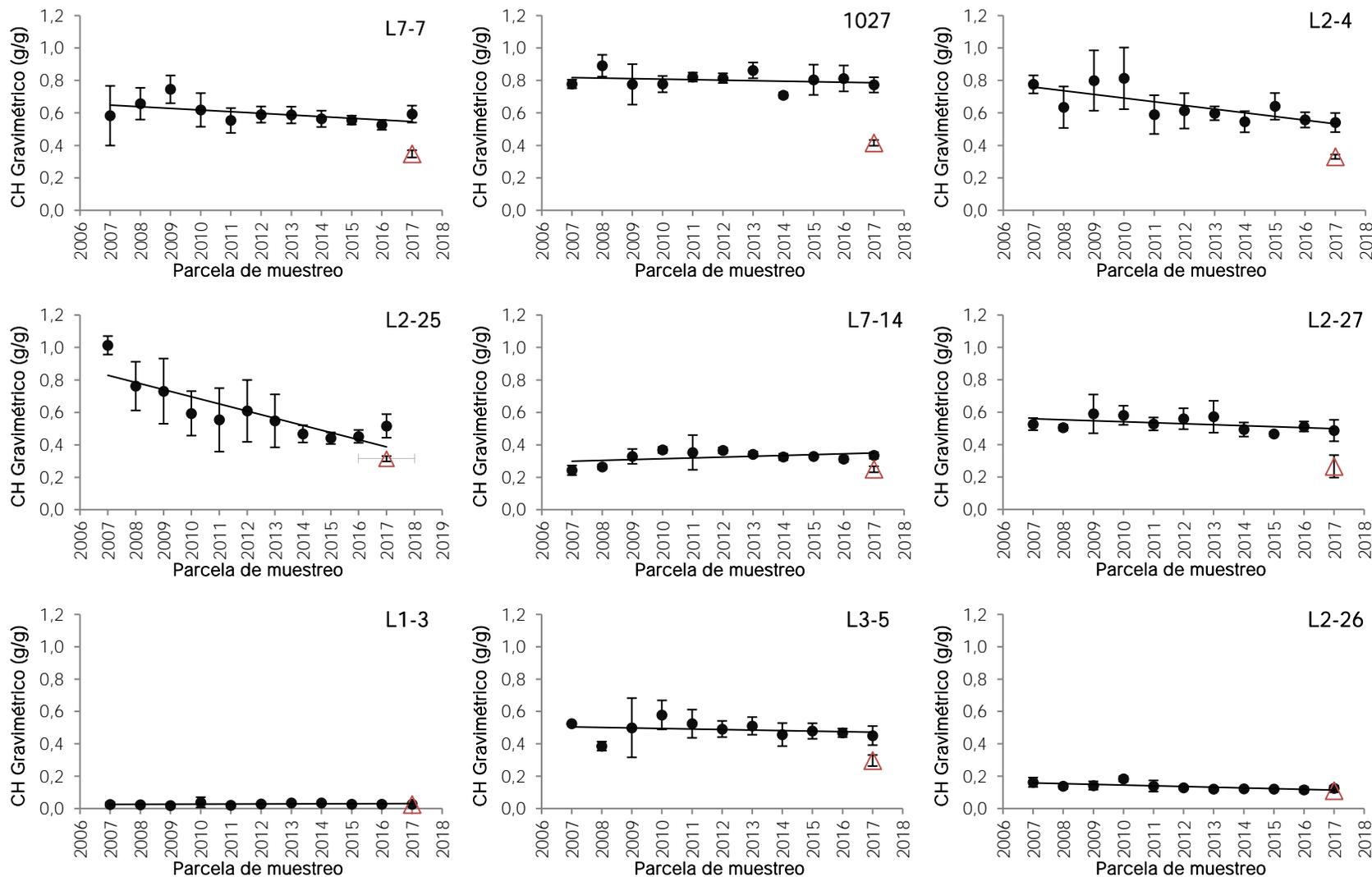
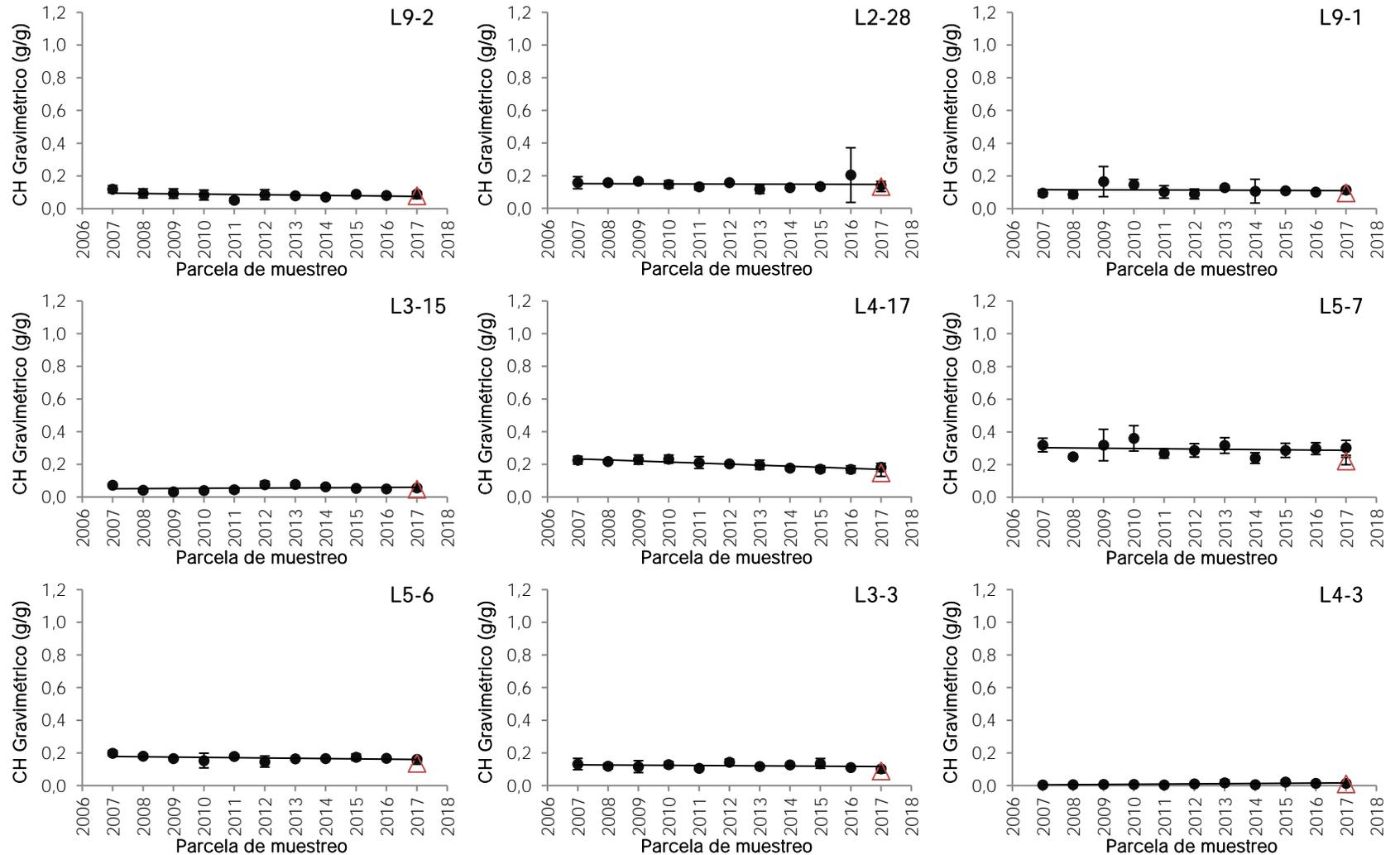


Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2017.



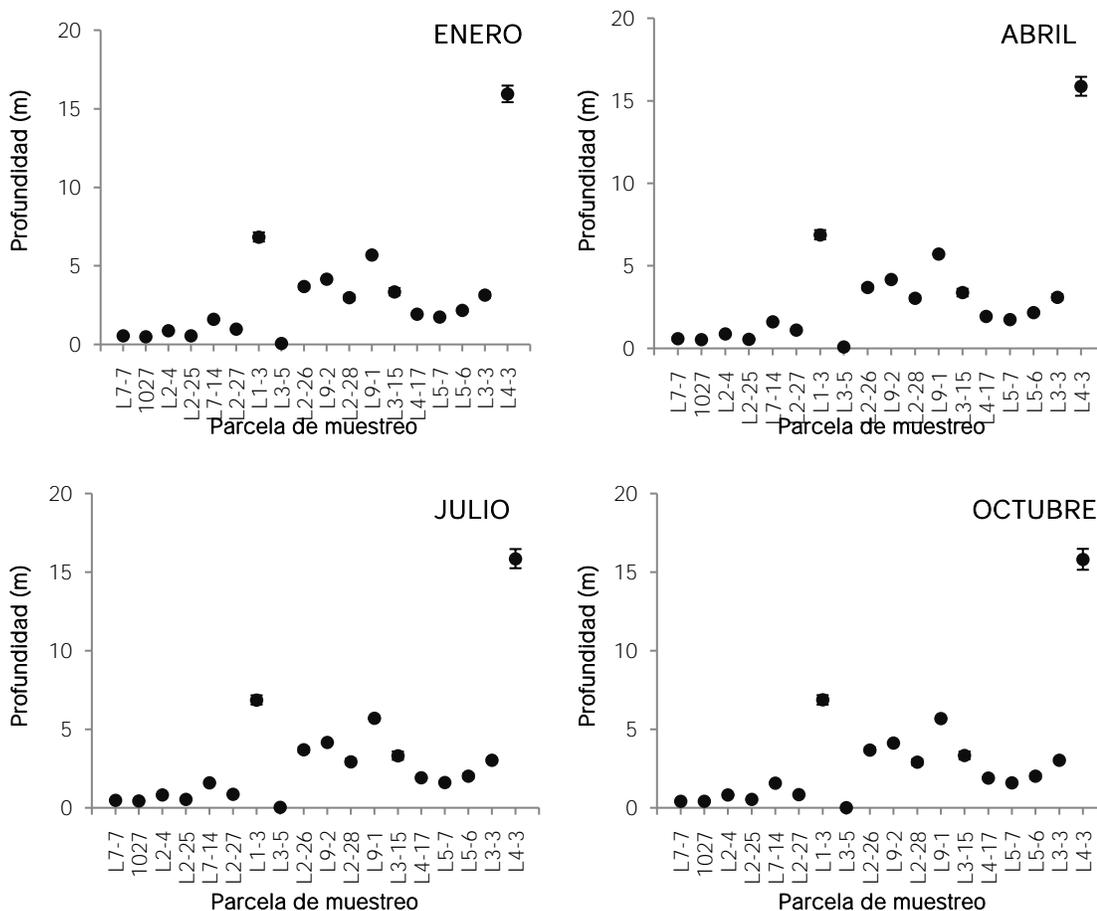
• SQM Δ SGS
Fuente: Elaboración propia.

6.2 Variación de la profundidad de la napa en el tiempo

Los resultados históricos de profundidad de la napa se presentan en la Tabla 6-5 a Tabla 6-8, 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 ese año. Se aclara que el monitoreo inició una vez que los pozos fueron habilitados, comenzando en julio de 2007.

Los resultados demuestran que la variabilidad de los pozos ha sido baja, identificándose a los pozos L1-3, L3-15 y L4-3, como aquellos con mayor desviación estándar, en todos los meses de monitoreo. Cabe mencionar que 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. El evento fue reportado en el primer informe de monitoreo.

Figura 6-3. Variación de la profundidad de la napa, por parcela de monitoreo, periodo 2007 a 2017.



Fuente: Elaboración propia



Tabla 6-5. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de enero durante el periodo 2008 a 2017.

