

Informe Anual  
Monitoreo Contenido de Humedad del Suelo 2018

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

Preparado para  
SQM Salar  
GEOB.SQM512.INF02.rev0  
Marzo 2020

**geobiota**



Informe Anual Monitoreo Contenido de Humedad del Suelo 2018  
GEOB.SQM512.INF02

Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
A	Nombre	CI – AP	CC	CC	Para revisión interna
	Fecha	20-01-2020	18-02-2020	18-02-2020	
B	Nombre	CI	CC	XA	Para aprobación del cliente
	Fecha	20-02-2020	18-02-2020	19-02-2020	
C	Nombre	CI	CC	XA EJ JM	Para aprobación del cliente
	Fecha	20-02-2020	03-03-2020		
0	Nombre	CI	JMG	CP	Para aprobación del cliente
	Fecha	19-03-2020	26-03-2020	29-03-20	

## Contenido

1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCIÓN .....	3
3.	OBJETIVO.....	5
4.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
	4.1.Descripción del área de estudio .....	6
	4.2.Ubicación de los puntos de muestreo .....	6
	4.3.Variable utilizadas para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales .....	9
	4.4.Metodología .....	9
	4.4.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	9
	4.4.2. Profundidad de la napa subterránea.....	12
	4.4.3. Estado vital de la vegetación.....	13
	4.5.Materiales .....	15
	4.5.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	15
	4.5.2. Profundidad de la napa subterránea.....	15
	4.5.3. Vitalidad de la vegetación .....	16
	4.6.Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro .....	16
	4.6.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	16
	4.6.2. Profundidad de la napa subterránea.....	16
	4.6.3. Estado vital de la vegetación.....	17
5.	RESULTADOS .....	17
	5.1.Contenido de humedad del suelo .....	17
	5.1.1. Laboratorio Algoritmos SpA.....	17
	5.1.2. Laboratorio metalúrgico SQM Salar.....	18
	5.1.3. Relación de los valores reportados entre laboratorios .....	20
	5.2.Profundidad de la napa.....	21
	5.3.Relación Contenido de humedad y napa freática .....	23
	5.3.1. Laboratorio Algoritmos SpA.....	23
	5.3.2. Laboratorio metalúrgico faena SQM Salar .....	24
	5.1.Estado vital de la vegetación.....	25
	5.1.1. Porcentaje de copa viva.....	25
	5.1.2. Vitalidad .....	27
	5.1.1. Fenología.....	30
6.	DISCUSIÓN.....	33

6.1. Variación del contenido de humedad del suelo en el tiempo.....	33
6.2. Variación de la profundidad de la napa en el tiempo .....	43
6.3. Variación interanual de la vitalidad de la vegetación .....	52
6.3.1. <i>Atriplex atacamensis</i> .....	53
6.3.2. <i>Distichlis spicata</i> .....	57
6.3.3. <i>Nitrophila atacamensis</i> .....	61
6.3.4. <i>Tessaria absinthioides</i> .....	64
6.4. Relación de la vitalidad de la vegetación y el contenido de humedad .....	68
6.5. Relación de la vitalidad de la vegetación y la profundidad de la napa .....	72
7. CONCLUSIONES .....	76
8. REFERENCIAS .....	77

## 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 Salar de Atacama (UTM Datum WGS84 Huso 19S).....	6
Tabla 4-2. Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, nivel napa y estado vital de la vegetación. Corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006, numeral 10.3.1.1.....	6
Tabla 4-3. Profundidad del estrato con presencia de raíces.....	9
Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA. en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2018.....	17
Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas de 2018.....	18
Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2018.....	21
Tabla 5-4. Especies vegetales presente en las 18 parcelas de monitoreo. ....	25
Tabla 5-5. Número y proporción de individuos por clase de Copa Viva.....	25
Tabla 5-6. Proporción del total de individuos con Copa Viva mayor a 5%; 25%; 50%; y 75%.....	26
Tabla 5-7. Resumen de individuos por categoría de vitalidad. ....	28
Tabla 5-8. Resumen de individuos por categoría de Fenología.....	31
Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de enero periodo 2007 – 2018. ....	35
Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de abril periodo 2007 – 2018. ....	36
Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de julio periodo 2007 – 2018.....	37
Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de octubre periodo 2007 – 2018. ....	38

Tabla 6-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por los laboratorios SGS (2016-2017) y Algoritmos (2018), periodo 2016 – 2018.....	39
Tabla 6-6. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de enero durante el periodo 2008 a 2018.....	45
Tabla 6-7. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de abril durante el periodo 2008 a 2018.....	46
Tabla 6-8. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2018.....	47
Tabla 6-9. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2018.....	48
Tabla 6-10. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de Vigor.....	68
Tabla 6-11. Resumen de la variación de la profundidad de la napa por categoría de Vigor.....	72

## Figuras

Figura 4-1. Ubicación de los pozos de muestreo.....	8
Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo.....	12
Figura 4-3. Esquema del proceso de medición en un pozo.....	13
Figura 4-4. Medición del estado vital de la vegetación (a=individuo rotulado; b=medición altura).....	15
Figura 4-5. Pozómetro utilizado para la medición de la napa.....	16
Figura 5-1. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Algoritmos Spa, para el año 2018.....	18
Figura 5-2. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Laboratorio SQM Salar, para el año 2018.....	20
Figura 5-3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrica obtenido por el Laboratorio SQM Salar y Laboratorio de Algoritmos para el año 2018.....	21
Figura 5-4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2018.....	22
Figura 5-5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2018.....	23
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 2018.....	24
Figura 5-7. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en 2018.....	27
Figura 5-8. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de 2018.....	29
Figura 5-9. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en 2018.....	30
Figura 5-10. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de 2018.....	32
Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2018.....	34
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 2018.....	42

Figura 6-3. Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2018), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados.....	43
Figura 6-4. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2018.....	51
Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2018.....	53
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> .....	54
Figura 6-7. <i>Atriplex atacamensis</i> : Número de individuos por clase de Copa Viva (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por categoría de fenológica (C). Campañas 2007 a 2018.....	56
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> .....	57
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 2018.....	60
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> .....	61
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 2018.....	63
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> .....	65
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 2018.....	67
Figura 6-14. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de Vigor.....	69
Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vigor, desde el año 2007 al 2018.....	70
Figura 6-16. Variación de la profundidad de la napa por categoría de Vigor.....	73
Figura 6-17. Variación de la profundidad de la napa por categoría de vigor, desde el año 2007 al 2018.....	74

## Anexos

- Anexo 1. Estado vital de la vegetación
- Anexo 2. Registro de humedad
- Anexo 4. Responsables y participantes del seguimiento ambiental
- Anexo 3. Registro de precipitaciones
- Anexo 5. Resultado modelo estadístico

## 1. RESUMEN

El seguimiento ambiental del contenido de humedad del suelo, profundidad de la napa y vitalidad de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama 2018, tiene por objetivo detectar oportunamente los posibles cambios en estas variables producto del bombeo de los pozos asociados al proyecto.

El monitoreo contempla 18 parcelas de monitoreo permanente, ubicadas adyacentes a pozos de nivel freático, los que forman parte del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico asociado a la RCA N°226/2006.

Los resultados indican que el Contenido de Humedad del Suelo (CHS) responde a las características de los sectores monitoreados, las que cambian respecto a su ubicación en el salar. Como se ha registrado a lo largo del seguimiento del proyecto, en promedio las parcelas tienen mayor contenido de humedad hacia el oeste, valor que disminuye mientras el monitoreo se desplaza en dirección este. Esto se aprecia tanto en las muestras analizadas por el laboratorio Metalúrgico de SQM Salar como en las muestras del laboratorio de Algoritmos SpA (autorizado como ETFA).

La profundidad promedio de la napa tiende a ser mayor en dirección de oeste a este (pendiente positiva con  $R^2 \approx 33\%$ ). Sin embargo, la tendencia no es clara respecto a la distribución espacial de las muestras, ya que los puntos de monitoreo ubicados en la zona intermedia (sentido oeste-este), registran una profundidad promedio variable entre las secciones del extremo norte y del extremo sur.

Los resultados del actual monitoreo son concordantes con los monitoreos históricos, donde las parcelas ubicadas hacia el oeste presentan mayor contenido de humedad gravimétrico y mayor variabilidad temporal, que aquellas ubicadas hacia el este.

Los resultados indican que la variabilidad histórica de la profundidad de la napa freática es baja, lo que se refleja en los resultados actuales, donde no se observa una tendencia respecto a la ubicación espacial de los pozos prospectados, a diferencia de lo que ocurre con la medición del CHS. Los pozos L2-26, L2-28, L3-15, L5-6 y L4-3 registran las mayores desviaciones estándar respecto de la profundidad de la napa en los cuatro periodos estudiados. Por otro lado, el pozo L3-5 y L4-3 representan el menor y mayor nivel promedio para el año 2018, respectivamente.

En general la vegetación asociada a los pozos monitoreados presenta una fenología bajo la categoría de "crecimiento vegetativo", principalmente en los meses de enero, abril y octubre. Durante el monitoreo de julio las plantas se encuentran mayoritariamente en un estado recesivo, mientras que los periodos de mayor expresión de la vegetación son los meses de enero y abril. En general, la vegetación se ha comportado de acuerdo con lo observado históricamente en los periodos estudiados.

En particular *Atriplex atacamensis* posee una copa verde que tiende a persistir durante todas las campañas, variando en cantidad de registros, lo que se relaciona 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.

*Distichlis spicata* tiene una copa verde variable en el tiempo, posee generalmente un vigor normal, excepto en enero, donde destaca la presencia de ejemplares vigorosos. Su fenología mayoritariamente correspondiente a crecimiento normal.

*Nitrophila atacamensis* históricamente, en el mes de enero, tiene una copa con porcentajes mayoritariamente entre 75 – 100%. En abril, los registros históricos son variables y menos afines al panorama de verano, sin embargo, siempre con algún grado de follaje verde, el cual varía de <5% hasta 75-100% en algunos años. Hacia el invierno, la copa verde tiende a 0%, el vigor situarse en las categorías seco y débil, y la fenología estar representada por individuos en su mayoría con senescencia.

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

Cabe destacar que la metodología establecida para este muestreo según la RCA 226/2006 considera ejemplares fijos a describir en cada parcela, los que fueron identificados y etiquetados en 2008, prescindiendo del estado de toda la vegetación del área adyacente a los pozos (que al pasar del tiempo pudo emerger), lo que impide considerar los nuevos individuos. Este hecho se considera de importancia, ya que no se prospecta la totalidad de la vegetación asociada al área de influencia de los pozos, y por lo tanto el seguimiento histórico se ve afectado, al no considerar otros factores que estén influyendo en la cantidad de individuos reportados con senescencia año a año. es necesario aclarar que este hecho no ocurre en las parcelas dominadas por especies herbáceas, ya que la metodología de monitoreo para ellas se sustenta en la descripción de toda la biomasa presente en la parcela.

Respecto al análisis multinivel que relaciona el vigor de toda la vegetación prospectada, el contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa, se concluye que no existe relación directa entre las bajas vitalidades reportadas históricamente para los individuos y las variables mencionadas anteriormente. Sin embargo, se observa disminución de vitalidad de los individuos, principalmente en ejemplares de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*, versus niveles estables de CHS y profundidad de napa en el tiempo. Como se indicó en el párrafo anterior, esto puede relacionarse con el diseño muestral bajo el cual se realiza el monitoreo. Por lo que los resultados pueden ser un reflejo del ciclo natural de crecimiento de estas plantas.

## 2. INTRODUCCIÓN

El monitoreo de las variables contenido de humedad del suelo (CHS), profundidad de napa y estado de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama, forma parte del Plan de Seguimiento Ambiental asociado al EIA “Cambios y Mejoras de la Operación Minera del Salar de Atacama” de SQM Salar S.A. el cual está contemplado en el numeral 10.3.1 de la Resolución Exenta N° 226/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente II Región (RCA N° 226/06), que aprueba ambientalmente el EIA antes mencionado.