Parcela de monitoreo	Año										Profundidad promedio (m)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
L7-7	0,521	0,507	0,536	0,491	0,550	0,590	0,577	0,548	0,618	0,572	0,551 (± 0,039)
1027	0,479	0,475	0,499	0,461	0,490	0,523	0,519	0,532	0,542	0,503	0,502 (± 0,027)
L2-4	0,855	0,855	0,884	0,868	0,887	0,888	0,883	0,916	0,911	0,920	0,887 (± 0,023)
L2-25	0,575	0,553	0,564	0,549	0,551	0,549	0,551	0,551	0,542	0,543	0,553 (± 0,01)
L7-14	1,556	1,558	1,576	1,567	1,589	1,619	1,620	1,655	1,650	1,672	1,606 (± 0,043)
L2-27	0,972	0,957	0,978	0,948	0,966	0,962	1,003	1,045	0,972	1,033	0,984 (± 0,033)
L1-3 ²	6,525	6,537	6,553	6,600	6,647	7,000	7,032	7,112	7,171	7,229	6,841 (± 0,292)
L3-5	0,061	0,074	0,096	0,069	0,083	0,131	0,025	0,063	0,071	0,053	0,072 (± 0,028)
L2-26	3,515	3,505	3,548	3,580	3,633	3,686	3,745	3,839	3,857	3,925	3,683 (± 0,152)
L9-2	4,103	4,113	4,151	4,122	4,169	4,166	4,172	4,238	4,133	4,207	4,157 (± 0,042)
L2-28	2,771	2,787	2,842	2,863	2,942	2,981	3,047	3,142	3,178	3,274	2,983 (± 0,174)
L9-1	5,639	5,661	5,687	5,657	5,715	5,723	5,717	5,775	5,683	5,751	5,701 (± 0,043)
L3-15	3,017	3,061	3,152	3,241	3,329	3,417	3,493	3,577	3,607	3,662	3,356 (± 0,232)
L4-17	1,804	1,835	1,894	1,888	1,943	1,954	1,992	2,022	2,006	2,026	1,936 (± 0,079)
L5-7	1,646	1,684	1,719	1,707	1,754	1,749	1,785	1,796	1,744	1,803	1,739 (± 0,05)
L5-6	1,956	2,036	2,111	2,134	2,179	2,204	2,241	2,281	2,274	2,314	2,173 (± 0,115)
L3-3	2,944	2,967	3,006	3,030	3,074	3,152	3,177	3,283	3,355	3,416	3,14 (± 0,166)
L4-3	16,022	16,034	16,138	16,254	16,258	16,387	16,390	15,863	15,417	14,687	15,945 (± 0,528)

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. Fuente: Elaboración propia.



Tabla 6-6. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de abril durante el periodo 2008 a 2017.

Parcela de monitoreo	Año										Profundidad promedio (m)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
L7-7	0,663	0,628	0,662	0,601	0,516	0,570	0,688	0,447	0,713	0,399	0,589 (± 0,105)
1027	0,527	0,510	0,514	0,504	0,494	0,518	0,604	0,465	0,615	0,504	0,526 (± 0,047)
L2-4	0,864	0,861	0,879	0,882	0,828	0,874	0,896	0,859	0,958	0,869	0,877 (± 0,034)
L2-25	0,584	0,621	0,577	0,551	0,522	0,539	0,553	0,530	0,535	0,525	0,554 (± 0,032)
L7-14	1,601	1,598	1,611	1,603	1,605	1,593	1,644	1,553	1,688	1,614	1,611 (± 0,035)
L2-27	1,189	1,181	1,225	1,148	0,959	1,037	1,184	0,924	1,273	1,067	1,119 (± 0,116)
L1-3 ²	6,550	6,554	6,579	6,608	6,945	6,981	7,069	7,128	7,190	7,232	6,884 (± 0,281)
L3-5	0,087	0,083	0,111	0,088	0,053	0,114	0,092	0,041	0,107	0,055	0,083 (± 0,026)
L2-26	3,562	3,554	3,570	3,599	3,594	3,695	3,779	3,812	3,910	3,906	3,698 (± 0,143)
L9-2	4,180	4,190	4,195	4,200	4,097	4,190	4,228	4,175	4,205	4,191	4,185 (± 0,034)
L2-28	2,865	2,890	2,914	2,937	2,910	3,006	3,102	3,119	3,281	3,301	3,033 (± 0,161)
L9-1	5,695	5,704	5,729	5,718	5,683	5,725	5,765	5,729	5,737	5,734	5,722 (± 0,023)
L3-15	3,045	3,105	3,194	3,264	3,327	3,429	3,529	3,580	3,666	3,672	3,381 (± 0,229)
L4-17	1,845	1,866	1,927	1,937	1,941	1,973	2,025	1,934	2,039	2,021	1,951 (± 0,065)
L5-7	1,710	1,728	1,680	1,767	1,759	1,800	1,784	1,596	1,816	1,811	1,745 (± 0,069)
L5-6	1,994	2,064	2,060	2,151	2,181	2,243	2,254	2,131	2,303	2,307	2,169 (± 0,108)
L3-3	2,937	2,971	3,018	3,037	3,001	3,170	3,254	2,879	3,411	3,315	3,099 (± 0,178)
L4-3	15,982	16,055	16,154	16,221	16,299	16,347	16,218	15,705	15,229	14,553	15,876 (± 0,573)

¹Desviación 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.

Fuente: Elaboración propia



Tabla 6-7. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2017.

Parcela de monitoreo	Año											Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
L7-7	0,545	0,480	0,475	0,487	0,475	0,451	0,439	0,516	0,434	0,550	0,468	0,484 (± 0,039)
1027	0,442	0,420	0,416	0,420	0,424	0,416	0,421	0,464	0,426	0,491	0,453	0,436 (± 0,024)
L2-4	0,798	0,784	0,798	0,819	0,819	0,809	0,809	0,829	0,834	0,852	0,840	0,817 (± 0,02)
L2-25	0,563	0,548	0,544	0,544	0,545	0,529	0,532	0,538	0,524	0,537	0,527	0,539 (± 0,011)
L7-14	1,565	1,560	1,557	1,573	1,583	1,587	1,588	1,617	1,604	1,654	1,645	1,594 (± 0,033)
L2-27	0,864	0,855	0,854	0,866	0,869	0,858	0,842	0,875	0,861	0,905	0,878	0,866 (± 0,016)
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	6,865 (± 0,293)
L3-5	0,012	0,056	0,057	0,058	0,058	0,097	-0,010	0,003	-0,016	0,001	-0,060	0,023 (± 0,045)
L2-26	3,517	3,524	3,509	3,562	3,635	3,656	3,694	3,799	3,835	3,909	3,962	3,691 (± 0,163)
L9-2	4,120	4,140	4,151	4,173	4,177	4,112	4,149	4,206	4,108	4,207	4,163	4,155 (± 0,034)
L2-28	2,733	2,737	2,757	2,812	2,871	2,897	2,955	3,031	3,092	3,181	3,215	2,935 (± 0,175)
L9-1	5,645	5,678	5,689	5,708	5,709	5,685	5,702	5,749	5,666	5,751	5,716	5,7 (± 0,032)
L3-15	2,863	3,013	3,070	3,182	3,272	3,337	3,401	3,497	3,571	3,635	3,659	3,318 (± 0,265)
L4-17	1,769	1,820	1,835	1,897	1,918	1,917	1,928	1,975	1,951	1,997	1,995	1,909 (± 0,074)
L5-7	1,520	1,542	1,565	1,583	1,602	1,625	1,626	1,631	1,623	1,675	1,673	1,606 (± 0,050)
L5-6	1,735	1,852	1,900	1,976	2,007	2,054	2,082	2,131	2,137	2,198	2,211	2,026 (± 0,150)
L3-3	2,893	2,913	2,921	2,953	2,996	3,001	3,068	3,057	3,128	3,194	3,201	3,03 (± 0,110)
L4-3	16,089	15,987	16,047	16,158	16,264	16,306	16,413	16,073	15,627	15,034	14,418	15,856 (± 0,610)

¹Desviación 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.

Fuente: Elaboración propia



Tabla 6-8. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2017.

Parcela de monitoreo	Año											Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
L7-7	0,405	0,408	0,408	0,404	0,419	0,414	0,441	0,420	0,438	0,451	0,475	0,426 (± 0,023)
1027	0,394	0,371	0,395	0,385	0,394	0,407	0,428	0,425	0,425	0,446	0,443	0,41 (± 0,025)
L2-4	0,785	0,781	0,795	0,802	0,813	0,820	0,825	0,836	0,832	0,853	0,852	0,818 (± 0,025)
L2-25	0,561	0,544	0,538	0,532	0,532	0,523	0,526	0,522	0,529	0,529	0,527	0,533 (± 0,011)
L7-14	1,540	1,527	1,526	1,534	1,545	1,564	1,580	1,584	1,596	1,621	1,632	1,568 (± 0,037)
L2-27	0,850	0,842	0,832	0,833	0,846	0,839	0,847	0,839	0,843	0,852	0,857	0,844 (± 0,008)
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	6,868 (± 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	0,006 (± 0,045)
L2-26	3,523	3,512	3,521	3,553	3,601	3,650	3,707	3,777	3,837	3,896	3,939	3,683 (± 0,158)
L9-2	4,087	4,111	4,117	4,131	4,127	4,113	4,126	4,165	4,083	4,166	4,133	4,124 (± 0,026)
L2-28	2,655	2,707	2,729	2,784	2,838	2,895	2,944	3,013	3,075	3,153	3,191	2,908 (± 0,184)
L9-1	5,620	5,659	5,673	5,677	5,675	5,688	5,678	5,732	5,643	5,723	5,684	5,677 (± 0,032)
L3-15	2,980	3,019	3,094	3,188	3,269	3,357	3,433	3,505	3,582	3,615	3,669	3,337 (± 0,245)
L4-17	1,758	1,795	1,825	1,868	1,879	1,897	1,929	1,946	1,989	1,968	1,971	1,893 (± 0,076)
L5-7	1,486	1,522	1,539	1,557	1,582	1,593	1,614	1,614	1,615	1,650	1,657	1,584 (± 0,054)
L5-6	1,700	1,832	1,879	1,950	1,989	2,044	2,071	2,125	2,136	2,189	2,201	2,011 (± 0,159)
L3-3	2,895	2,909	2,914	2,949	2,973	3,011	3,076	3,084	3,130	3,192	3,212	3,031 (± 0,114)
L4-3	15,992	16,007	16,113	16,197	16,237	16,342	16,398	16,012	15,522	14,830	14,317	15,815 (± 0,666)

¹Desviación estándar entre paréntesis.()

²En 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.

Fuente: Elaboración propia



Respecto a la variación histórica de la profundidad de la napa freática, con énfasis en aquellos pozos con mayor variación y que corresponden a L1-3, L3-15 y L4-3, la Figura 6-4 muestra el comportamiento del valor promedio anual obtenido para cada pozo de monitoreo.

Se aprecia en el pozo L1-3 que la profundidad de la napa ha aumentado desde el inicio de los monitoreos. Para el primer monitoreo la profundidad freática registrada correspondió a 6,53 m (± 0), actualmente el nivel es 7,244 ($\pm 0,02$), verificándose una diferencia de 0,714 m entre los promedios de profundidad.

En el pozo 3-15 se repite lo observado en el pozo anterior, identificando un aumento sostenido en la profundidad del nivel freático. Actualmente se identifica en el pozo un aumento de 0,686 m, correspondiendo al año 2007 una profundidad de 2,98 m ($\pm 0,0$) y actualmente el nivel está en 3,666 m ($\pm 0,01$).

El tercer pozo con mayor variación de sus niveles corresponde a L4-3. En este pozo la variabilidad de sus niveles está determinada por el registro de descensos e incrementos freáticos. Entre los años 2006 (16,04 m $\pm 0,07$) y 2013 (16,39 m $\pm 0,03$) se registró el descenso del nivel, el que luego comenzó a tomar el sentido contrario, reduciendo su profundidad hasta llegar en el año 2017 a una profundidad de 14,494 m ($\pm 0,16$). Para mayores detalles consultar Informe de Plan de Seguimiento Hidrogeológico.

En los pozos L2-26, L2-28, L4-17, L5-7, L5-6, y L3-3 se aprecia que también existe el aumento de la profundidad de sus niveles, pero a una tasa menor que los pozos antes descritos, no superando los 0,05 m al año de acuerdo a lo esperado.



Figura 6-4. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2017.

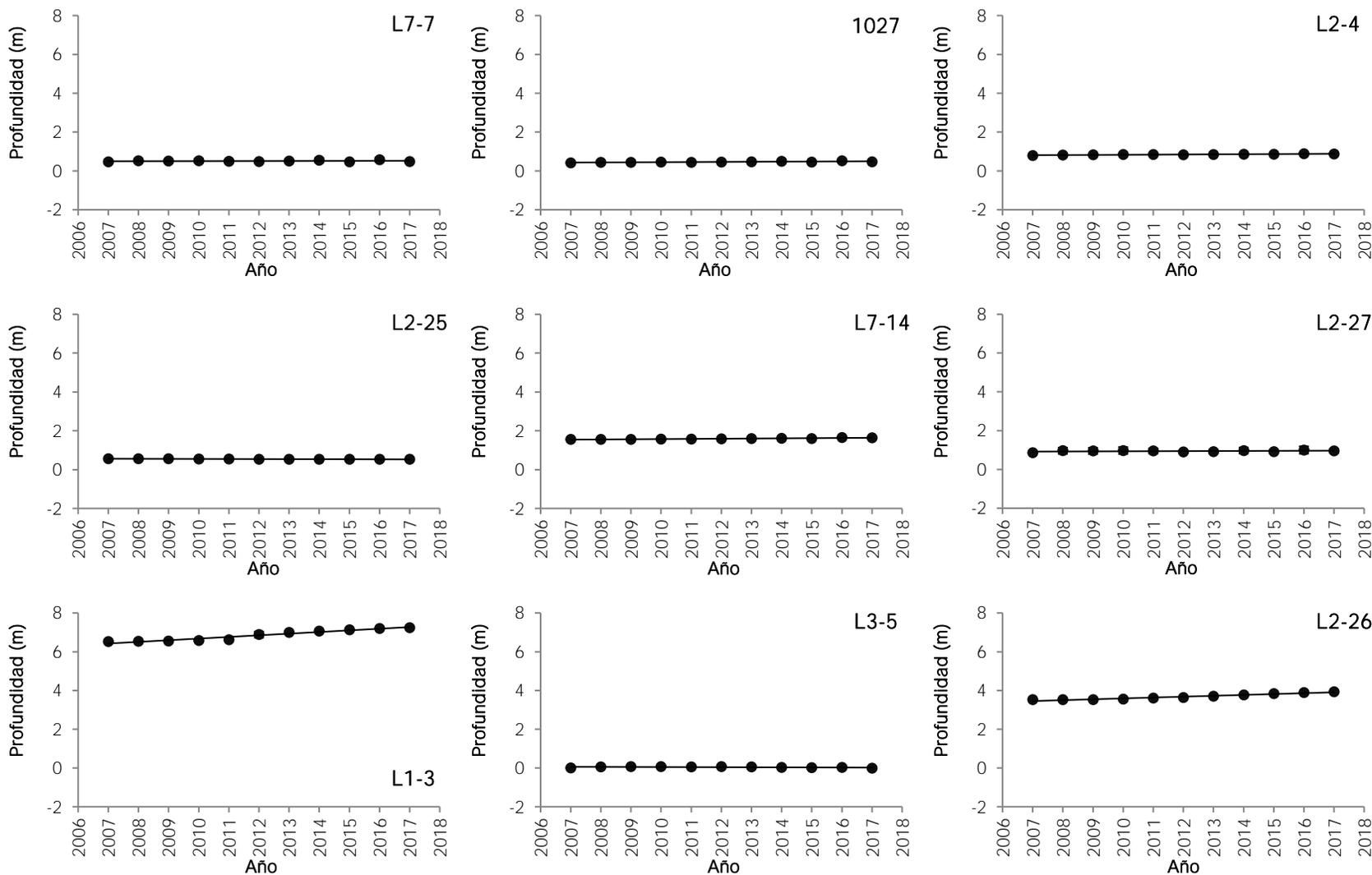
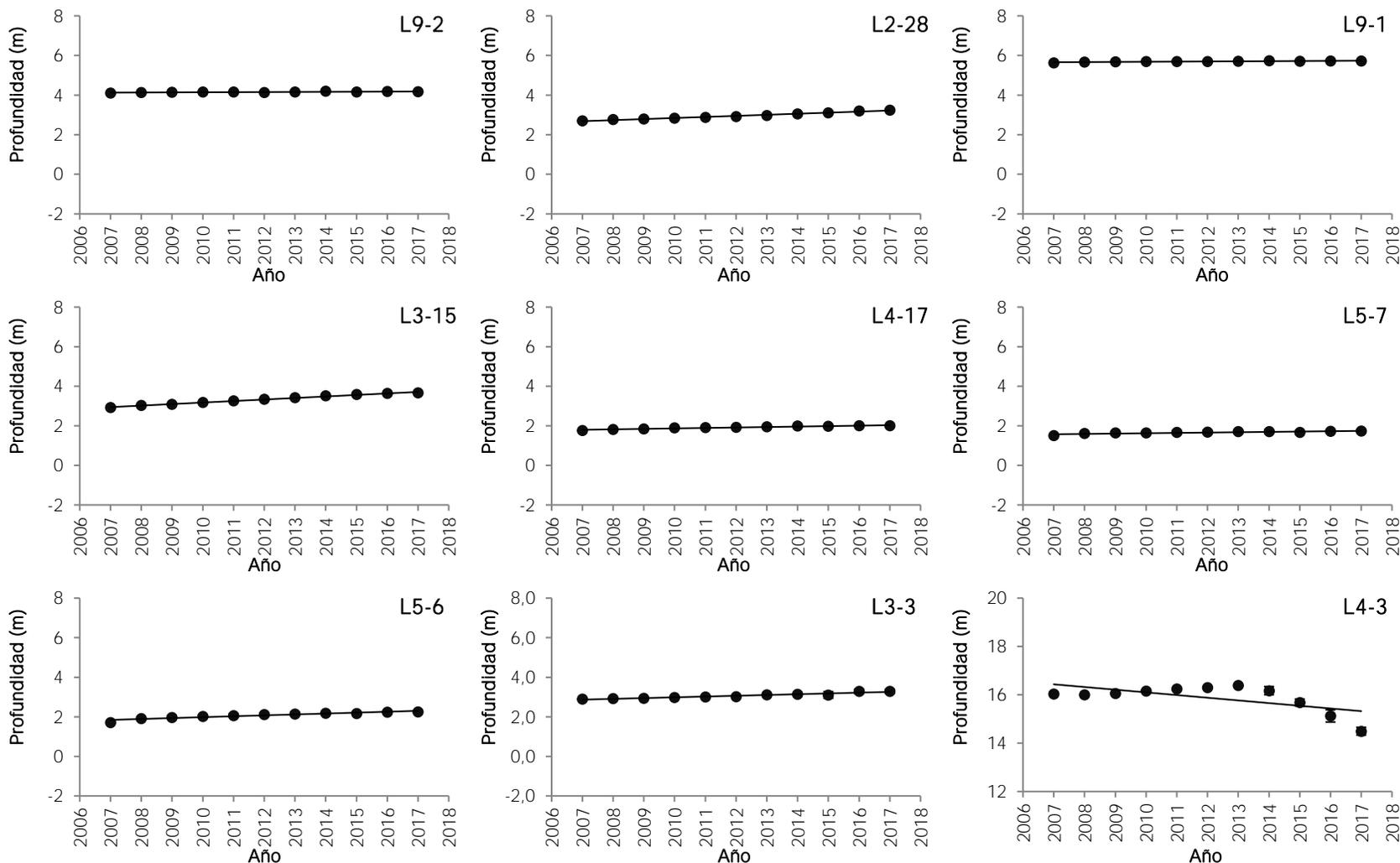


Figura 6-4. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2017.

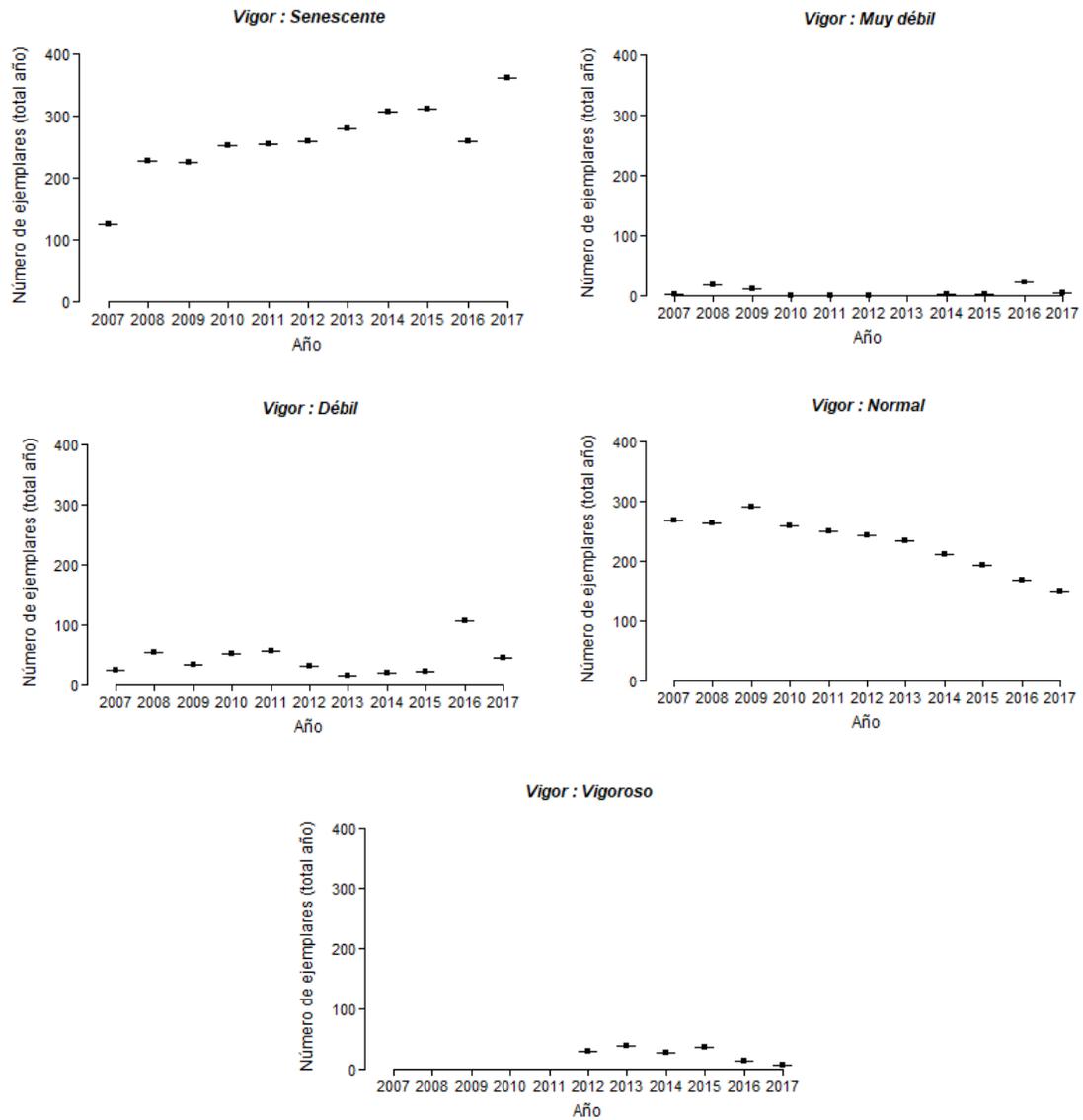


Fuente: Elaboración propia.

6.3 Variación interanual de la vitalidad de la vegetación

La Figura 6-5 presenta el resumen anual del total de observaciones realizadas en el contexto de la evaluación del vigor. Se puede apreciar que las categorías muy débil, débil y vigoroso tienen un comportamiento casi horizontal con sus observaciones. Por otra parte, la categoría senescente muestra una pendiente positiva (incremento de observaciones), con oscilaciones temporales como la observada en 2016. La categoría de vigor normal muestra una pendiente negativa (reducción de observaciones) constante. Posteriormente, en las secciones 6.4 y 6.5 se analizará la relación de los datos con el contenido de humedad y la profundidad de la napa como eventuales variables explicativas de la situación.

Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2017



Fuente: Elaboración propia.



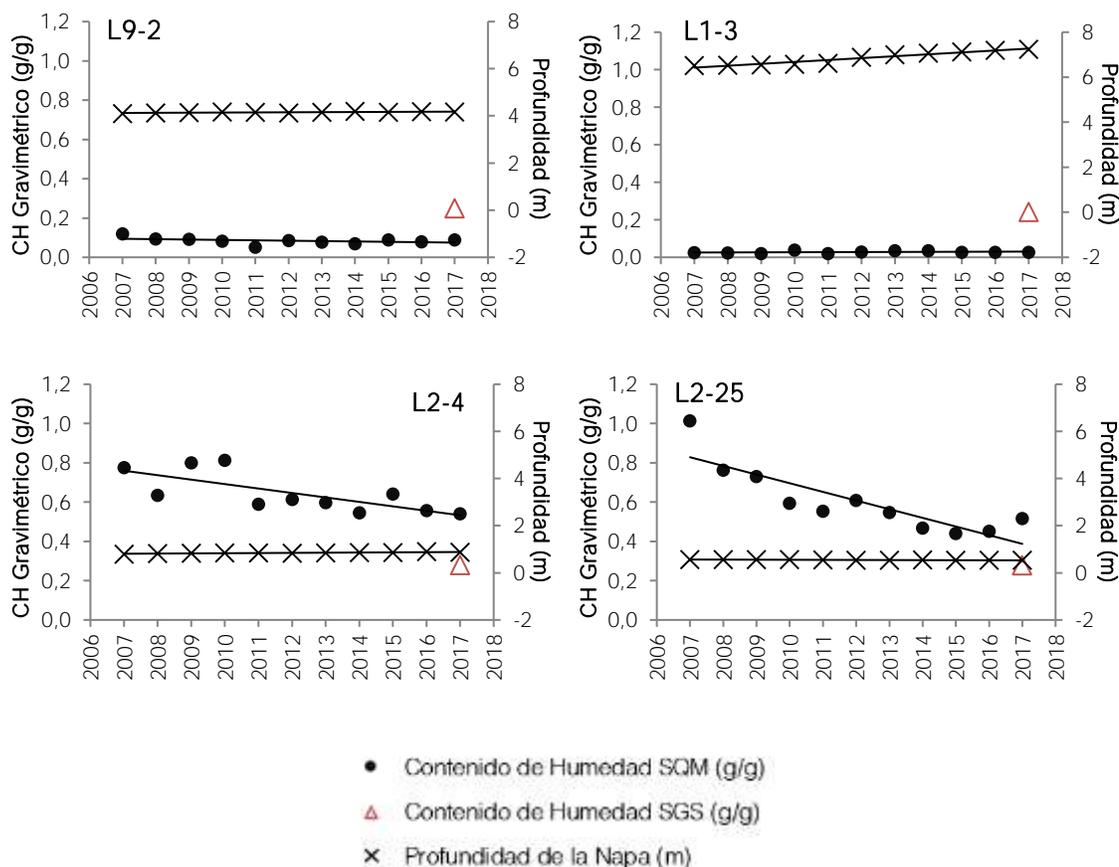
A continuación, se analizará los resultados de vigor, copa verde y fenología por especie monitoreada.