Las variables de interés son monitoreadas durante el periodo de un año, desde el 2008. Sin embargo, cada variable es monitoreada en tiempos diferentes. En la Tabla 2-1 se especifica la frecuencia de medición de las variables y su respectiva entrega de reportes.

**Tabla 2-1. Variables y frecuencia de medición del monitoreo de contenido de humedad PSA del Salar de Atacama, de acuerdo con lo establecido en la RCA N°226/2006.**

Componente ambiental	Considerando RCA N°226/06	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	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.

Conforme a la RCA 226/2006, la medición tiene por objeto detectar cambios en el contenido de humedad del suelo, relacionados con un potencial descenso del nivel freático ocasionado por la extracción de agua dulce de los pozos Mullay 1, Allana y Camar 2, que pudieran alterar el desarrollo de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama. Para tal efecto, el Plan de Seguimiento Ambiental contempla medir el contenido de humedad del suelo a distintas profundidades en una muestra de 18 puntos ubicados a lo largo de la franja de vegetación existente en el área de influencia de los pozos de extracción de agua dulce Mullay 1, Allana y Camar 2. Los 18 puntos seleccionados se ubican en forma contigua a puntos de control del plan de seguimiento ambiental hidrogeológico del sistema Borde Este y los sistemas lacustres Soncor y Aguas de Quelana. Esta ubicación permite conformar un diseño muestral que considera mediciones del nivel de la napa subterránea, el contenido de humedad en el perfil del suelo y el estado vital de la vegetación presente para cada punto de medición. A través del seguimiento de estas variables se podrá verificar si existen efectos en la disponibilidad de agua para la vegetación producto de la operación del proyecto (Tabla 2-1 y Figura 4-1).

En cada punto de muestreo, y en forma contigua al pozo de muestreo de nivel de la napa, se instala una parcela circular de radio 5 metros en un sector representativo de la formación vegetal presente. En el centro de cada parcela se mide el contenido de humedad del suelo. Adicionalmente, al interior de cada parcela se identifica y se marcan los ejemplares de las especies presentes, los que serán objeto de evaluaciones periódicas de su estado vital y sanitario. En el caso de las especies herbáceas se considerará toda la biomasa vegetal ubicada al interior de la parcela. La medición del estado vital y sanitario de los ejemplares seleccionados en cada parcela se efectuará durante el periodo en que las formaciones vegetales del Borde Este presentan follaje con biomasa fotosintéticamente activa, lo que ocurre aproximadamente entre los meses de noviembre y mayo.

En marzo del año 2008 se inició el bombeo de agua para uso industrial en el pozo Camar 2 y en septiembre del mismo año, comenzaron su operación los pozos Allana y Mullay 1. A principios del 2008 se entregaron dos informes preoperacionales y a partir de esa fecha se han generado nueve informes operacionales anuales (2009-2017), que compilan los monitoreos ejecutados trimestralmente. El presente documento corresponde al Décimo Informe Operacional Anual y expone los resultados del periodo 2018.

### 3. OBJETIVO

Conforme a lo señalado en la RCA 226/2006, numeral 10.3.1, la medición del contenido de humedad del suelo tiene por objeto detectar cambios en el contenido de humedad del suelo, relacionados con un potencial descenso del nivel freático ocasionado por la extracción de agua dulce de los pozos Mullay 1, Allana y Camar 2, que pudieran alterar el desarrollo de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Descripción del área de estudio

El Salar de Atacama corresponde al mayor depósito salino de Chile y está ubicado en la cuenca endorreica del Salar de Atacama, Región de Antofagasta, específicamente a 55 km de San Pedro de Atacama y 316 km al noreste de Antofagasta. El área de estudio del seguimiento ambiental es el Borde Este del Salar, la ubicación espacial donde se ejecuta el Plan de Seguimiento Ambiental se desarrolla en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Coordenadas de los vértices del Borde Este del Salar 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	-	-	-

### 4.2. Ubicación de los puntos de muestreo

El monitoreo se realiza en 18 parcelas permanentes, de tipo circular con un radio de 5m, ubicadas adyacentes a los pozos de monitoreo de nivel freático (ver Tabla 4-2 y Figura 4-1). En cada parcela se realizan las mediciones de contenido de humedad de suelo, profundidad de la napa y monitoreo de vegetación. En la Tabla 4-2 se muestran las coordenadas de cada punto de muestreo (corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006). Se han ordenado los puntos de muestreo de norte a sur para facilitar su ubicación en el mapa.

Tabla 4-2. Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, nivel napa y estado vital de la vegetación. Corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006, numeral 10.3.1.1.

Nº	Pozo	Este	Norte	Vegetación existente
1	1027	589.996	7.425.017	Pradera muy abierta Grama Salada
2	L7-7	589.303	7.423.190	Pradera rala de Grama Salada
3	L7-14	592.600	7.422.900	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
4	L1-3	593.909	7.419.080	Matorral ralo de Cachiyuyo
5	L2-26	594.250	7.415.000	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
6	L2-25	592.645	7.415.077	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
7	L2-4	592.031	7.414.984	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo
8	L2-28	594.770	7.412.480	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo
9	L2-27	593.670	7.412.480	Matorral muy abierto de Brea-Cachiyuyo
10	L3-15	595.270	7.410.000	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
11	L3-5	594.086	7.409.890	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
12	L3-3	594.816	7.409.882	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo

Tabla 4-2. Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, nivel napa y estado vital de la vegetación. Corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006, numeral 10.3.1.1.

Nº	Pozo	Este	Norte	Vegetación existente
13	L4-3	596.294	7.406.648	Matorral ralo de Rica rica-Pingo pingo
14	L4-17	595.380	7.406.312	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
15	L5-6*	595.737	7.404.824	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
16	L5-7	595.653	7.403.910	Matorral semidenso de Brea-Cachiyuyo
17	L9-2	594.684	7.396.800	Matorral muy abierto de Brea-Cachiyuyo
18	L9-1	595.067	7.396.685	Matorral muy abierto de Cachiyuyo

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

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

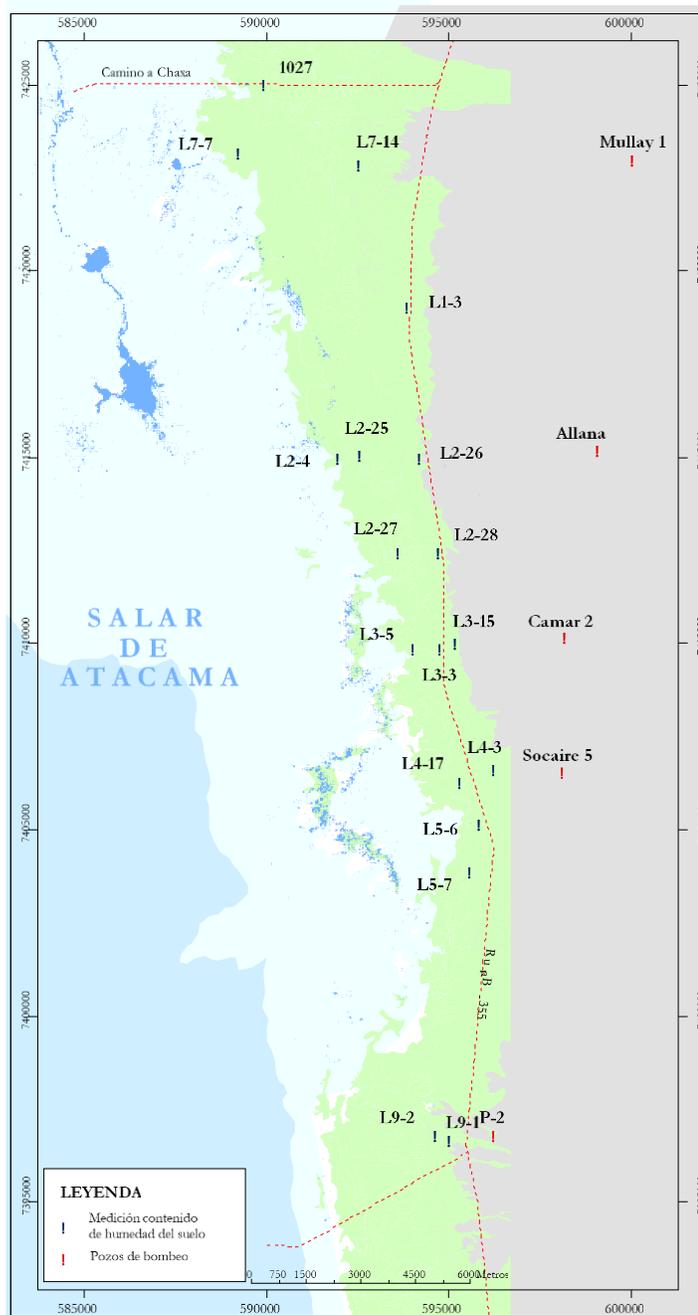


Figura 4-1. Ubicación de los pozos de muestreo.

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

### 4.3. Variables utilizadas para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales

Conforme a lo señalado en la RCA 226/2006, las variables utilizadas para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales son: Contenido de humedad gravimétrico del suelo, profundidad de la napa subterránea y estado vital de la vegetación, evaluado mediante el vigor, copa verde y fenología.

### 4.4. Metodología

#### 4.4.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo

Para la medición del contenido de humedad gravimétrico del suelo se extraen tres muestras desde una calicata realizada en cada parcela de monitoreo, esta actividad fue llevada a cabo por la ETFA Algoritmos, autorizada para el muestreo de suelos por medio de la Resolución Exenta N°178/2017 SMA.

Las muestras de suelo son extraídas a una profundidad variable en cada parcela, la que es definida en función del crecimiento radicular de la vegetación. En la primera campaña de la etapa preoperacional (abril 2007) se realizó el análisis que permitió determinar esta profundidad, el detalle por parcela se muestra en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Profundidad del estrato con presencia de raíces

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

Las muestras son enviadas a dos laboratorios:

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

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

Los estudios realizados por la ETFA Algoritmos SpA. no son comparables con los datos históricos de CHS, ya que las muestras son analizadas con un margen de tiempo mayor que el Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar, el cual está ubicado en faena y analiza las muestras el mismo día que son colectadas.

#### 4.4.1.1. Metodología utilizada

Los análisis ETFA de contenido de humedad gravimétrico de suelo para el año 2018 estuvo a cargo de Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA. (ETFAs autorizada para el muestreo de suelos por medio de la Resolución Exenta N°63 SMA). A diferencia de las mediciones de los años precedentes (2016 – 2017), donde los análisis fueron realizados por SGS Chile Ltda.

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

##### a. Laboratorio Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA.

Entidad a cargo de la toma y análisis de las muestras correspondientes al año 2018 de monitoreo. El método de ensayo utilizado para la determinación de humedad de las muestras de suelo corresponde al MLAB-S-01, basado en la NCh 1515 Of 79, la cual se encuentra aprobada por el INN.

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

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

Donde:

$w$  = humedad (%)

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

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

$mr$  = masa del recipiente (g)

##### b. Metodología laboratorio SGS Chile Ltda.

Cabe destacar que, las mediciones del año 2016 y 2017 fueron realizadas por el laboratorio ETFAs (RE N°303/2016 SMA) SGS Chile Ltda., sucursal Santiago. En ese entonces la metodología aplicada correspondió a "I-ENV-LAB-102 Rev.01 Basado en Métodos de Análisis Recomendados para Suelos (INIA, 2006)".

El procedimiento consta del secado de la muestra en una estufa a una temperatura  $105 \pm 5$  °C. La humedad se define como la pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la siguiente fórmula (aproximado a 0,1%):

$$\text{Agua (\%)} = \frac{a - b}{b - c} \times 100$$

Donde:

$a$  = masa en g del suelo seco al aire + recipiente

$b$  = masa en g del suelo seco a  $105 \pm 5$  °C + recipiente

$c$  = masa en g del recipiente

Dado que el cálculo está en base a suelo seco a  $105 \pm 5$  °C, el contenido de agua puede ser mayor de 100%.

En los siguientes capítulos se presentarán las discusiones asociadas a las mediciones de las ETFAs consultadas en el tiempo, los que serán analizados de forma conjunta, ya que las diferencias metodológicas entre los laboratorios ETFAs radican en la temperatura utilizada para secar las muestras de suelo, lo que solo afecta al tiempo en que la muestra alcanza la masa constante y no su valor final.

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

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

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

Determinación de peso húmedo (PH) de las muestras. La primera etapa 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:

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

Donde:

$CHg$  = Contenido de humedad gravimétrico ( $g/g$ )

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

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

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

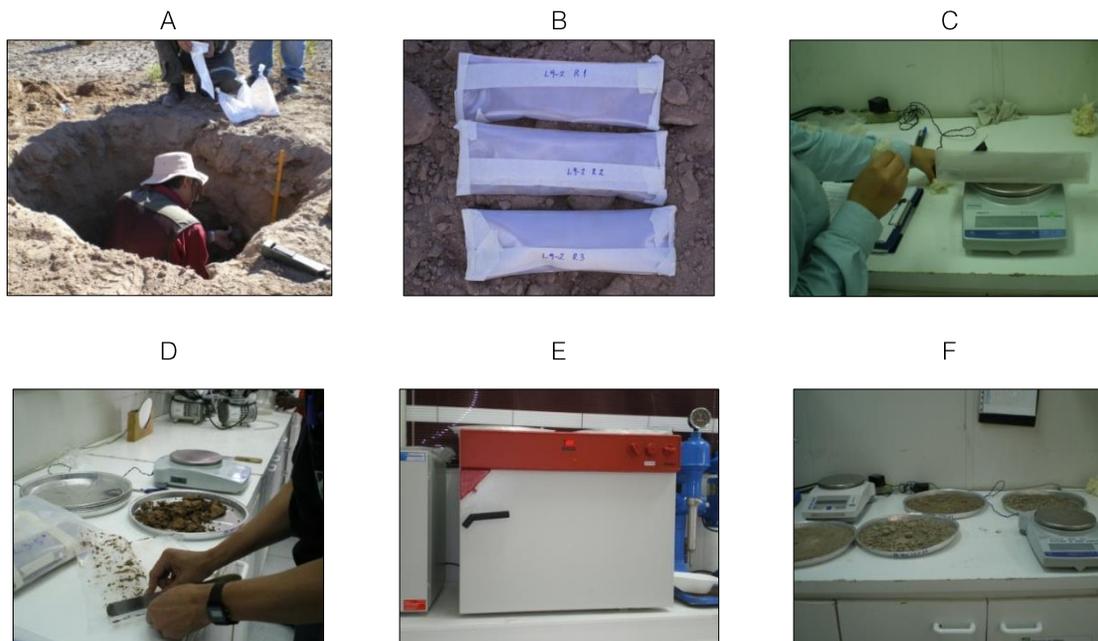


Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo

- En (A) Extracción de muestras calicatas.
- En (B) Embolsado de muestras en terreno.
- En (C) Pesaje de muestras húmedas con balanza de precisión.
- En (D) Extracción de la muestra de suelo y preparación para su secado.
- En (E) Estufa con circulación de aire utilizada para secar las muestras.
- En (F) Muestras secas en proceso de pesaje.

#### 4.4.2. Profundidad de la napa subterránea

Cada parcela de monitoreo permanente se encuentra adyacente a un pozo de monitoreo de nivel freático, los que son parte de la red de pozos del Plan de Seguimiento Hidrogeológico. La medición de la profundidad de la napa subterránea se realiza con un pozómetro, equipo que en uno de sus extremos posee un sensor sonoro y lumínico que detecta la presencia 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.

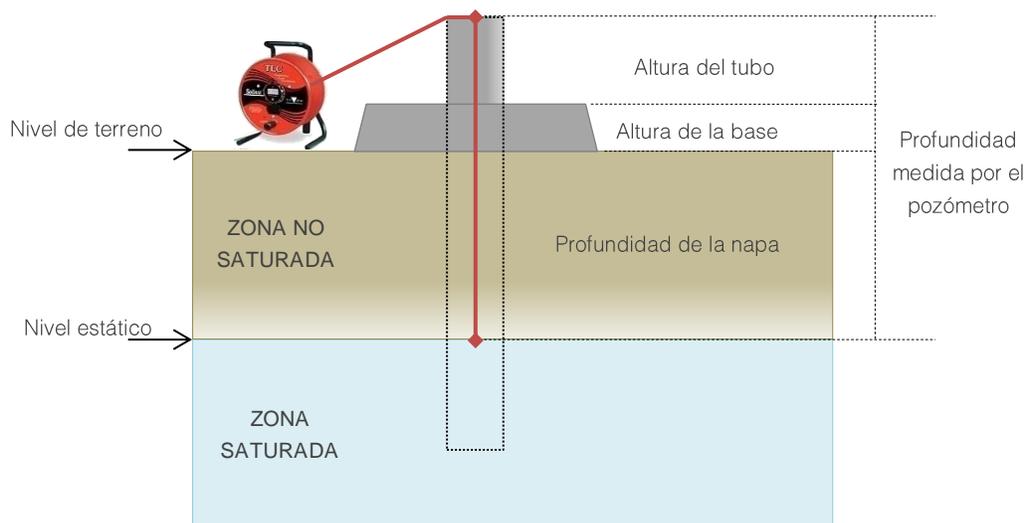


Figura 4-3. Esquema del proceso de medición en un pozo

#### 4.4.3. Estado vital de la vegetación

De acuerdo con la RCA N°226/2006, el monitoreo de vegetación asociado al presente informe debe efectuarse en dos mediciones al año durante la época de crecimiento de las plantas (noviembre a mayo). Sin embargo, con el fin de obtener un seguimiento continuo entre vegetación, nivel freático y CHS, el monitoreo se realiza trimestralmente en los meses de enero, abril, julio y octubre.

La evaluación de la vegetación se realiza en parcelas permanentes circulares de radio 5 m, las que fueron establecidas en la primera campaña de este monitoreo (abril 2007). En estas parcelas también se extraen las muestras para determinar el contenido de humedad gravimétrico del suelo.

Conforme a la RCA 226/2006, la medición del estado vital y sanitario de los ejemplares seleccionados en cada parcela se efectuó durante el periodo en que las formaciones vegetales del Borde Este presentan follaje con biomasa fotosintéticamente activa, lo que ocurre aproximadamente entre los meses de noviembre y mayo. Las mediciones reportadas en el presente informe son del mes de enero, abril, julio y octubre de 2018.

La vegetación asociada a estas parcelas requiere un seguimiento permanente, por lo que en cada una se escogieron 10 individuos arbustivos, los que fueron etiquetados para su control temporal (Figura 4-4). En las parcelas donde hubo un número menor de individuos por parcela, se etiquetaron todos los ejemplares presentes. Se efectuó un registro fotográfico de los ejemplares marcados. En el caso de vegetación herbácea se contabilizan y miden todos los individuos por especie. La evaluación de vitalidad de los ejemplares se realizó en función de las siguientes variables:

a) **Vitalidad.** Se efectuó una evaluación cualitativa de acuerdo con las siguientes categorías:

0. Ejemplar seco, no presenta follaje verde ni estructuras reproductivas de ningún tipo
1. Ejemplar muy débil, presenta escaso follaje verde, sin producción de frutos, se observan signos de ataque de patógenos

2. Ejemplar débil, aunque presenta follaje verde pueden observarse signos leves de ataque de patógenos, capaz de producir algunos frutos,
  3. Ejemplar de crecimiento normal, presenta gran parte de su follaje verde, producción de frutos, sin signos de patógenos
  4. Ejemplar excepcionalmente vigoroso, presenta abundancia de follaje y estructuras reproductivas
- b) **Porcentaje de copa viva.** Corresponde a la proporción de la biomasa aérea vegetal que presenta follaje con capacidad fotosintética (verde). Se evalúa según las siguientes categorías:

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

Adicionalmente se midieron las siguientes dos variables.

- **Altura:** Parámetro evaluado sólo en ejemplares arbustivos. Consiste en la medición de la distancia entre el suelo y el punto más alto de la planta, tomando como criterio para esto último, el follaje fotosintéticamente activo (cm). Cuando un individuo no presenta follaje verde, esta variable no es medida.
- **Estado Fenológico:** Evalúa la formación de estructuras en la planta según las siguientes categorías:

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



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

Para analizar los efectos de la humedad del suelo y la profundidad de la napa sobre la vitalidad de la vegetación, 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, a los cuales se añade lo reportado en el presente informe.

## 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 herméticas plásticas
- Frascos plásticos
- Pala
- Guantes

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

### 4.5.2. Profundidad de la napa subterránea

Para la medición de la profundidad de la napa subterránea se utilizó un Pozómetro (Figura 4-5).



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

#### 4.5.3. Vitalidad de la vegetación

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

- GPS
- Cámara fotográfica
- Flexómetro

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

##### 4.6.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo

El monitoreo de esta propiedad se realiza de forma trimestral. Los muestreos fueron realizados los días 16 y 17 de enero, 24 y 25 de abril, 31 de julio y 1 de agosto y 17 y 23 de octubre del año 2018. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio metalúrgico de SQM Salar el mismo día que se extrajeron de terreno, mientras que en el caso de la ETFA Algoritmos, se realizó el envío de muestras a Santiago (Región Metropolitana) para su posterior análisis en sus laboratorios.

##### 4.6.2. Profundidad de la napa subterránea

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 2018.

#### 4.6.3. Estado vital de la vegetación

El monitoreo del estado vital de la vegetación se realiza de forma trimestral y en conjunto con la toma de muestras de suelo (los días 16 y 17 de enero, 24 y 25 de abril, 31 de julio y 1 de agosto, y 17 y 23 de octubre del año 2018).

## 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 2018 por los dos laboratorios donde se ejecutaron los análisis.

#### 5.1.1. Laboratorio Algoritmos SpA.

La Tabla 5-1 muestra los resultados reportados por Algoritmos SpA. para las mediciones del contenido de humedad del suelo en las cuatro campañas correspondientes al monitoreo del año 2018.

Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA. en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2018.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g)					
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	Promedio (g/g)	Desv. est.
L7-7	0,525	0,474	0,502	0,529	0,5075	0,0253
1027	0,792	0,648	0,8	0,893	0,7833	0,1012
L2-4	0,532	0,52	0,499	0,557	0,5270	0,0242
L2-25	0,457	0,437	0,486	0,481	0,4653	0,0227
L7-14	0,321	0,251	0,345	0,346	0,3158	0,0447
L2-27	0,496	0,273	0,416	0,479	0,4160	0,1014
L1-3	0,031	0,008	0,023	0,036	0,0245	0,0122
L3-5	0,415	0,195	0,457	0,348	0,3538	0,1150
L2-26	0,121	0,104	0,167	0,135	0,1318	0,0267
L9-2	0,085	0,061	0,078	0,078	0,0755	0,0102
L2-28	0,134	0,111	0,108	0,151	0,1260	0,0203
L9-1	0,096	0,066	0,097	0,122	0,0953	0,0229
L3-15	0,059	0,047	0,061	0,079	0,0615	0,0132
L4-17	0,184	0,123	0,177	0,156	0,1600	0,0274
L5-7	0,302	0,231	0,281	0,278	0,2730	0,0300
L5-6	0,143	0,127	0,159	0,152	0,1453	0,0138
L3-3	0,124	0,099	0,107	0,109	0,1098	0,0104
L4-3	0,012	0,009	0,006	0,011	0,0095	0,0026

La Tabla 5-1 muestra el 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 2018. Los puntos de muestreo están distribuidos de oeste a este. La Figura 5-1 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 0,78 g/g a 0,4653 g/g. 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 0,0095 g/g y 0,0615 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 1027, con desviaciones estándar entre 0,1150 g/g y 0,1012 g/g. Mientras que la mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo L9-2, L3-3 y L1-3, cuyas desviaciones estándar fueron entre 0,0102 g/g y 0,0122 g/g.