6.3.1 *Atriplex atacamensis*

Los ejemplares de *Atriplex atacamensis* se encuentran en las parcelas de monitoreo L9-2, L1-3, L2-25 y L2-4. De los cuales se ha mencionado (Figura 6-6):

- El Pozo de monitoreo 9-2 no ha reportado incremento en la profundidad de la napa o variaciones en el contenido de humedad.
- El Pozo de monitoreo 1-3 reportó incremento en la profundidad de la napa, sin variaciones en el contenido de humedad.
- Los Pozos de monitoreo 2-4 y 2-25 reportaron un ligero incremento en la profundidad de la napa, pero se observaron variaciones en el contenido de humedad que muestran una tendencia a la disminución. El descenso en contenido de humedad no tiene su justificación en el Proyecto, considerando que el nivel freático apenas ha variado. Puede existir un factor asociado al muestreo u oscilaciones naturales que expliquen las oscilaciones observadas en los resultados.
- Los ejemplares secos o senescentes reportados en el presente año son 3 y están presentes en la parcela L9-2 (2 ejemplares) y L2-4 (1 ejemplar). En ambos casos se encuentran acompañados de plantas con estado vigoroso.

Figura 6-6. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a *Atriplex atacamensis*.



Fuente: Elaboración propia.



La Figura 6-7 (A) representa el comportamiento del follaje verde en *Atriplex atacamensis*. De la figura se destaca lo siguiente:

- Se aprecia que el número de ejemplares con cobertura de copa 0% ha sido 0 entre los años 2007 y 2008. Desde el año 2013 a la actualidad la cantidad de individuos en esta categoría ha oscilado entre 2 y 3 individuos. No se detecta tendencia al incremento.
- Desde el año 2011 no se ha reportado ejemplares con coberturas de copa inferiores al 5%.
- Respecto de la categoría 5 a 25%, se identifica una presencia frecuente de dos a tres ejemplares en esta categoría en el monitoreo de julio, coincidente con el periodo recesivo de las plantas. Por el contrario, en los otros monitoreos tiende a haber una disminución de la cantidad de ejemplares en esta categoría, llegando a cero en algunos años. No se detecta tendencia en esta categoría.
- Las categorías de copa verde 25-50% y 50-75% han tendido a reportar entre 2 a 5 ejemplares desde el comienzo del monitoreo. La variación de los ejemplares no demuestra una tendencia al detrimento de las plantas, si no 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, los que tienden a reducirse en los meses posteriores (julio y octubre), correspondiendo al mes de enero al final del periodo recesivo o el inicio del periodo de crecimiento. En el presente año, la expresión de copa verde se mantuvo constante

La Figura 6-7 (B) muestra el vigor de la especie registrado para todos los monitoreos. Al respecto se puede mencionar:

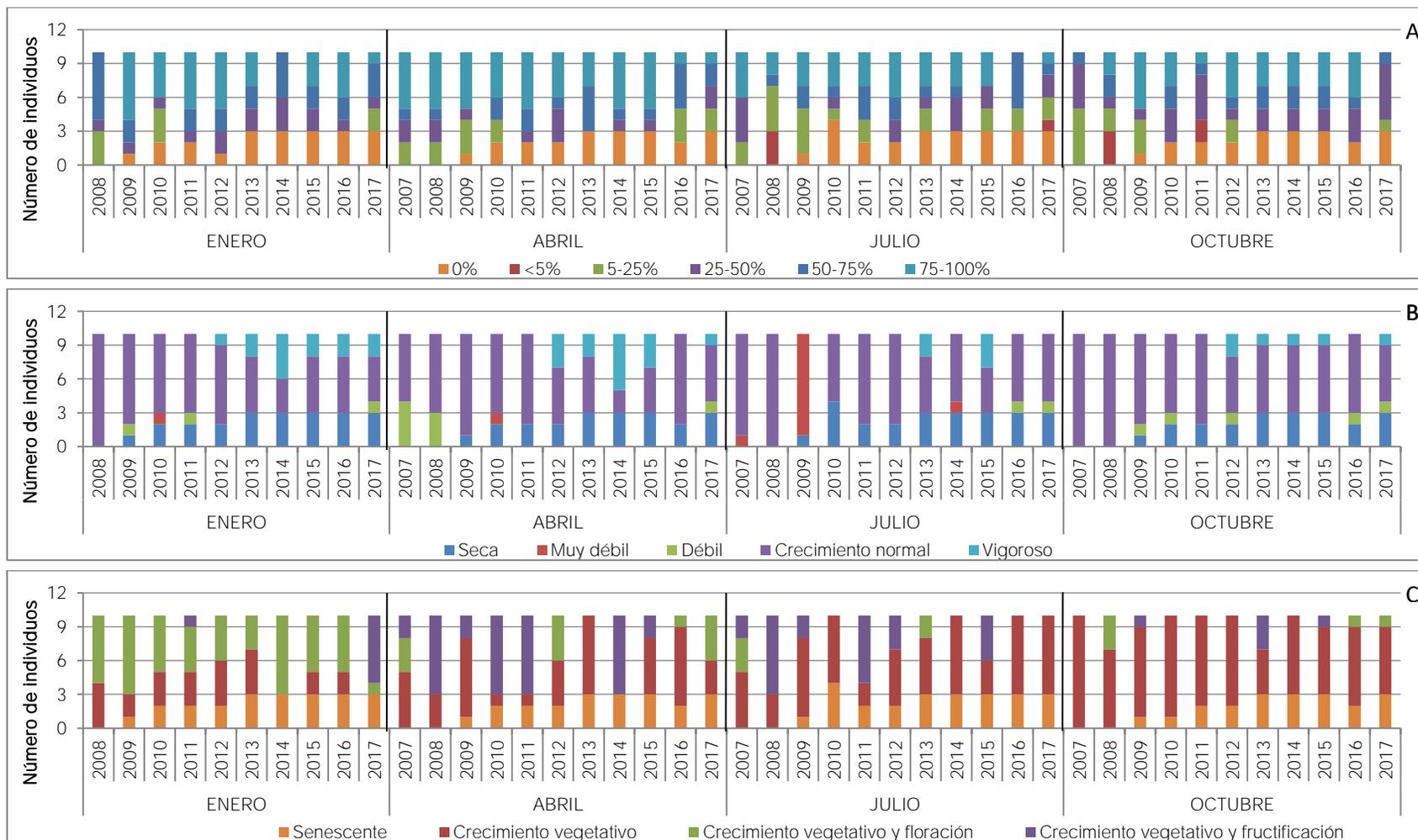
- Se identifica que los ejemplares con vigor crecimiento normal y vigoroso han variado en el tiempo entre 6 a 10. Desde el monitoreo de enero de 2012 comienzan a identificarse ejemplares en categoría vigoroso cuyo número máximo se ha identificado en monitoreo de enero de 2014 y monitoreo de octubre 2016.
- Respecto de las categorías seca y muy débil, se identifica que tienden a mantener un registro casi constante de 3 individuos. El máximo de ejemplares muy débiles ha sido 9, reportado en el año 2009, monitoreo julio; mientras que, el máximo de ejemplares secos fue reportado en 2010 en el mismo monitoreo.

La Figura 6-7 (C) presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares de *Atriplex atacamensis* monitoreados. De la figura se extrae:

- En el monitoreo de enero se identifica el periodo de mayor floración de las plantas, correspondiendo al monitoreo de abril al periodo de fructificación, el que se extiende hasta el momento de monitoreo en julio. Durante el monitoreo de octubre se identifica el periodo recesivo de los ejemplares.
- En el monitoreo de enero del año 2017 se aprecia un adelantamiento del periodo de fructificación. Posteriormente en el segundo monitoreo anual se reporta producción de flores, periodo reproductivo que termina antes de efectuarse el tercer monitoreo donde desaparecen todas las estructuras (flores y frutos).



Figura 6-7. *Atriplex atacamensis*: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2017.



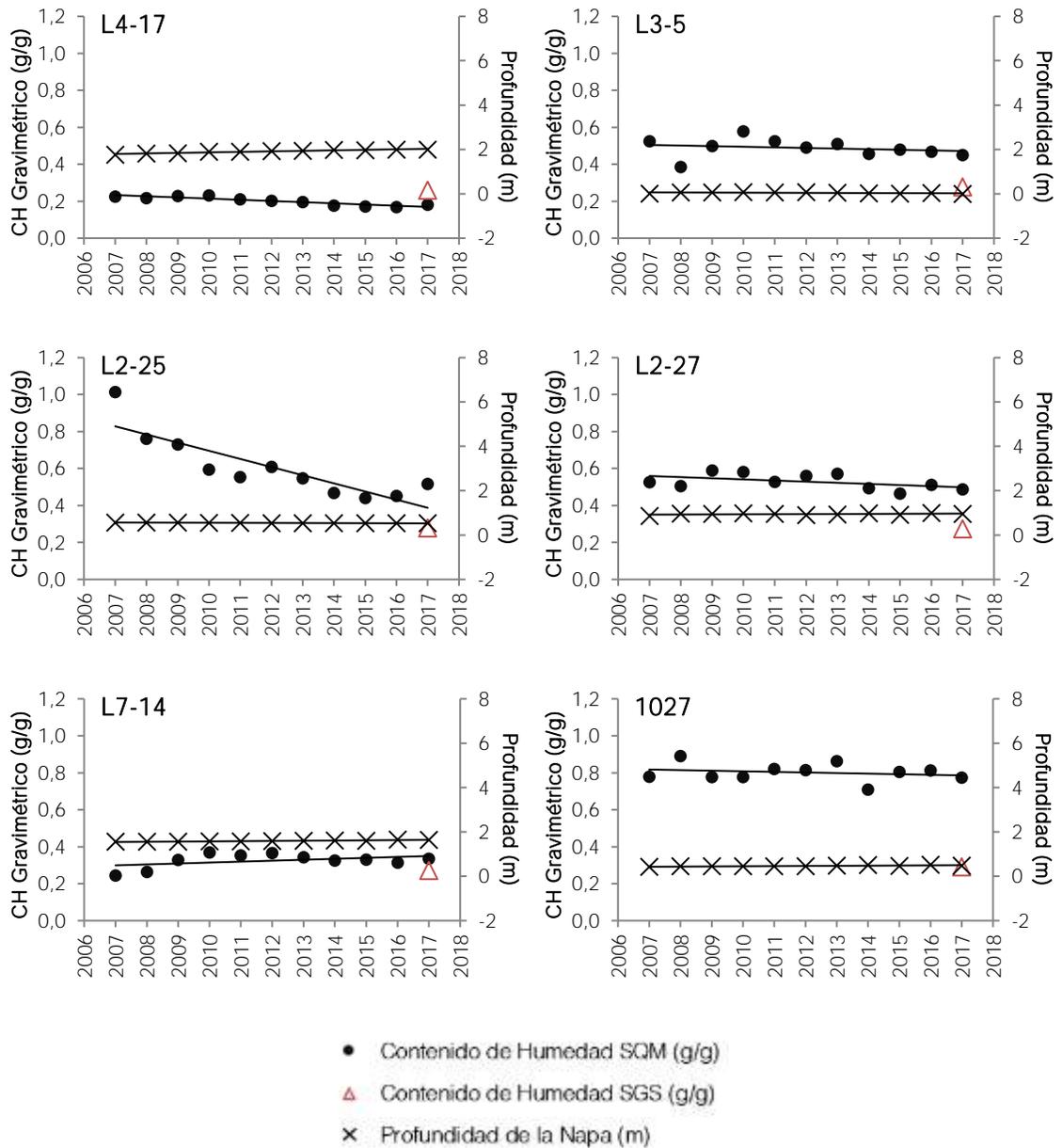
En la campaña de Abril en 2016, se registra que un ejemplar de *A. atacamensis* fue arrancado de su lugar. Fuente: Elaboración propia.