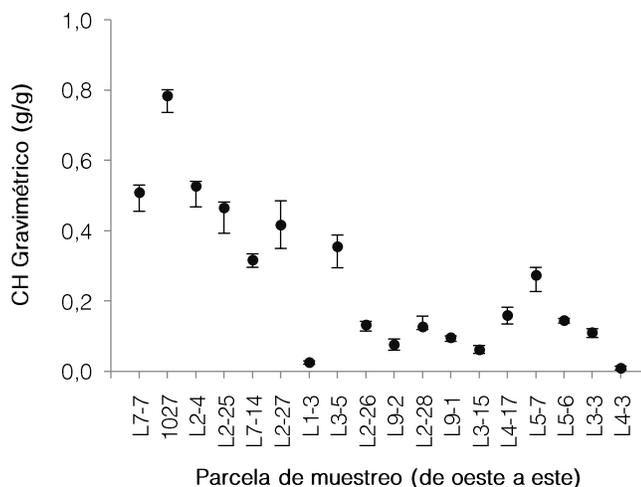


Figura 5-1. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Algoritmos Spa, para el año 2018.

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

### 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 2018. Los puntos de monitoreo se distribuyen de oeste a este.

Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas de 2018.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g)					
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	Promedio (g/g)	Desv. est.
L7-7	0,510	0,500	0,496	0,535	0,5101	0,0174
1027	0,806	0,705	0,799	0,977	0,8214	0,1132

Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas de 2018.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g)					
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	Promedio (g/g)	Desv. est.
L2-4	0,483	0,650	0,448	0,640	0,5553	0,1044
L2-25	0,480	0,569	0,488	0,515	0,5132	0,0403
L7-14	0,291	0,317	0,328	0,341	0,3191	0,0213
L2-27	0,491	0,417	0,506	0,537	0,4878	0,0508
L1-3	0,025	0,025	0,030	0,034	0,0285	0,0041
L3-5	0,436	0,321	0,390	0,422	0,3921	0,0511
L2-26	0,122	0,106	0,151	0,140	0,1300	0,0197
L9-2	0,091	0,084	0,084	0,079	0,0842	0,0049
L2-28	0,124	0,130	0,116	0,150	0,1300	0,0147
L9-1	0,098	0,101	0,094	0,113	0,1017	0,0080
L3-15	0,048	0,048	0,056	0,079	0,0577	0,0147
L4-17	0,185	0,136	0,163	0,200	0,1707	0,0278
L5-7	0,221	0,248	0,267	0,301	0,2592	0,0338
L5-6	0,167	0,133	0,161	0,153	0,1534	0,0149
L3-3	0,126	0,077	0,090	0,125	0,1044	0,0249
L4-3	0,010	0,008	0,005	0,015	0,0096	0,0040

El mayor contenido de humedad promedio se obtuvo en las parcelas ubicadas al oeste (1027, L2-4, L2-25 y L7-7), registrando valores que variaron entre 0,8214 g/g a 0,5101 g/g. 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 0,0096 g/g a 0,0577 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 1027, L2-4 y L3-5 con desviaciones estándar entre 0,1132 y 0,0511 g/g. Mientras que la mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo L4-3, L1-3 y L9-2, cuyas desviaciones estándar fueron entre 0,0040 g/g y 0,0049 g/g.

Los análisis de CHS reportados por el laboratorio Metalúrgico SQM Salar son consistentes con los estudios realizados por el laboratorio ETFA Algoritmos SpA. El que también reporta que los suelos ubicados hacia el oeste poseen mayor contenido de humedad que aquellos ubicados hacia el este del salar.

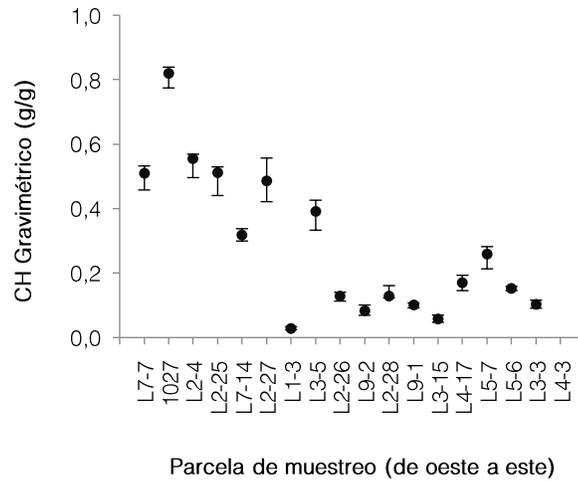


Figura 5-2. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Laboratorio SQM Salar, para el año 2018.

### 5.1.3. Relación de los valores reportados entre laboratorios

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

De acuerdo con los registros, el laboratorio Algoritmos reportó valores más bajos de contenido de humedad de suelo que el laboratorio de SQM Salar ( $R^2 = 0,97$ ), en aproximadamente el 63% del total de muestras tomadas durante el año. La posible causa de esta variación se relaciona con el tiempo de transporte de las muestras antes del análisis. En el caso de las muestras analizadas en el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar, es tiempo entre extracción y análisis es menor ya que este se ubica en el área industrial de la faena de SQM, por lo que las muestras son recibidas e ingresadas el mismo día de la colecta, a diferencia de las muestras de Algoritmos SpA, que son analizadas en Santiago. Se puede verificar en los certificados de laboratorio emitidos por Algoritmos SpA que existe un periodo de tiempo de 4 días o más desde la colecta hasta el ingreso de la muestra para su análisis, periodo de tiempo que tiene efectos en la pérdida de humedad de la muestra. Las diferencias observadas pueden superar 0,03 g/g en las muestras con mayor contenido de humedad de acuerdo con el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar.

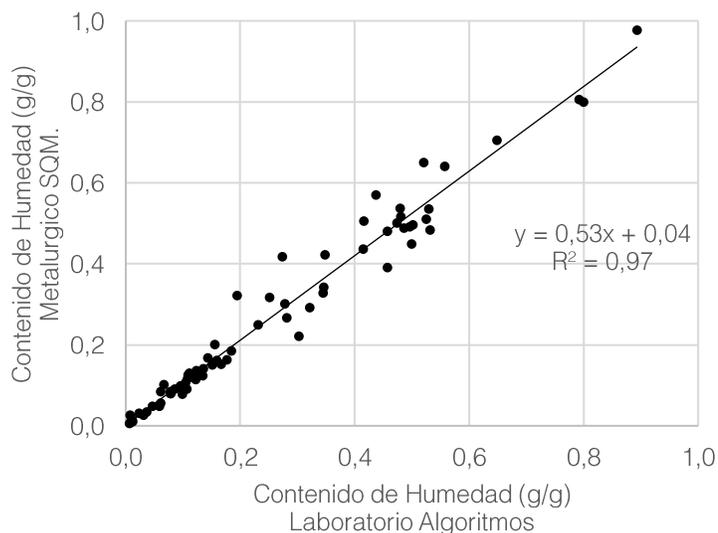


Figura 5-3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrica obtenido por el Laboratorio SQM Salar y Laboratorio de Algoritmos para el año 2018.

## 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 2018 según los datos reportados por Algoritmos (ETFA).

Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2018.

Pozos (oeste a este)	Profundidad napa (m)					
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	Promedio (m)	Desv. est.
L7-7	1,467	1,563	1,386	1,308	1,4310	0,0947
1027	0,923	0,999	0,849	0,822	0,8983	0,0689
L2-4	1,46	1,485	1,408	1,416	1,4423	0,0316
L2-25	1,49	1,501	1,48	1,481	1,4880	0,0085
L7-14	2,692	2,724	2,683	2,647	2,6865	0,0274
L2-27	2,007	2,301	1,967	1,885	2,0400	0,1570
L1-3	7,758	7,781	7,798	7,803	7,7850	0,0176
L3-5	0,815	0,887	0,763	0,746	0,8028	0,0549
L2-26	5,03	5,039	5,04	5,032	5,0353	0,0043
L9-2	5,283	5,359	5,346	5,31	5,3245	0,0299
L2-28	4,396	4,475	4,364	4,326	4,3903	0,0548
L9-1	6,859	6,921	6,922	6,893	6,8988	0,0257
L3-15	4,688	4,695	4,647	4,619	4,6623	0,0310

Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2018.

Pozos (oeste a este)	Profundidad napa (m)					
	ENERO	ABRIL	JULIO	OCTUBRE	Promedio (m)	Desv. est.
L4-17	2,797	2,815	2,767	2,733	2,7780	0,0311
L5-7	2,757	2,78	2,628	2,618	2,6958	0,0733
L5-6	3,458	3,472	3,366	3,366	3,4155	0,0497
L3-3	3,962	3,984	3,756	3,747	3,8623	0,1111
L4-3	14,387	14,273	14,181	14,075	14,229	0,1150

En la Figura 5-4 se presenta la profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2018. Las parcelas de monitoreo L3-5 presentó la menor profundidad promedio de la napa con un valor de 0,8028 m. En contraposición, la mayor profundidad promedio de la napa se observó en el pozo L4-3, llegando a 14,229 m, seguido por los pozos L1-3 (7,803 m) y L9-1 (6,893 m).

La profundidad de la napa en los puntos L4-3 y L3-3 registraron la mayor variación a lo largo del año, presentando una desviación estándar de 0,1150 y 0,1111 m. Mientras que la mayor homogeneidad de la profundidad de la napa durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo L2-26 y L2-25 cuya desviación estándar fue de 0,0043 y 0,0085 m, respectivamente.

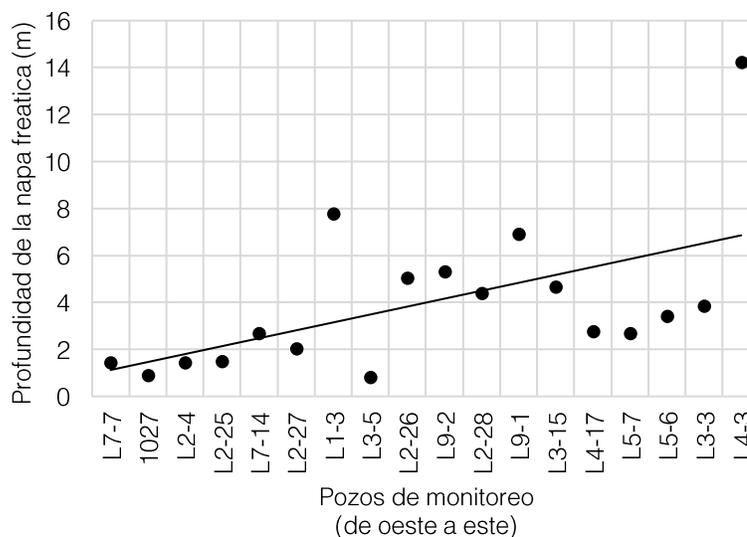


Figura 5-4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2018.

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

### 5.3. Relación Contenido de humedad y napa freática

La Figura 5-5 y Figura 5-6, muestran a continuación la relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por los Laboratorios metalúrgico de SQM Salar y Algoritmos SpA con la profundidad de la napa en cada campaña de monitoreo del año 2018.

#### 5.3.1. Laboratorio Algoritmos SpA

En los cuatro monitoreos del año 2018, 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 0,79 observado en el monitoreo de abril a 1 observada en el monitoreo de enero.