6.3.2 *Distichlis spicata*

Los ejemplares de *Distichlis spicata* se encuentran en las parcelas de monitoreo L4-17, L3-5, L2-25, L2-27, L7-14 y 1027. La Figura 6-8 resume lo presentado en capítulos previos. Se extrae que las variaciones en contenido de humedad y profundidad de la napa han sido leves en las Parcelas de Monitoreo, excepto en L2-25 donde el contenido de humedad muestra una tendencia hacia la baja. Esto último no guarda relación con la profundidad de la napa considerando que los datos no tienen una variación que puede explicar tal cambio en el contenido de humedad.

Figura 6-8. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a *Distichlis spicata*.



Fuente: Elaboración propia.



La medición del estado vital de *Distichlis spicata* presenta variaciones en el número total de individuos debido a la dificultad de encontrar los ejemplares durante las campañas de terreno. La mayoría de los ejemplares no se encuentran marcado, dada la capacidad de rebrote desde su raíz rastrera, esta especie tiende eliminar la biomasa aérea en seguimiento, rebrotando en otro lugar a la temporada siguiente. El comportamiento del porcentaje de follaje verde de *D. spicata* se presenta en la Figura 6-9 (A), en la cual se aprecia:

- En el monitoreo de enero se aprecia un aumento del número de ejemplares con copa verde en las categorías 75 a 100%, respecto de su periodo anterior. La copa verde tiende a decrecer en el monitoreo de julio, donde se observa mayor número de ejemplares en las categorías 50 a 75%, apreciándose los primeros vestigios del inicio del periodo recesivo.
- La copa verde de los ejemplares tiende a reducirse en el monitoreo de Julio, periodo recesivo, donde son escasos los ejemplares con copas verde superior al 25%.
- En el monitoreo de octubre se aprecia el rebrote de ejemplares, aumentando la copa verde de los ejemplares, apreciándose mayor número de individuos en la categoría 25 a 50%. Cabe mencionar que la aparición de ejemplares en categorías de copa verde superiores al 5% ha comenzado en el año 2012 y se ha mantenido hasta la actualidad.
- El número de ejemplares en la categoría de copa verde 0% ha sido variable durante el monitoreo y concentrado en el monitoreo de julio, descartándose alguna tendencia.

Respecto al vigor se observa en la Figura 6-9 (B) lo siguiente:

- Similar a lo observado en con la copa verde se aprecia una marcada variabilidad estacional, correspondiendo al monitoreo de julio el periodo recesivo de las plantas, a aquel donde se aprecia mayor número de ejemplares en la categoría seca, número que tiende a disminuir en el transcurso del año. Los monitoreos de abril y octubre corresponden a los periodos transicionales entre la máxima expresión de vigor y la recesión de la vegetación.
- El número de ejemplares en la categoría vitalidad seca ha sido variable durante el monitoreo, descartándose la desecación de la vegetación.

La fenología de *D. spicata* se presenta en la Figura 6-9 (C).

- En cuanto a la fenología, en gran parte de los meses se identifica a los ejemplares en estado de crecimiento vegetativo, apreciándose el periodo reproductivo entre los monitoreos de enero y abril.



Figura 6-9. *Distichlis spicata*: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2017.



No aplica: Corresponde a ejemplares no hallados en la parcela de muestreo.

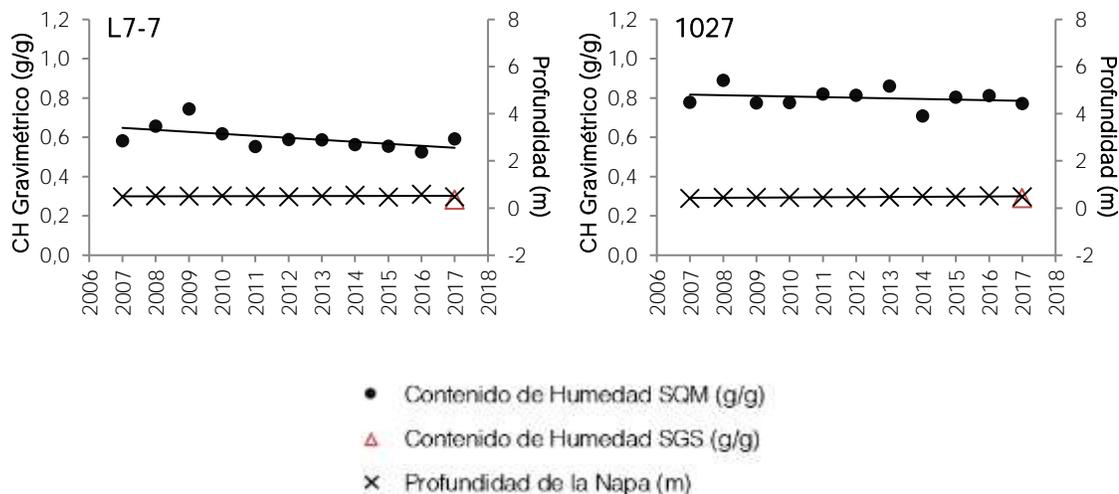
Fuente: Elaboración propia



6.3.3 *Nitrophila atacamensis*

Los ejemplares de *N. atacamensis* se encuentran en las parcelas de monitoreo L7-7 y 1027. La Figura 6-10 resume lo presentado en capítulos previos, donde se puede observar que las variaciones en contenido de humedad y profundidad de la napa han sido leves y los valores reportados actualmente son similares a lo observado en el año 2007.

Figura 6-10. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a *Nitrophila atacamensis*.



Fuente: Elaboración propia.

La medición del estado vital de *Nitrophila atacamensis* presenta variación en el número total de individuos dado que los ejemplares no se encuentran marcados y tienden a eliminar la biomasa aérea rebrotando en otro lugar a la temporada siguiente. Los resultados del monitoreo de follaje verde se presentan en la Figura 6-11 (A) y se comentan a continuación:

- Como patrón general se identifica que durante el periodo recesivo invernal (julio), los ejemplares tienden a desecar toda su biomasa aérea. El rebrote ocurre durante el monitoreo de octubre, alcanzando la máxima expresión en el monitoreo de enero y manteniéndose hasta el monitoreo de abril.
- El número de ejemplares en la categoría de copa verde 0% ha sido variable durante el monitoreo, descartándose alguna tendencia.

De los resultados del vigor de la especie que se muestran en la Figura 6-11 (B), se extrae:

- El vigor de los ejemplares monitoreados también obedece patrones estacionales. El estado de vigor común corresponde a la categoría normal, y en el presente monitoreo se observó usualmente en categoría débil, lo que puede estar relacionado a la baja producción de follaje reportada en el presente año causado por condiciones ambientales del área.

Respecto a las observaciones del monitoreo de la fenología (Figura 6-11 C), se extrae lo siguiente:

- Se identifica como patrón la histórica escasa producción de flores y semillas.
- En el presente año se reporta la producción de flores, lo que no se describía desde 2007.



Figura 6-11. *Nitrophila atacamensis*: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2017.



Fuente: Elaboración propia



6.3.4 *Tessaria absinthioides*

Los ejemplares de *Tessaria absinthioides* se encuentran en las parcelas de monitoreo L9-1, L9-2, L5-7, L4-17, L3-15, L5-6, L3-3, L3-5, L2-28, L2-26, L2-27 Y L7-14. La Figura 6-10 demuestra que no han ocurrido cambios en los valores de contenido de humedad del suelo.

Figura 6-12. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a *Tessaria absinthioides*.

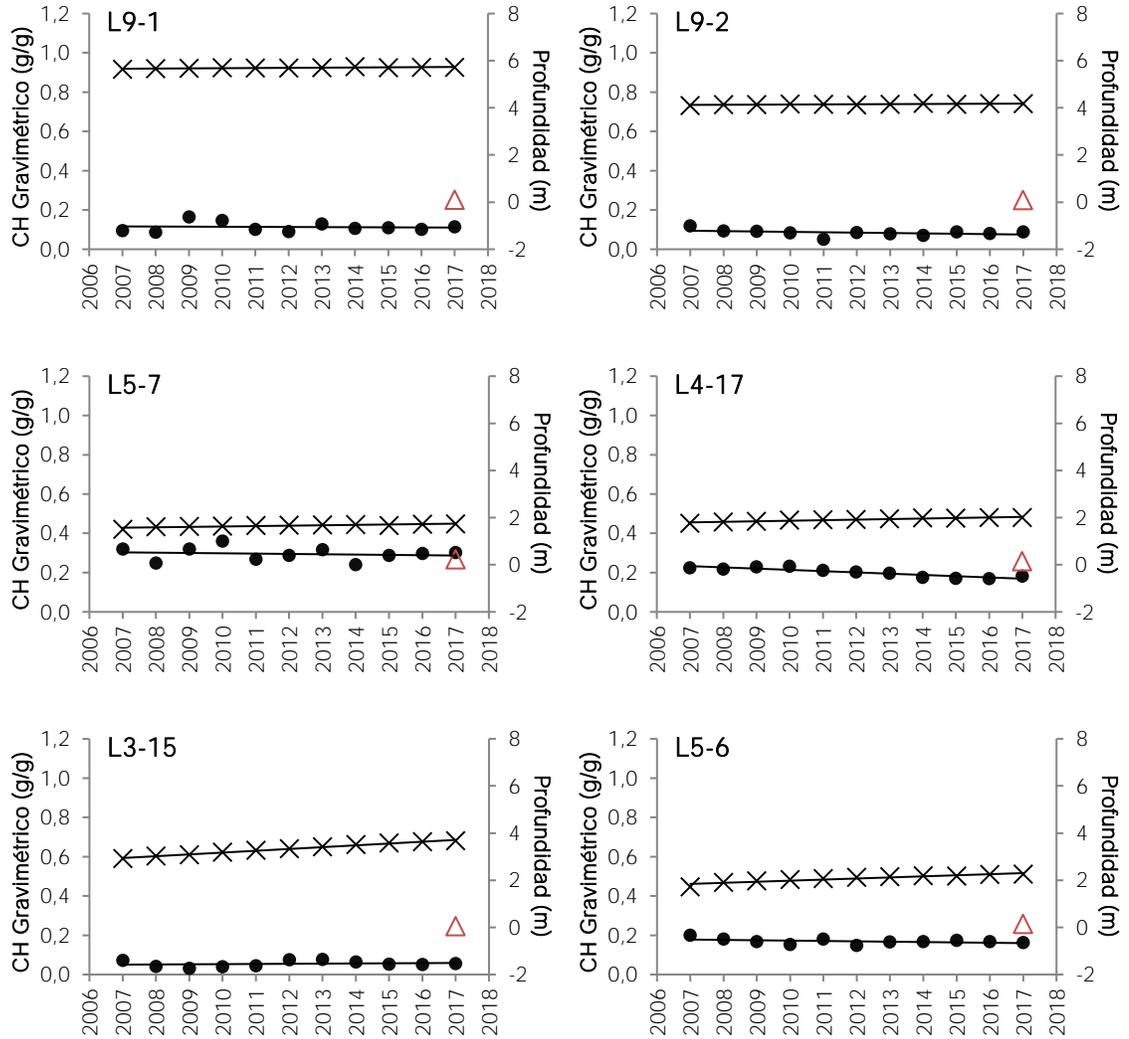
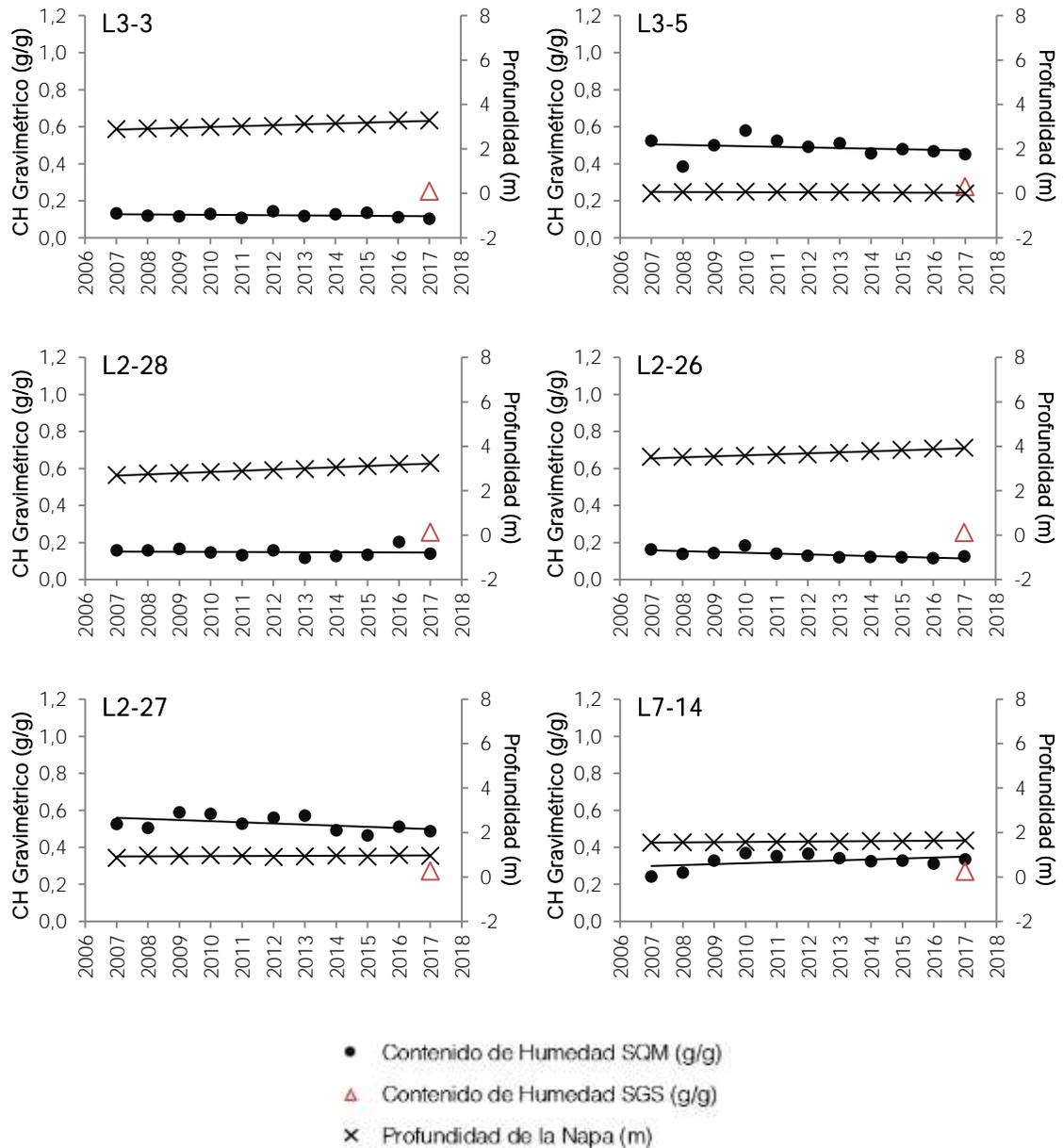