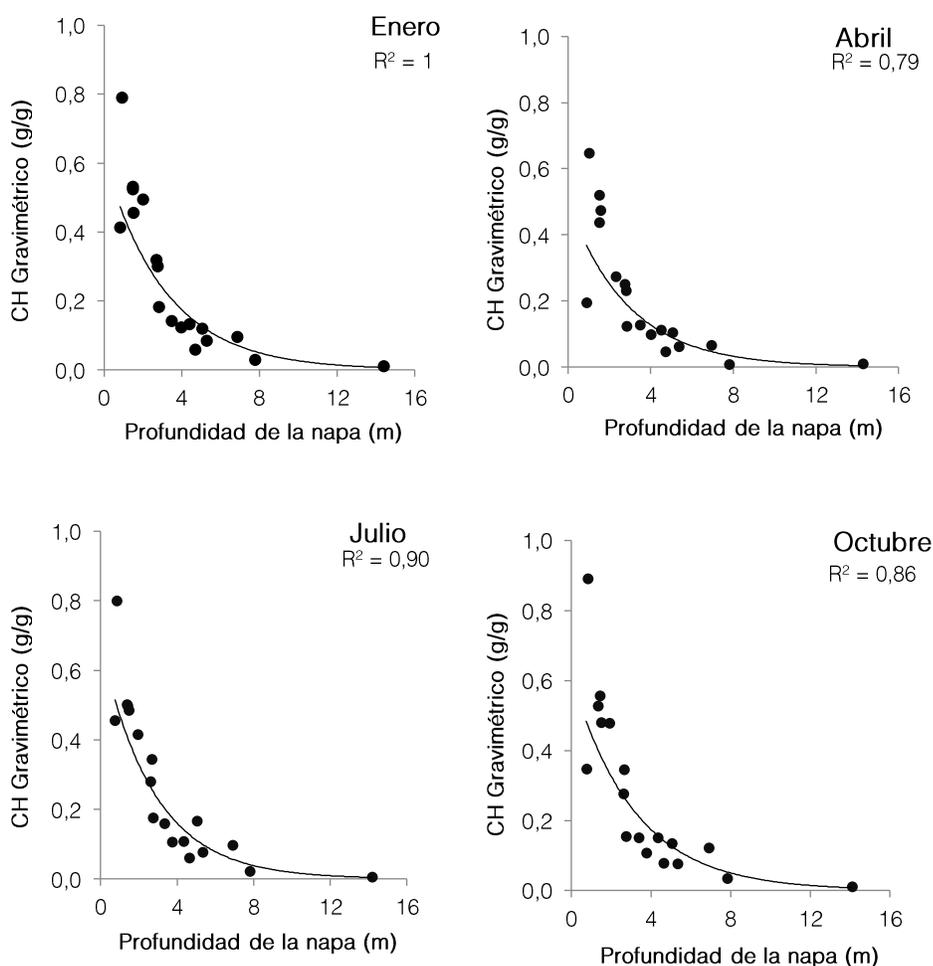


Figura 5-5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2018.

### 5.3.2. Laboratorio metalúrgico faena SQM Salar

En los cuatro monitoreos del año 2018 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 0,84 observado en el monitoreo de abril a 1 observada en el monitoreo de enero del 2018.

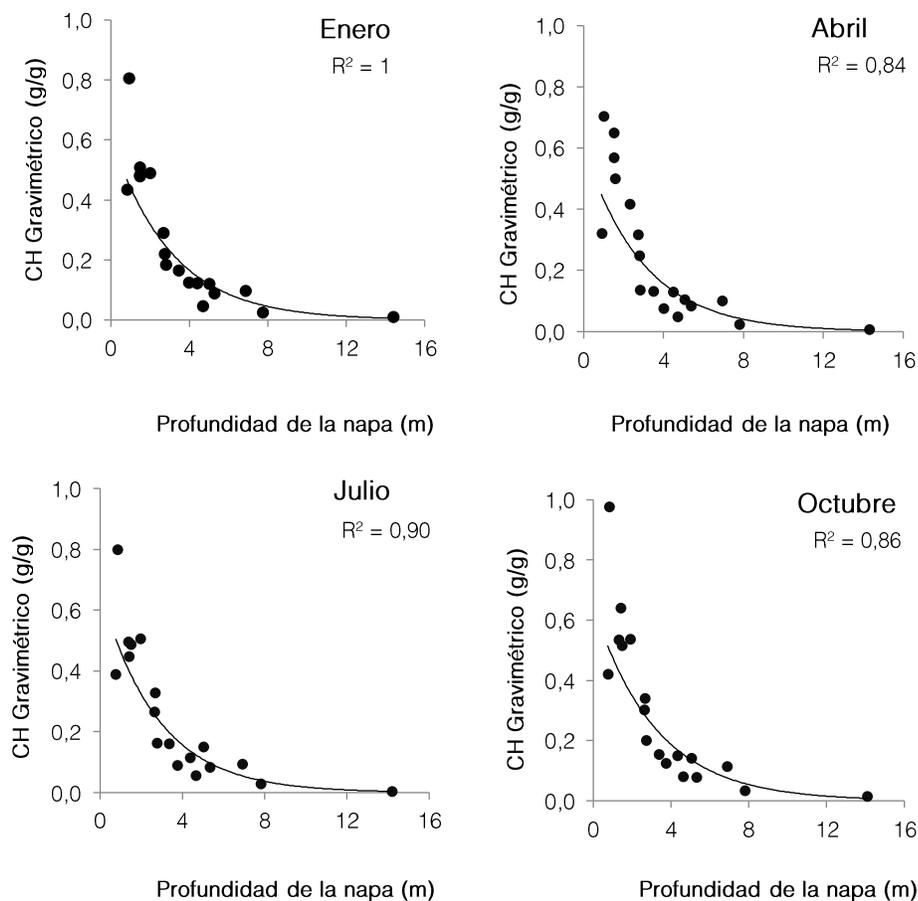


Figura 5-6. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2018.

## 5.1. Estado vital de la vegetación

Para el seguimiento del estado vital de la vegetación se han medido las siguientes variables: Porcentaje de Copa Viva, Vitalidad y Estado Fenológico. La Tabla 5-4 muestra el listado de especies presente en las 18 parcelas de monitoreo.

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

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

Si bien la RCA N° 226/2006, contempla la realización de dos monitoreos al año del estado vital de la vegetación, se realizan cuatro mediciones con el fin de aportar más información a los análisis. En relación con esto, los párrafos siguientes describen el Porcentaje de Copa Viva, la Vitalidad y Fenología de los individuos monitoreados durante el periodo 2018.

### 5.1.1. Porcentaje de copa viva

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 5-5. Número y proporción de individuos por clase de Copa Viva

Clase de Copa Viva	Número de individuos por clase de Copa Viva				Proporción en % del número de individuos por clase de Copa Viva			
	Ene	Abr	Jul	Oct	Ene	Abr	Jul	Oct
0%	63	59	114	96	45,0	42,1	81,4	68,1
<5%	3	7	2	13	2,1	5,0	1,4	9,2
5-25%	20	13	6	12	14,3	9,3	4,3	8,5
25-50%	23	33	6	7	16,4	23,6	4,3	5,0
50-75%	16	16	6	6	11,4	11,4	4,3	4,3
75-100%	14	10	5	3	10,0	7,1	3,6	2,1
No aplica	1	2	1	4	0,7	1,4	0,7	2,8
total	140	140	140	141 <sup>(1)</sup>	100	100	100	100

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

Tabla 5-6. Proporción del total de individuos con Copa Viva mayor a 5%; 25%; 50%; y 75%

Clase de Copa Viva	Mes de monitoreo			
	Enero	Abril	Julio	Octubre
> 5%	52,1%	51,4%	16,4%	19,9%
> 25%	37,9%	42,1%	12,1%	11,3%
> 50%	21,4%	18,6%	7,9%	6,4%
>75%	10,0%	7,1%	3,6%	2,1%

Tal como fue previsto en el Estudio de Impacto Ambiental, la mayor cantidad de biomasa se produce entre los meses de noviembre y mayo, cual se ve reflejado en las mediciones de enero y abril (Tabla 5-6).

Los resultados muestran un patrón fenológico de las plantas asociado a la estacionalidad. En los primeros dos trimestres más del 50% de los individuos presentan Copa Viva (Tabla 5-6). Entre los meses de julio y octubre, ésta disminuye por (Tabla 5-7 y Tabla 5-8: a) la senescencia de las especies arbustivas (80% de plantas senescentes en julio versus 45% en abril); b) la disminución del crecimiento vegetativo (12% de las plantas en con crecimiento en julio versus 36% en abril) y c) la vitalidad (81% de las plantas secas en julio versus 42% en abril)

En enero el 45% de la vegetación no presento copa verde. De los ejemplares restantes el 16,4% presentó copa verde entre 25 a 50%; y otro 14,3% copa entre 5 a 25%. Los ejemplares con copa verde entre 75-100% alcanzo el 10%.

En el mes de abril se aprecia una leve disminución de los individuos sin copa verde respecto al mes anterior, alcanzando el 42,1%. Por otra parte, se registró un 23,6% de individuos en la categoría 25-5%, mientras que las categorías 5-25% y 75-100% reportaron 9,3% y 7,1%.

En julio la mayor concentración de ejemplares tuvo una copa verde de un 0%, representando un 81,4% de los individuos. El resto de las categorías se ven representadas por porcentajes que no superan el 5% cada una.

Respecto al mes de octubre, se observa una leve baja de individuos con copa verde 0% en relación con julio, llegando al 68,1% de ejemplares. Las categorías <5% y 5-25% llegaron a 13 y 12 registros respectivamente (9,2% y 8,5% del total). El resto de las categorías no superó el 5% del total.

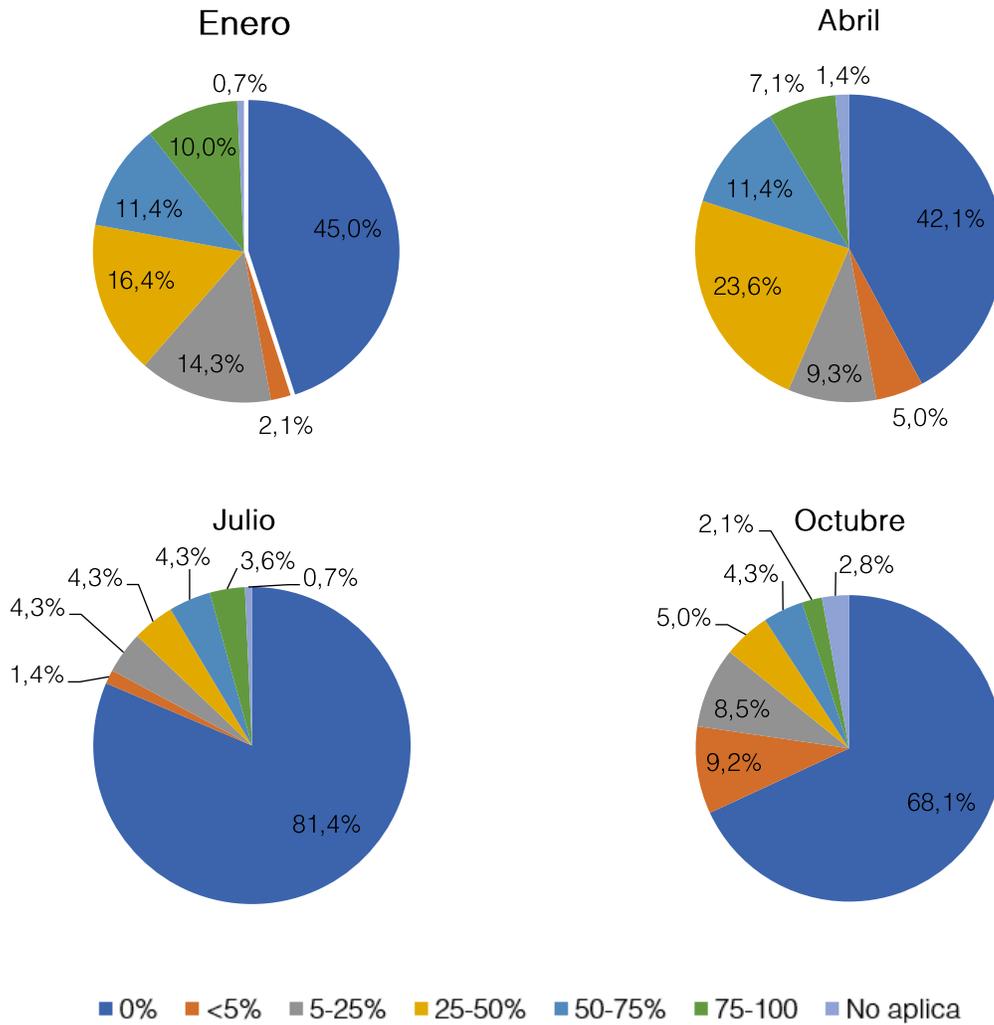


Figura 5-7. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en 2018.