Figura 6-12. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a *Tessaria absinthioides*.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 6-13 (A) representa el comportamiento del follaje verde de en *Tessaria absinthioides*. De la figura se destaca lo siguiente:

- *T. absinthioides* presenta un comportamiento cíclico anual respecto de su follaje, correspondiendo durante el monitoreo de julio al periodo de recesión incrementando la copa verde en el transcurso de los monitoreos.



- La máxima expresión de copa verde se aprecia en los monitoreos de enero y abril. Al observar los meses de mayor expresión de copa verde, también se aprecia un incremento en la cantidad de ejemplares con copa verde 0%, lo que no se condice con la nula variación del contenido de humedad del suelo.

La Figura 6-13 (B) muestra el vigor de la especie para todos los monitoreos, de lo cual se extrae:

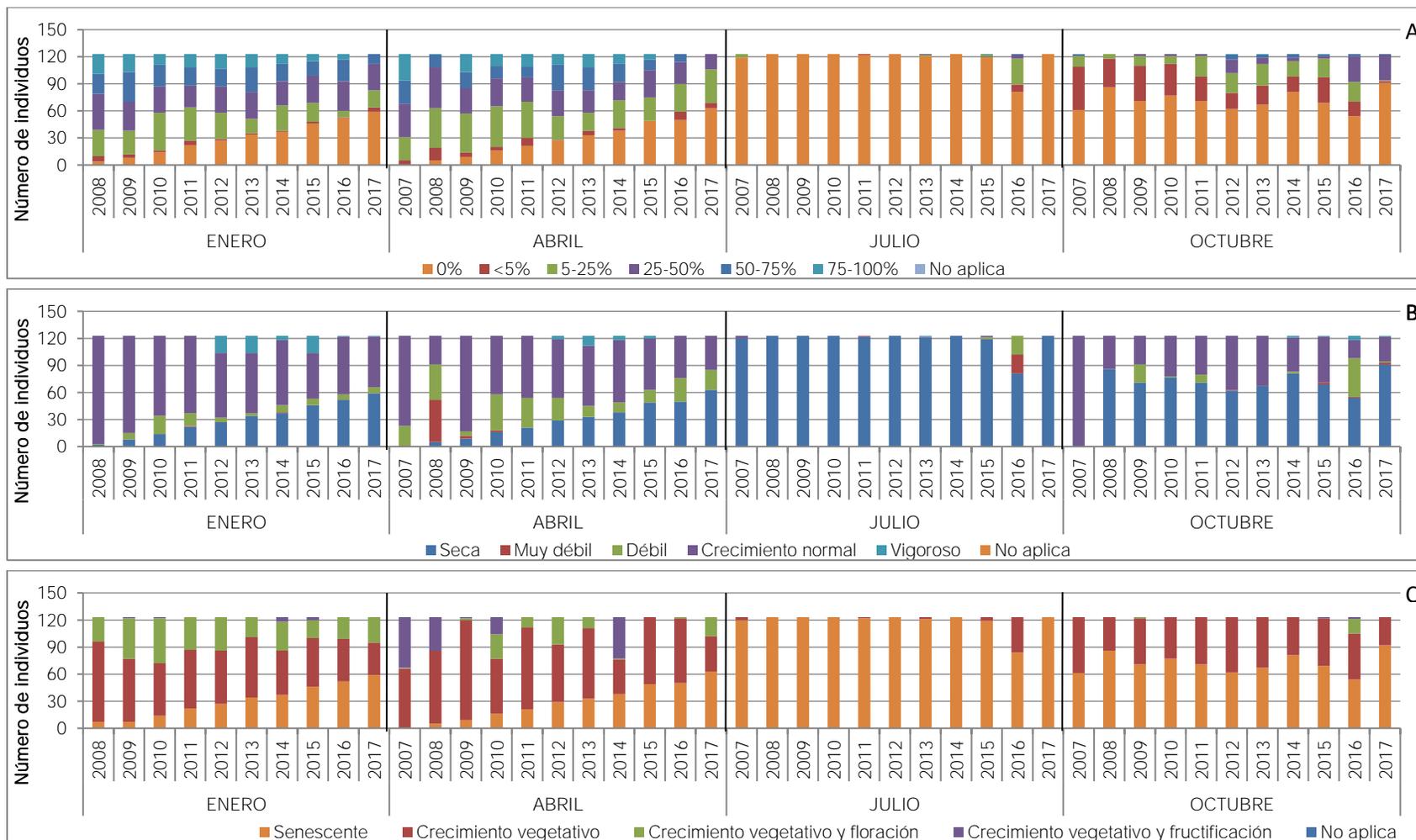
- En los monitoreos de enero y abril se aprecia que la mayor parte de los ejemplares alcanzan un estado de vigor crecimiento normal, identificándose solo de individuos en la categoría vigoroso durante los años 2012 a 2015.

En la Figura 6-13 (C) presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares monitoreados. Al respecto:

- El periodo reproductivo de la vegetación se identifica entre los monitoreos de enero y abril.



Figura 6-13. Tessaria absinthioides: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2017.



Fuente: Elaboración propia



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

La Figura 6-14 representa a nivel general los valores de contenido de humedad (promedio y mediana) reportado por parcela de monitoreo y asociado al valor de vigor que reporta cada planta al interior de la misma parcela. Dado que por el momento sólo se tiene un año de monitoreo de la ETFA SGS, se excluirá del análisis temporal los datos.

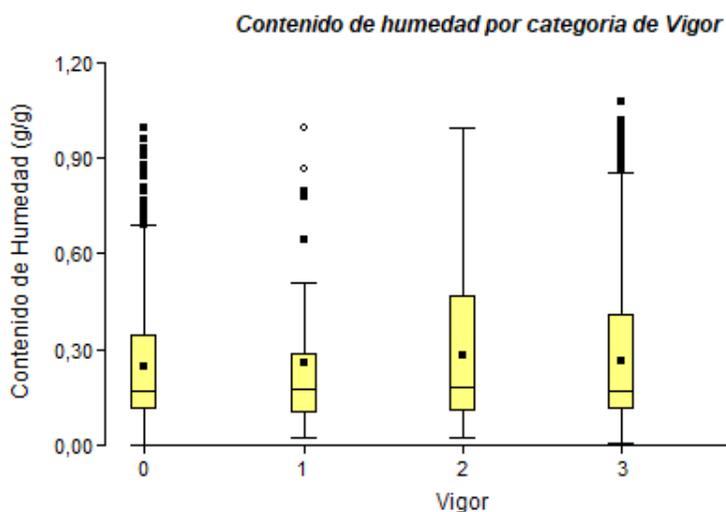
Respecto de la Figura 6-14, se puede apreciar una leve tendencia de incremento del valor promedio de contenido de humedad en la medida que el vigor aumenta, interpretándose como un incremento de la disponibilidad del recurso hídrico para el desarrollo de las plantas. Al observar las medianas, se aprecia un valor similar para las categorías senescentes (0), muy débil (1), débil (2) y normal (3), siendo diferente y mayor la mediana de la categoría vigoroso (4).

Tabla 6-9. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de Vigor.

Vigor	n	Media	D.E.	Min	Max	Mediana	Q1	Q3
0	2.800	0,25	0,19	0,00	1,00	0,17	0,11	0,34
1	65	0,26	0,25	0,02	1,00	0,17	0,10	0,28
2	466	0,28	0,21	0,02	1,00	0,18	0,11	0,47
3	2.518	0,27	0,22	0,00	1,08	0,17	0,11	0,41
4	151	0,33	0,23	0,03	0,92	0,38	0,11	0,50

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-14. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de Vigor.



Categoría de vigor 1 : Senescente; 2: Muy débil; 3: Débil; 4: Normal; 5: Vigoroso.
Fuente: Elaboración propia.



Por otra parte, la Figura 6-15 desglosa el comportamiento en el periodo 2007-2017 del contenido de humedad asociado a cada categoría de vigor. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** complementa el resultado de un Análisis Multinivel realizado a los datos para identificar el nivel de correlación de la variable vigor con el contenido de humedad. Al respecto se puede señalar:

- Categoría senescente: desde el año 2007 se ha reportado plantas clasificadas en esta categoría de vigor, en parcelas con contenido de humedad de promedio de 0,27 g/g, mediana de 0,18 g/g y valores máximos de 0,81 g/g. Para el año 2017, se mantiene la presencia de plantas en categorías senescentes presente en parcelas con alto contenido de humedad, reportándose valores de contenido de humedad promedio 0,23 g/g; mediana 0,16 g/g y valor máximo 0,62 g/g. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre el contenido de humedad y esta categoría de vitalidad.

- Categoría muy débil: la presencia de plantas asociadas a esta categoría es eventual, destacando la presencia de 1 o 2 ejemplares reportados en los años 2007, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015 (Ver sección 6.3). Para el año 2007 se reporta un valor promedio de 0,11 g/g de contenido de humedad; posteriormente, en el año 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 señalando la ocurrencia de plantas en esta categoría en condiciones de alta humedad. Para el año 2017 se registra presencia de plantas en condiciones de contenido de humedad con promedio de 0,35 g/g, mediana de 0,26 g/g y máximo de 0,78 g/g. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre el contenido de humedad y esta categoría de vitalidad.

- Categoría débil: tal como se ha señalado en las categorías previas, la incidencia de plantas clasificadas en esta categoría muestra independencia del contenido de humedad reportado. En este sentido se menciona que en 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 2017 reporta un promedio de 0,31 mediana de 0,15 g/g y un máximo de 0,82 g/g. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre el contenido de humedad y esta categoría de vitalidad.

- Categoría normal: esta categoría ha sido estable en el tiempo respecto del contenido de humedad. En 2007 el valor promedio de contenido de humedad fue de 0,28 g/g, mediana de 0,20 g/g con un máximo de 1,08 g/g. El contenido de humedad para 2017 reporta un promedio de 0,25 g/g mediana de 0,16 g/g y un máximo de 0,79 g/g. Del análisis multinivel realizado, se identifica que las plantas presentes en esta categoría si tienen relación estadísticamente significativa con el contenido de humedad reportado en la parcela. La correlación entre el contenido de humedad y esta categoría de vigor es positiva.

- Categoría vigoroso: esta categoría ha sido descrita en las parcelas desde el año 2012 (ver sección 6.3). El contenido de humedad descrito para las plantas descritas como vigorosas muestra también un amplio rango de valores de contenido de humedad, aunque en específico para el año 2017 tuvo la tendencia a acotarse en un rango menor. 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 año 2017 se describe un promedio de 0,37 g/g, mediana de 0,40 g/g y máximo de 0,51 g/g. Del análisis multinivel realizado, se identifica que las plantas presentes en esta categoría si tienen relación estadísticamente significativa con el contenido de humedad reportado en la parcela. La correlación entre el contenido de humedad y esta categoría de vigor es positiva.



Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2017

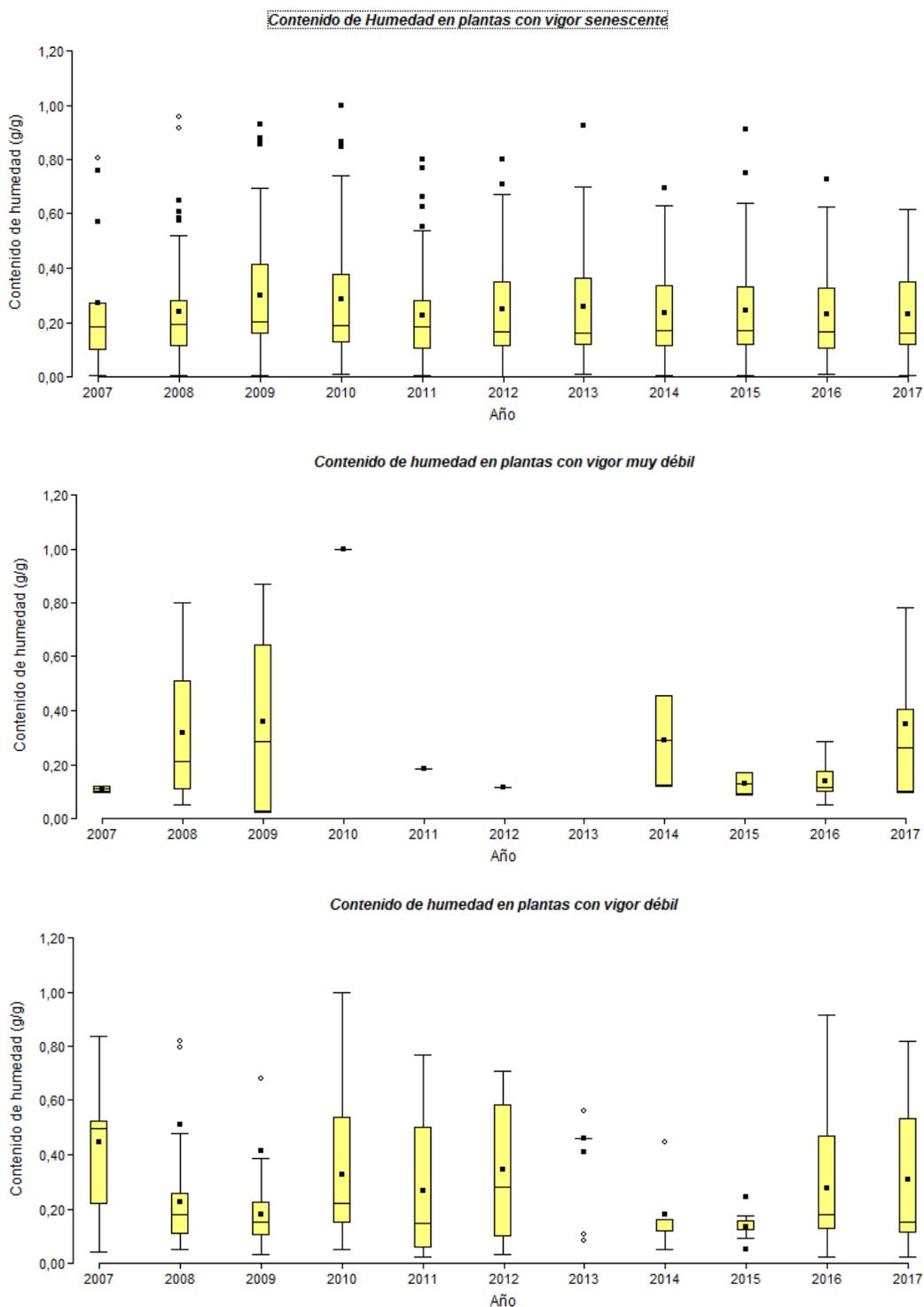
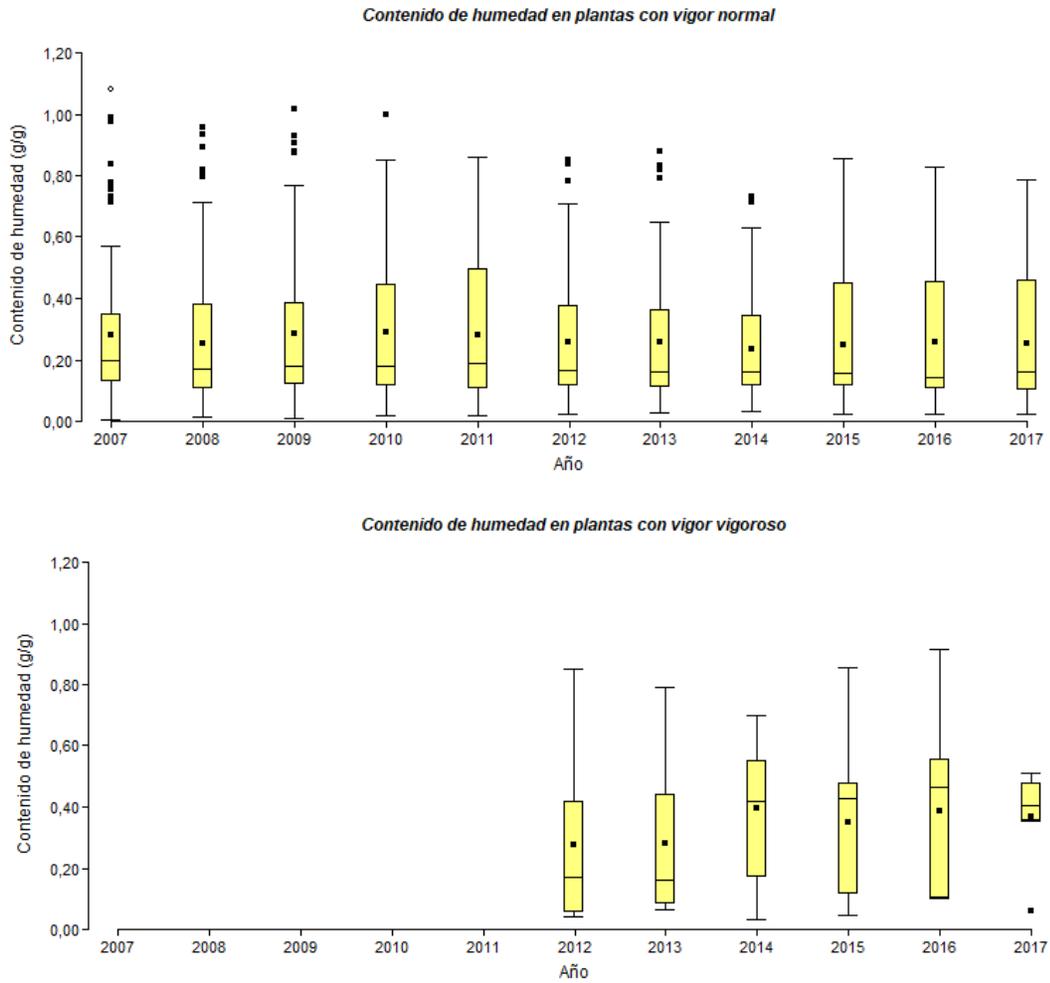


Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2017



Fuente: Elaboración propia.



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

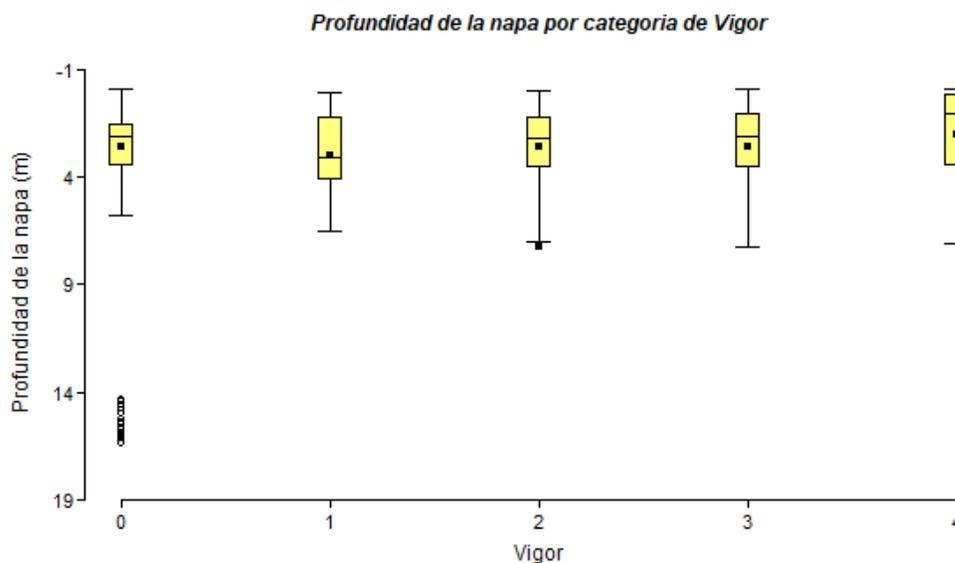
La Figura 6-16 representa a nivel general los valores de profundidad de la napa (promedio y mediana) asociados a cada categoría de vigor reportado por las plantas monitoreadas. En el gráfico de cajas se puede apreciar que las profundidades promedio de la napa reportadas para cada categoría de vigor varía entre 2,02 m a 3,00 m, siendo similares los promedios entre las categorías de vigor senescente (0), débil (2) y normal (3). Una mayor diferencia se aprecia al comparar las medianas, donde la categoría vigoroso (4) presenta los valores mas cercanos a la superficie (1,05 m) y la categoría muy débil presenta los valores de mayor profundidad (3,05 m).

Tabla 6-10. Resumen de la variación del profundidad de la napa por categoría de Vigor.

Vigor	n	Media	D.E.	Min	Max	Mediana	Q1	Q2
0	2860	2,61	2,14	-0,07	16,41	2,07	1,56	3,53
1	64	3,00	1,95	-0,06	6,55	3,05	1,19	4,18
2	440	2,62	1,69	-0,04	7,26	2,19	1,18	3,55
3	2417	2,61	1,81	-0,07	7,26	2,13	1,05	3,55
4	151	2,02	1,97	-0,07	7,07	1,05	0,13	3,53

Fuente: Elaboración propia.

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



Categoría de vigor 1 : Senescente; 2: Muy débil; 3: Débil; 4: Normal; 5: Vigoroso.
Fuente: Elaboración propia.



Por otra parte, la Figura 6-17 desglosa el comportamiento en el periodo 2007-2017 de la profundidad de la napa por cada categoría de vigor. El Análisis Multinivel presentado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** también la relación de la profundidad y el vigor. Respecto de los gráficos de cajas se puede señalar:

- Categoría senescente: desde el año 2007 se ha reportado plantas clasificadas en esta categoría de vigor, en parcelas con profundidades de la napa promedio de 2,57 m, mediana de 1,77 m y valores máximos de 16,09 m. Para el año 2017, se mantiene la presencia de plantas de esta categoría con profundidades de la napa promedio de 2,67 m; mediana 1,77 m y valor máximo 16,09 m. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad de napa y esta categoría de vitalidad.

- Categoría muy débil: similar al contenido de humedad, la presencia de plantas asociadas a esta categoría es eventual (Ver sección 6.3). Para el año 2007 se reporta 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 el año 2017 se registra una profundidad promedio similar a 2008, con un promedio de 2,35 m, mediana de 2,40 m y máximo de 4,13 m. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad de napa y esta categoría de vitalidad.