5.1.2. Vitalidad

Los resultados del monitoreo de la vitalidad de los individuos se presentan a continuación. Los detalles de cada punto monitoreado se muestran en el Anexo I – Estado vital de la vegetación.

La categoría de vigor “Seco” predomina en todos los meses monitoreados, principalmente en las estaciones secas (julio y octubre), donde 81,4% y 68,1% de los individuos presentaron esta categoría de vigor. Además, un alto porcentaje de ejemplares presentan esta categoría en los meses de enero y abril, superando el 40% en ambos casos.

Los registros muestran un bajo porcentaje de individuos identificados bajo la categoría “Muy débil”. Se aprecia un 3,6% de ejemplares con esta característica en el mes de abril (equivalente a 5 plantas registradas) y un 2,9% en el mes de julio (5 registros).

Los individuos descritos como “débiles” tienen su mayor representación en el mes de abril con un 25% (equivalente a 35 registros). En esta línea, el mes con menor representación de individuos bajo esta categoría es octubre, con un 1,4% (2 individuos).

Los registros de individuos con crecimiento normal representan la segunda mayoría en el monitoreo. El mes de enero y abril poseen los porcentajes de individuos mayores con 43,6% y 26,4% respectivamente. El mes de julio es donde menos individuos tuvieron esta característica (3,6% equivalente a 5 individuos).

Los individuos Vigorosos, al igual que los Muy débiles, poseen registros bajos en todos los periodos monitoreados, específicamente el mes de octubre presenta la mayor cantidad de ejemplares bajo esta categoría (2,1% correspondiente a 3 individuos), el mes de abril también tuvo una presencia mayor de registros alcanzado el 1,4% del total, con 2 registros.

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

Categoría	Número de Individuos				Proporción del total de individuos en %			
	Enero	Abril	Julio	Octubre	Enero	Abril	Julio	Octubre
Seco	63	59	114	96	45,0	42,1	81,4	68,1
Muy débil	0	5	4	0	0,0	3,6	2,9	0,0
Débil	15	35	16	2	10,7	25,0	11,4	1,4
Crecimiento normal	61	37	5	36	43,6	26,4	3,6	25,5
Vigoroso	0	2	0	3	0,0	1,4	0,0	2,1
No aplica*	1	2	1	4	0,7	1,4	0,7	2,8
<b>Total</b>	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>14<sup>(1)</sup></b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

\*Ejemplares no encontrados en la parcela de monitoreo.

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

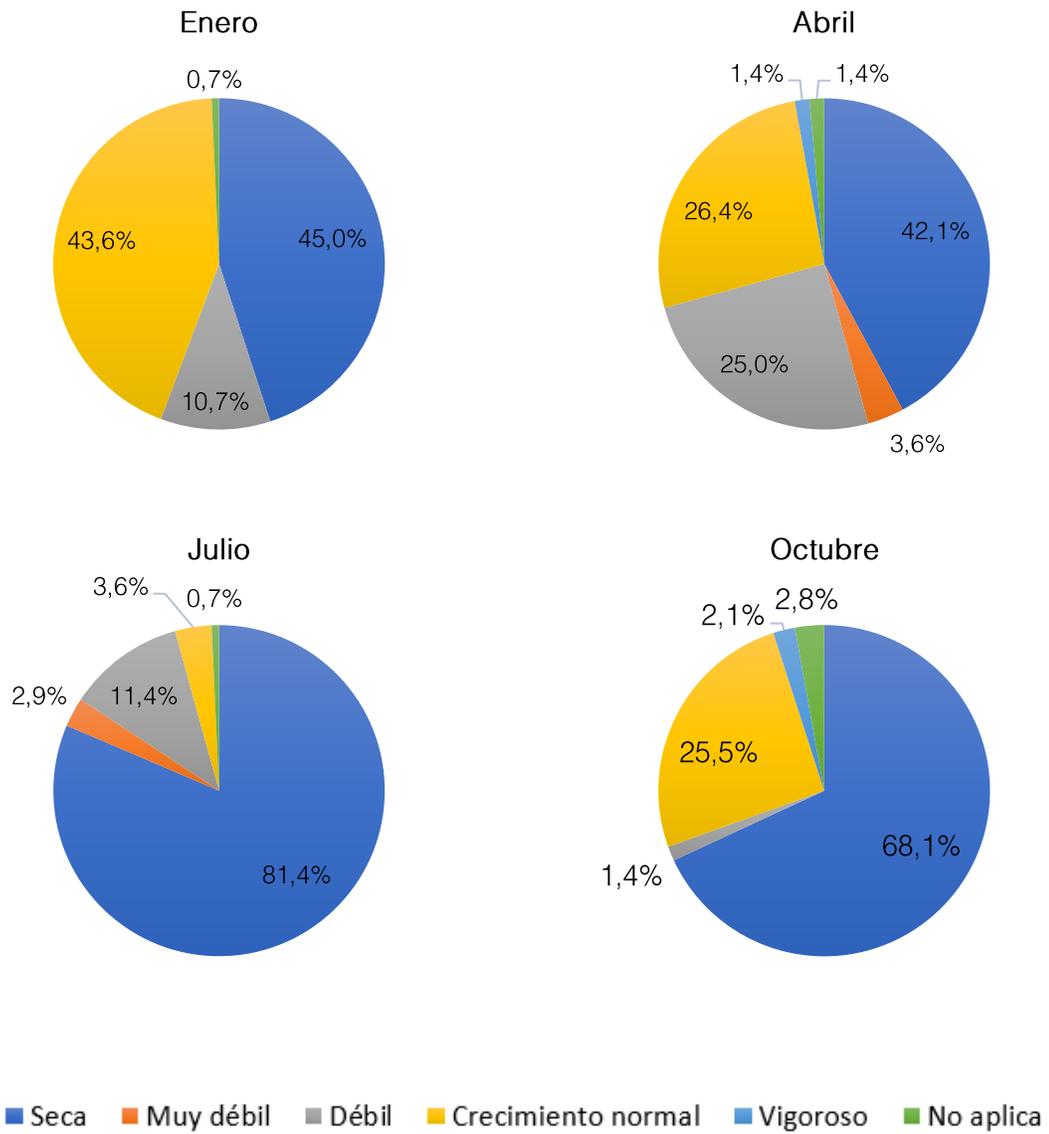


Figura 5-8. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de 2018.

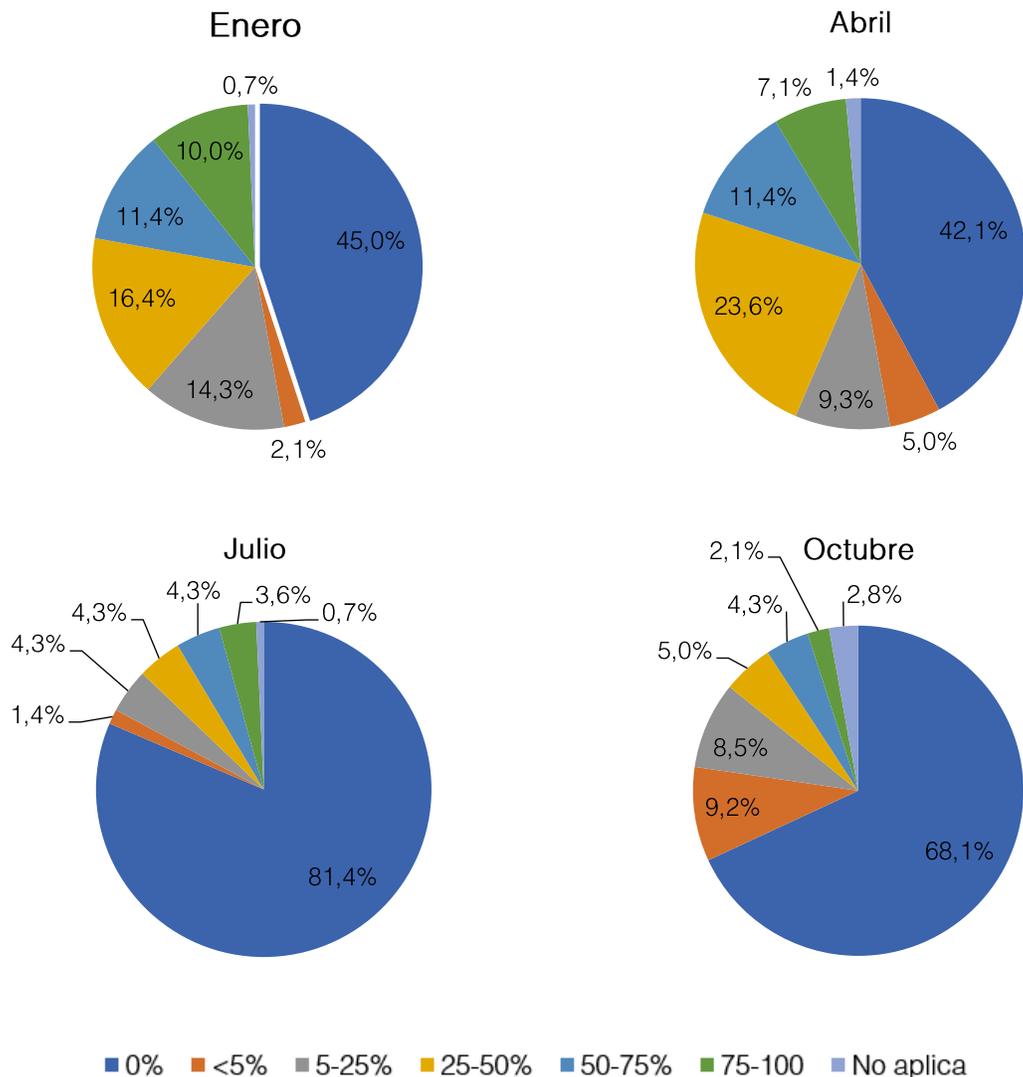


Figura 5-9. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en 2018.

### 5.1.1.Fenología

El estado fenológico de los ejemplares por campaña de monitoreo se resume en la Tabla 5-8. Los detalles de cada punto de monitoreo se encuentran en el Anexo I - Estado vital de la vegetación.

Si bien durante todo el año se observa una senescencia superior al 40%, la estacionalidad es marcada con un 80% de las plantas senescentes en el mes de julio (Tabla 5-8).

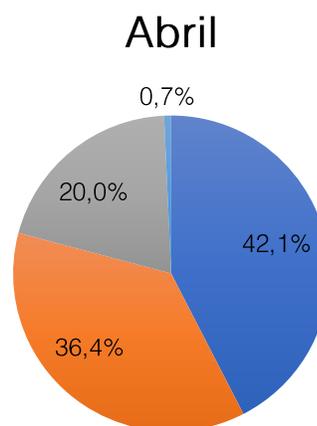
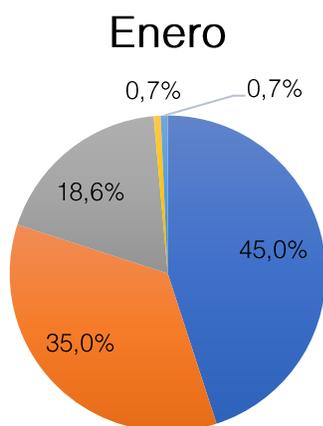
En forma concomitante con la senescencia, la cantidad de plantas con crecimiento vegetativo desciende a 12% en el mes de julio (12,1% de las plantas) lo cual representa 2/3 menos de lo observado en abril. El mayor crecimiento vegetativo se alcanza en los meses de enero y abril (35%).

Los meses de enero y abril también representan las épocas donde se encuentran más ejemplares con floración y fructificación.

En la Tabla 5-8 también se aprecian individuos bajo la categoría “No aplica” debido a no ser encontrados en terreno, presuntamente debido a las escorrentías ocurridas durante el invierno altiplánico en enero y febrero del 2018.