- Categoría débil: la incidencia de plantas clasificadas en esta categoría comienza a reportarse desde el año 2007, pero no se cuenta con registros de profundidad de la napa desde esa fecha, iniciando las cajas en año 2008 con una profundidad promedio de 2,68 m, mediana de 1,99 m y máximo de 5,70 m. La profundidad de la napa para 2017 reporta un promedio de 2,64 m, mediana de 2,79 m y un máximo de 7,26 m. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad y esta categoría de vitalidad.

- Categoría normal: esta categoría en 2007 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 de la napa para 2017 reporta un promedio de 2,86 m, mediana de 2,31 m y un máximo de 7,26 m. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad y esta categoría de vitalidad.

- Categoría vigoroso: 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 año 2017, los ejemplares en esta categoría coinciden con aquellos donde se ha reducido la profundidad de la napa, describiéndose un promedio de 1,45 m, mediana de 0,49 m y máximo de 3,67 m. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad y esta categoría de vitalidad.



Figura 6-17. Variación de la profundidad de la napa por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2017

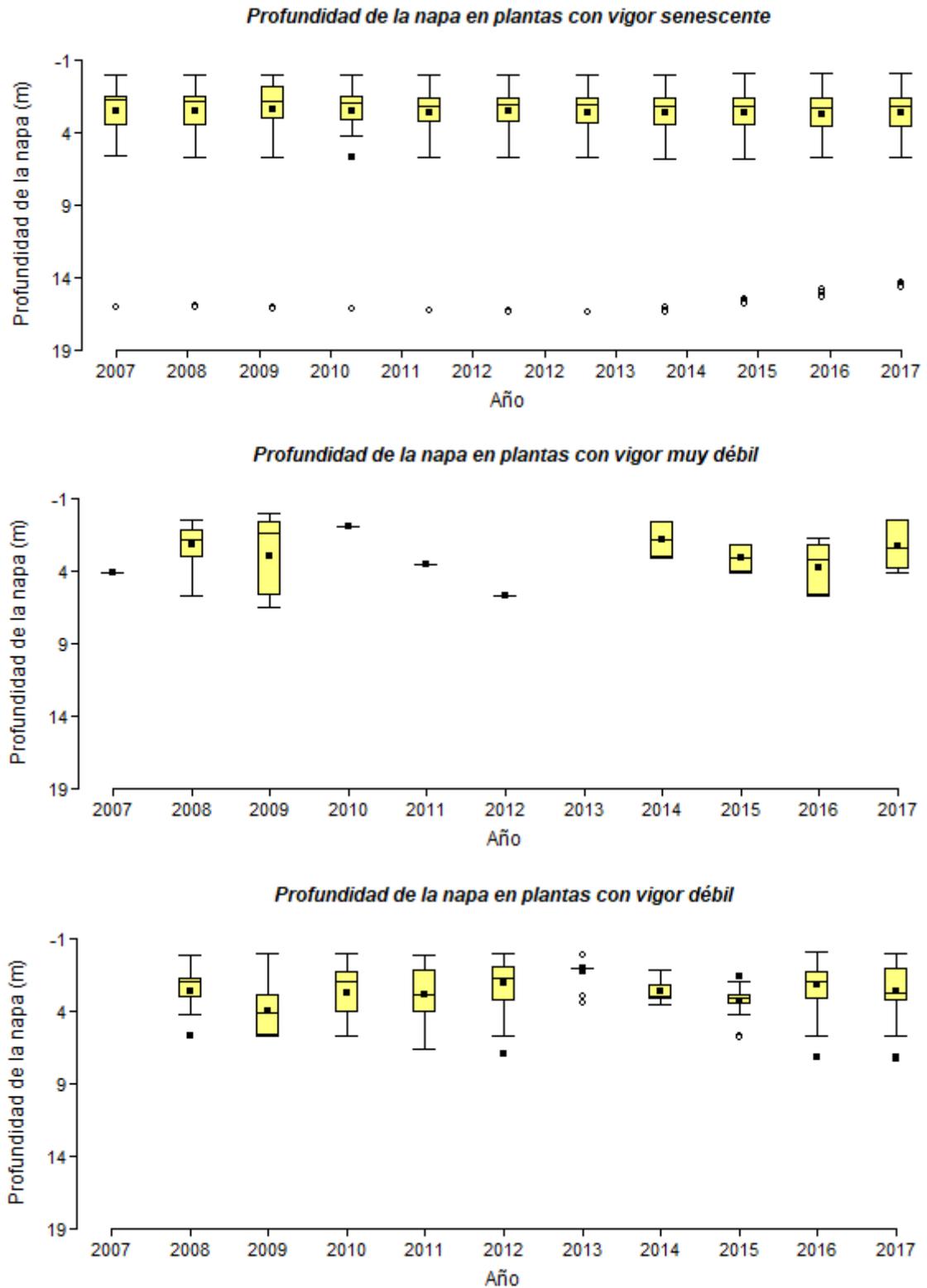
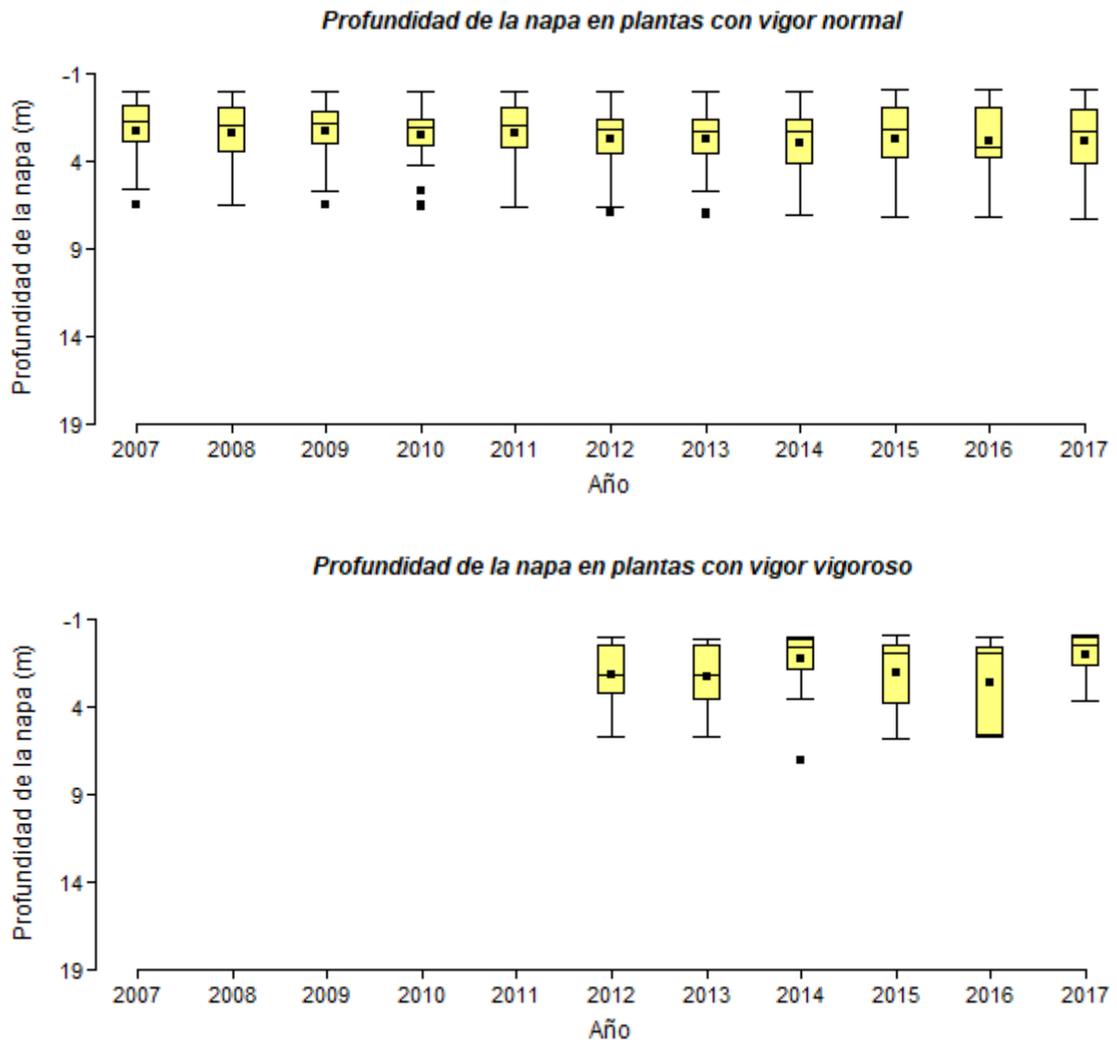


Figura 6-17. Variación de la profundidad de la napa por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2017



Fuente: Elaboración propia.



7. CONCLUSIONES

El contenido de humedad reportado por el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar para el año 2017 varió entre 0,773 g/g, observado en la parcela de monitoreo 1027 a valores de 0,014 g/g observado en la parcela L4-3. El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos L2-25 y L2-27 con desviaciones estándar de 0,072 y 0,066 g/g respectivamente. La mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en la parcela de monitoreo L1-3, cuya desviación estándar fue de 0,004 g/g.

Por otra parte, el contenido de humedad reportado por el Laboratorio SGS Chile Ltda. para el año 2017 varió entre 0,416 g/g, observado en la parcela de monitoreo 1027 a valores de 0,012 g/g observado en la parcela L4-3. El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos L2-27 y L3-5 con desviaciones estándar de 0,069 y 0,034 g/g respectivamente. La mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en la parcela de monitoreo L5-6, cuya desviación estándar fue de 0,005 g/g.

La profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2017 varió entre -0,005 m (L3-5) y 14,494 m (L4-3). La mayor variación de profundidad a lo largo del año se observó en el Pozo L4-3 con una desviación estándar de 0,161 m respectivamente, mientras que la mayor homogeneidad de la profundidad de la napa durante el año se presentó en la parcela de monitoreo L3-15 cuya desviación estándar fue de 0,006 m.

Se identifica que existe una relación exponencial inversa entre el contenido de humedad y la profundidad de la napa, apreciándose que en la medida que la napa se acerca a la superficie aumenta el contenido de humedad gravimétrico del suelo. La relación de ambas propiedades tiene su punto de inflexión cercano a los 4 m, cuando la pendiente cambia y el contenido de humedad tiende a disminuir en menor proporción a mayor profundidad de la napa. Esto implicaría que los valores de contenido de humedad de los pozos L1-3, L9-1, L9-2 y L4-3 son menos sensibles a cambios en la profundidad de napa.

En el análisis histórico de contenido de humedad se ha identificado que las parcelas L7-7, L2-4, L2-25, L3-5 y L2-28 son las que ha variado en mayor grado sus valores de contenido de humedad. Se identifica que las cuatro primeras parcelas orientadas de oeste a este registran profundidades de napa menores a 0,90 m, lo cual significa que son sensibles a cambios en el nivel freático. Cuando se observan los gráficos presentados en la Figura 6-2, análisis históricos de profundidad de la napa, se aprecia que la pendiente del incremento en profundidad es escasa, señalando que hay factores ambientales como puede ser la radiación/evaporación que están influyendo sobre los valores de contenido de humedad. Por otra parte, la parcela 2-28 registra una profundidad de la napa promedio de 3,245 m, lo que implica que el contenido de humedad tiene poca sensibilidad a variaciones del nivel freático.

Respecto a los pozos con mayor variación de su profundidad (L2-27, L3-3 y L4-3), se identifica que los pozos L2-27 y L3-3 han tenido una baja variación del contenido de humedad (Figura 6-4), con tendencias del contenido humedad casi horizontales. El contenido de humedad en el pozo L4-3 no ha variado, considerando que a una profundidad de 14,494 m, el nivel freático no tiene efectos sobre el contenido de humedad.

Por último, la vegetación ha presentado variaciones en su estado a lo largo del año relacionado directamente con procesos fenológicos, los que implican aumentos y reducciones de copa verde o producción de estructuras reproductivas. Se detecta el incremento de individuos en las categorías de vitalidad seca, en especial *Tessaria absinthioides*.



Al analizar la relación entre la profundidad de la napa con el vigor de las plantas, se verifica que no existe relación estadística entre las variables. Por otra parte, el contenido de humedad si tiene relación con el vigor de las plantas, verificándose la ocurrencia de una correlación positiva y significativa con las categorías de vigor normal y vigoroso. El incremento de ejemplares en la categoría senescente no puede ser explicada por alguna de las variables analizadas, estimándose efectos ambientales sobre las plantas. Lo último es fundamentado, sobre la base de la aparición de regeneración cercana a las plantas monitoreadas, cambios en las parcelas de monitoreo que a causa del diseño muestral no se refleja en los resultados.



8. REFERENCIAS

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