Tabla 5-8. Resumen de individuos por categoría de Fenología

Categoría	Individuos				%			
	Enero	Abril	Julio	Octubre	Enero	Abril	Julio	Octubre
Senescente	63	59	114	97	45,0	42,1	81,4	68,8
Crecimiento vegetativo	49	51	17	38	35,0	36,4	12,1	27,0
Floración	26	28	8	2	18,6	20,0	5,7	1,4
Fructificación	1	0	0	0	0,7	0,0	0,0	0,0
No aplica	1	1	1	4	0,7	1,4	0,7	2,8
Total	140	140	140	141 <sup>1</sup>	100	100	100	100



<sup>1</sup> Individuo extra corresponde a ejemplar de *D. spicata* ubicado en parcela asociada al pozo de monitoreo L7-14

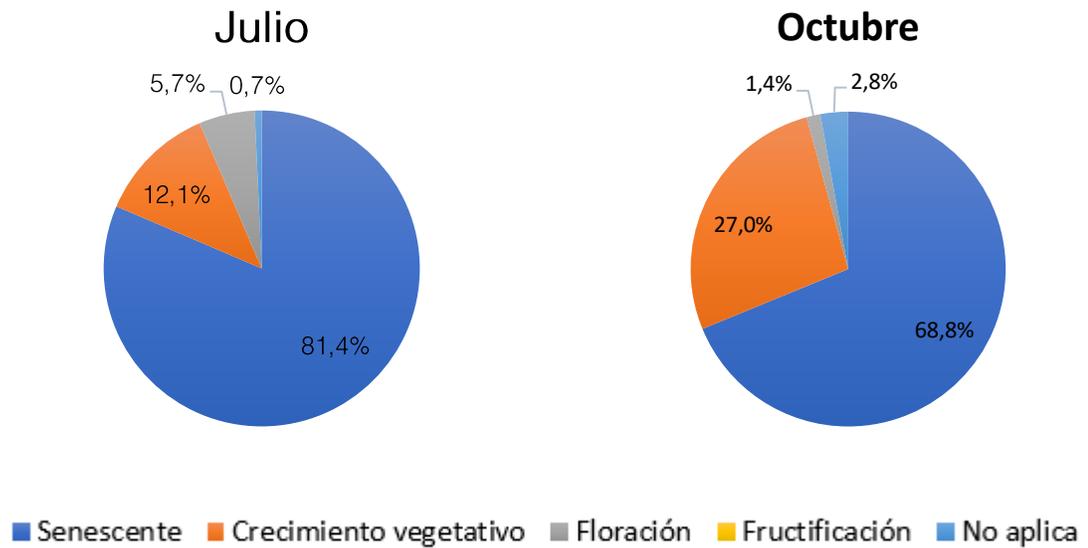


Figura 5-10. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de 2018.

## 6. DISCUSIÓN

### 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 los laboratorios involucrados en los análisis del presente año. En los gráficos se reportan los valores promedio de los años de evaluación (2007-2018) y las barras representan la desviación estándar.

En todos los gráficos perteneciente a la Figura 6-1 se evidencia que los valores reportados por los laboratorios mantienen las diferencias señaladas en la sección 5.1.3., Algoritmos Spa. reporta valores inferiores a los rangos históricos del Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar. Esta diferencia se evidencia en las muestras que poseen mayor humedad, ya que existe una pérdida de humedad producto del periodo de tiempo que transcurre antes de los análisis de laboratorio.

Respecto a los valores históricos de los datos, las parcelas ubicadas al oeste presentan mayor variación del contenido de humedad, este caso se da en todos los periodos evaluados (Figura 6-1). La amplitud de la desviación estándar de las parcelas L2-4 y L2-25 representa los valores más altos en los cuatro periodos de interés. Además, en al menos una estación del año las parcelas L7-7, L3-5 y 1027 registraron desviaciones estándar superiores a 0,1 g/g. Cabe destacar que las parcelas de menor contenido de humedad histórico han permanecido relativamente estables en el tiempo.

En las Figura 6-1 a la Tabla 5-7 se presentan los resultados de los monitoreos de contenido de humedad gravimétrico por trimestres, para cada uno de los años de seguimiento. El monitoreo de enero de 2007 no es presentado ya que el monitoreo comenzó en abril de ese año. Se aclara que el monitoreo inició una vez que los pozos fueron habilitados, comenzando en julio de 2007.

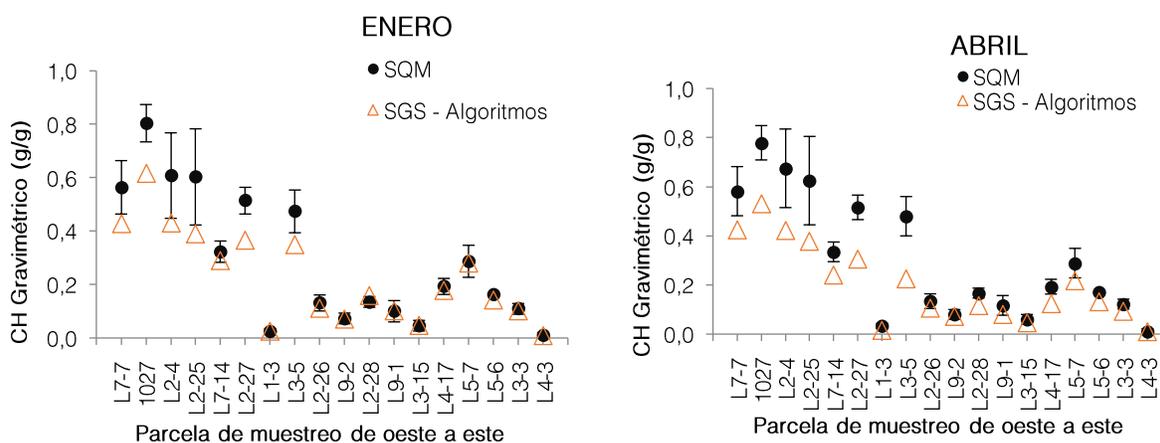


Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2018.

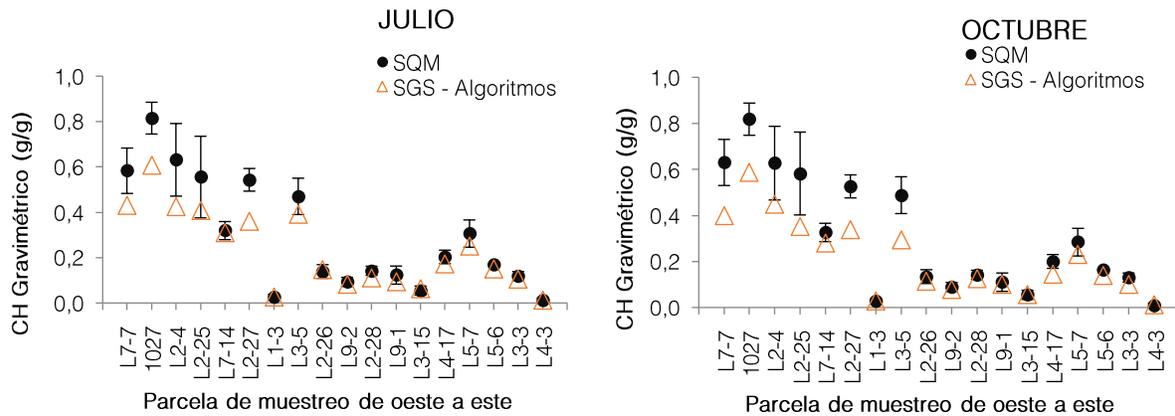


Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2018.

Puntos señalan el promedio y barras de representan la desviación estándar de las mediciones.

Los valores de SGS-Algoritmos para los monitoreos de enero, abril y julio corresponden al promedio de la medición 2017 (SGS) y 2018 (Algoritmos).

Valores reportados por SGS-Algoritmos para el monitoreo de octubre corresponde al promedio de la medición 2016 - 2017 (SGS) y 2018 (Algoritmos).

Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de enero periodo 2007 – 2018.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Contenido de humedad promedio (g/g) <sup>1</sup>
L7-7	-	0,798	0,723	0,499	0,487	0,537	0,559	0,512	0,550	0,501	0,531	0,510	0,564 (± 0,10)
1027	-	0,894	0,908	0,731	0,798	0,780	0,876	0,700	0,734	0,830	0,785	0,806	0,804 (± 0,07)
L2-4	-	0,614	0,524	0,997	0,769	0,461	0,622	0,631	0,549	0,555	0,480	0,483	0,608 (± 0,16)
L2-25	-	0,935	0,707	0,625	0,828	0,397	0,792	0,505	0,426	0,465	0,477	0,480	0,603 (± 0,18)
L7-14	-	0,247	0,263	0,384	0,354	0,353	0,364	0,300	0,316	0,324	0,354	0,291	0,323 (± 0,04)
L2-27	-	0,48	0,501	0,622	0,578	0,487	0,555	0,469	0,464	0,546	0,460	0,491	0,514 (± 0,05)
L1-3	-	0,013	0,007	0,024	0,022	0,021	0,033	0,030	0,029	0,033	0,024	0,025	0,024 (± 0,01)
L3-5	-	0,381	0,385	0,603	0,554	0,418	0,56	0,553	0,480	0,466	0,378	0,436	0,474 (± 0,08)
L2-26	-	0,127	0,104	0,202	0,184	0,119	0,105	0,114	0,114	0,140	0,106	0,122	0,131 (± 0,03)
L9-2	-	0,072	0,069	0,092	0,044	0,041	0,085	0,065	0,090	0,087	0,067	0,091	0,073 (± 0,02)
L2-28	-	0,149	0,151	0,177	0,146	0,148	0,085	0,121	0,122	0,126	0,139	0,124	0,135 (± 0,02)
L9-1	-	0,105	0,031	0,17	0,096	0,049	0,114	0,087	0,118	0,102	0,125	0,098	0,100 (± 0,04)
L3-15	-	0,031	0,014	0,023	0,043	0,055	0,085	0,061	0,057	0,050	0,04	0,048	0,046 (± 0,02)
L4-17	-	0,224	0,209	0,225	0,208	0,190	0,225	0,162	0,143	0,137	0,217	0,185	0,193 (± 0,03)
L5-7	-	0,233	0,23	0,356	0,299	0,239	0,339	0,213	0,329	0,336	0,361	0,221	0,287 (± 0,06)
L5-6	-	0,17	0,166	0,16	0,162	0,158	0,163	0,163	0,155	0,166	0,167	0,167	0,163 (± 0,00)
L3-3	-	0,103	0,063	0,116	0,122	0,128	0,112	0,135	0,092	0,112	0,085	0,126	0,109 (± 0,02)
L4-3		0,005	0,003	0,008	0,003	0,001	0,044	0,005	0,003	0,017	0,006	0,010	0,010 (± 0,01)

<sup>1</sup>Desviación estándar entre paréntesis.

Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de abril periodo 2007 – 2018.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Contenido de humedad promedio (g/g) <sup>1</sup>
L7-7	0,453	0,644	0,872	0,623	0,533	0,560	0,533	0,548	0,551	0,515	0,651	0,500	0,582 (± 0,11)
1027	0,753	0,798	0,666	0,849	0,858	0,840	0,831	0,732	0,718	0,778	0,818	0,705	0,779 (± 0,07)
L2-4	0,838	0,795	0,929	0,845	0,529	0,707	0,618	0,475	0,628	0,534	0,556	0,650	0,675 (± 0,15)
L2-25	1,079 <sup>2</sup>	0,817	1,017	0,600	0,554	0,641	0,463	0,397	0,400	0,455	0,507	0,569	0,625 (± 0,24)
L7-14	0,217	0,258	0,362	0,381	0,491	0,379	0,327	0,344	0,331	0,289	0,320	0,317	0,335 (± 0,07)
L2-27	0,496	0,509	0,766	0,552	0,502	0,582	0,458	0,445	0,451	0,479	0,533	0,417	0,516 (± 0,11)
L1-3	0,040	0,029	0,019	0,086	0,017	0,035	0,028	0,037	0,027	0,028	0,027	0,025	0,033 (± 0,02)
L3-5	0,524	0,403	0,628	0,540	0,626	0,502	0,443	0,419	0,424	0,500	0,429	0,321	0,480 (± 0,12)
L2-26	0,183	0,131	0,156	0,171	0,104	0,138	0,128	0,129	0,114	0,106	0,139	0,106	0,134 (± 0,03)
L9-2	0,097	0,107	0,068	0,058	0,037	0,088	0,066	(*) <sup>3</sup>	0,091	0,082	0,100	0,084	0,080 (± 0,02)
L2-28	0,183	0,157	0,167	0,137	0,104	0,166	0,106	0,117	0,143	0,455	0,135	0,130	0,167 (± 0,09)
L9-1	0,115	0,056	0,178	0,147	0,051	0,086	0,128	0,210	0,118	0,106	0,112	0,101	0,117 (± 0,05)
L3-15	0,066	0,052	0,039	0,052	0,067	0,096	0,084	0,051	0,054	0,050	0,060	0,048	0,060 (± 0,02)
L4-17	0,242	0,211	0,263	0,238	0,163	0,197	0,162	0,190	0,177	0,183	0,160	0,136	0,193 (± 0,04)
L5-7	0,338	0,259	0,244	0,448	0,238	0,280	0,313	0,238	0,242	0,317	0,302	0,248	0,289 (± 0,06)
L5-6	0,198	0,180	0,163	0,179	0,187	0,158	0,165	0,162	0,202	0,165	0,162	0,133	0,171 (± 0,02)
L3-3	0,133	0,132	0,121	0,111	0,106	0,168	0,124	0,135	0,157	0,102	0,104	0,077	0,122 (± 0,02)
L4-3	0,004	0,004	0,009	0,007	0,010	0,017	0,009	0,007	0,033	0,013	0,018	0,008	0,012 (± 0,01)

<sup>1</sup>Desviación estándar entre paréntesis.

<sup>2</sup>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%).

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

Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de julio periodo 2007 – 2018.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Contenido de humedad promedio (g/g) <sup>1</sup>
L7-7	(*) <sup>2</sup>	0,577	0,693	0,601	0,530	0,619	0,608	0,563	0,594	0,519	0,617	0,496	0,583 (± 0,06)
1027	0,806	0,913	0,857	0,767	0,802	0,799	0,925	0,694	0,909	0,728	0,781	0,799	0,815 (± 0,07)
L2-4	0,759	0,484	0,868	0,864	0,534	0,673	0,617	0,551	0,638	0,516	0,616	0,448	0,631 (± 0,14)
L2-25	0,987	0,583	0,642	0,740	0,446	0,545	0,458	0,457	0,455	0,397	0,460	0,488	0,555 (± 0,17)
L7-14	0,237	0,279	0,332	0,365	0,23	0,383	0,334	0,337	0,337	0,312	0,349	0,328	0,319 (± 0,05)
L2-27	0,568	0,509	0,546	0,637	0,490	S/I 4	0,697	0,519	0,465	0,493	0,548	0,506	0,543 (± 0,07)
L1-3	0,024	0,031	0,022	0,024	0,022	0,026	0,038	0,033	0,029	0,022	0,025	0,030	0,027 (± 0,01)
L3-5	(*) <sup>2</sup>	0,410	0,304	0,691	0,419	0,519	0,549	0,390	0,541	0,470	0,485	0,390	0,470 (± 0,10)
L2-26	(*) <sup>2</sup>	0,16	0,156	0,190	0,122	0,136	0,133	0,119	0,119	0,106	0,139	0,151	0,139 (± 0,02)
L9-2	0,120	0,069	0,129	0,122	0,071	0,111	0,085	0,071	0,087	0,076	0,095	0,084	0,093 (± 0,02)
L2-28	(*) <sup>2</sup>	0,159	0,168	0,149	0,140	0,164	0,137	0,129	0,128	0,119	0,150	0,116	0,142 (± 0,02)
L9-1	0,094	0,093	0,228	0,169	0,138	0,112	0,139	0,090	0,103	0,098	0,118	0,094	0,123 (± 0,04)
L3-15	(*) <sup>2</sup>	0,050	0,031	0,044	0,031	0,091	0,077	0,064	0,052	0,050	0,062	0,056	0,055 (± 0,02)
L4-17	(*) <sup>2</sup>	0,208	0,202	0,262	0,250	0,213	0,214	0,183	0,179	0,179	0,180	0,163	0,203 (± 0,03)
L5-7	0,272	0,263	0,388	0,377	0,282	0,339	0,363	0,222	0,318	0,284	0,298	0,267	0,306 (± 0,05)
L5-6	0,183	0,175	0,177	0,186	0,185	0,098	0,171	0,178	0,167	0,174	0,167	0,161	0,168 (± 0,02)
L3-3	0,097	0,109	0,142	0,150	0,102	0,146	0,106	0,109	0,144	0,113	0,117	0,090	0,119 (± 0,02)
L4-3	0,004	0,015	0,010	0,008	0,005	0,017	0,009	0,005	0,029	0,015	0,017	0,005	0,012 (± 0,01)

<sup>1</sup>Desviación estándar entre paréntesis.

<sup>2</sup>Este valor fue descartado del análisis por considerarse un valor outlier (atípico) que induce a inconsistencias y error al análisis.

Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de octubre periodo 2007 – 2018.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Contenido de humedad promedio (g/g) <sup>1</sup>
L7-7	0,713	0,609	0,694	0,751	0,664	0,644	0,649	0,632	0,529	0,570	0,573	0,535	0,630 (± 0,07)
1027	0,776	0,958	0,673	0,763	0,826	0,838	0,817	0,712	0,856	0,915	0,707	0,977	0,818 (± 0,10)
L2-4	0,731	0,648	0,878	0,547	0,527	0,611	0,534	0,526	0,748	0,624	0,511	0,640	0,627 (± 0,11)
L2-25	0,974	0,712	0,556	0,410	0,386	0,852	0,478	0,512	0,482	0,491	0,621	0,515	0,582 (± 0,18)
L7-14	0,275	0,272	0,358	0,344	0,337	0,348	0,344	0,321	0,332	0,326	0,316	0,341	0,326 (± 0,03)
L2-27	0,515	0,520	0,545	0,512	0,540	0,610	0,578	0,539	0,481	0,529	0,406	0,537	0,526 (± 0,05)
L1-3	0,012	0,024	0,030	0,020	0,018	0,031	0,042	0,039	0,025	0,027	0,033	0,034	0,028 (± 0,01)
L3-5	0,525	0,348	0,681	0,481	0,498	0,527	0,490	0,465	0,471	0,435	0,510	0,422	0,488 (± 0,08)
L2-26	0,142	0,134	0,153	0,169	0,146	0,123	0,115	0,124	0,134	0,111	0,115	0,140	0,134 (± 0,02)
L9-2	0,141	0,126	0,102	0,060	0,053	0,101	0,078	0,075	0,086	0,075	0,095	0,079	0,089 (± 0,03)
L2-28	0,131	0,165	0,178	0,124	0,134	0,151	0,138	0,138	0,140	0,114	0,136	0,150	0,142 (± 0,02)
L9-1	0,075	0,093	0,224	0,102	0,124	0,113	0,136	0,040	0,098	0,101	0,102	0,113	0,110 (± 0,04)
L3-15	0,078	0,031	0,043	0,040	0,035	0,059	0,060	0,076	0,048	0,049	0,059	0,079	0,055 (± 0,02)
L4-17	0,208	0,225	0,241	0,203	0,222	0,212	0,186	0,170	0,186	0,178	0,169	0,200	0,200 (± 0,02)
L5-7	0,349	0,239	0,416	0,260	0,251	0,290	0,252	0,286	0,258	0,254	0,249	0,301	0,284 (± 0,05)
L5-6	0,215	0,195	0,159	0,088	0,183	0,175	0,161	0,163	0,171	0,164	0,151	0,153	0,165 (± 0,03)
L3-3	0,166	0,134	0,138	0,136	0,098	0,132	0,128	0,129	0,151	0,114	0,105	0,125	0,130 (± 0,02)
L4-3	0,005	0,003	0,006	0,007	0,003	0,011	0,008	0,005	0,022	0,011	0,016	0,015	0,009 (± 0,01)

<sup>1</sup>Desviación estándar entre paréntesis.

Tabla 6-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por los laboratorios SGS<sup>2</sup> (2016-2017) y Algoritmos<sup>3</sup> (2018). periodo 2016 – 2018.

Parcela de monitoreo	Enero			Abril			Julio			Octubre			
	2017	2018	Contenido de humedad promedio (g/g) <sup>4</sup>	2017	2018	Contenido de humedad promedio (g/g)	2017	2018	Contenido de humedad promedio (g/g)	2016	2017	2018	Contenido de humedad promedio (g/g)
L7-7	0,328	0,525	0,427 (± 0,14)	0,375	0,474	0,424 (± 0,07)	0,357	0,502	0,430 (± 0,10)	0,336	0,330	0,529	0,398 (± 0,11)
1027	0,439	0,792	0,616 (± 0,25)	0,418	0,648	0,533 (± 0,16)	0,410	0,800	0,605 (± 0,28)	0,471	0,397	0,893	0,587 (± 0,27)
L2-4	0,325	0,532	0,429 (± 0,15)	0,327	0,520	0,424 (± 0,14)	0,350	0,499	0,425 (± 0,11)	0,471	0,319	0,557	0,449 (± 0,12)
L2-25	0,320	0,457	0,389 (± 0,10)	0,319	0,437	0,378 (± 0,08)	0,327	0,486	0,407 (± 0,11)	0,288	0,290	0,481	0,353 (± 0,11)
L7-14	0,256	0,321	0,288 (± 0,05)	0,230	0,251	0,241 (± 0,02)	0,272	0,345	0,309 (± 0,05)	0,251	0,239	0,346	0,279 (± 0,06)
L2-27	0,233	0,496	0,364 (± 0,19)	0,341	0,273	0,307 (± 0,05)	0,303	0,416	0,360 (± 0,08)	0,345	0,187	0,479	0,337 (± 0,15)
L1-3	0,018	0,031	0,025 (± 0,01)	0,026	0,008	0,017 (± 0,01)	0,030	0,023	0,027 (± 0,01)	0,022	0,029	0,036	0,029 (± 0,01)
L3-5	0,283	0,415	0,349 (± 0,09)	0,254	0,195	0,225 (± 0,04)	0,324	0,457	0,391 (± 0,09)	0,209	0,325	0,348	0,294 (± 0,07)
L2-26	0,098	0,121	0,110 (± 0,02)	0,111	0,104	0,108 (± 0,01)	0,124	0,167	0,146 (± 0,03)	0,092	0,111	0,135	0,113 (± 0,02)
L9-2	0,053	0,085	0,069 (± 0,02)	0,087	0,061	0,074 (± 0,02)	0,088	0,078	0,083 (± 0,01)	0,069	0,084	0,078	0,077 (± 0,01)
L2-28	0,180	0,134	0,157 (± 0,03)	0,123	0,111	0,117 (± 0,01)	0,112	0,108	0,110 (± 0,00)	0,107	0,120	0,151	0,126 (± 0,02)
L9-1	0,104	0,096	0,100 (± 0,01)	0,096	0,066	0,081 (± 0,02)	0,091	0,097	0,094 (± 0,00)	0,086	0,094	0,122	0,101 (± 0,02)
L3-15	0,034	0,059	0,047 (± 0,02)	0,048	0,047	0,048 (± 0,00)	0,064	0,061	0,062 (± 0,00)	0,044	0,049	0,079	0,057 (± 0,02)
L4-17	0,168	0,184	0,176 (± 0,01)	0,127	0,123	0,125 (± 0,00)	0,169	0,177	0,173 (± 0,01)	0,143	0,131	0,156	0,143 (± 0,01)
L5-7	0,256	0,302	0,279 (± 0,03)	0,205	0,231	0,218 (± 0,02)	0,217	0,281	0,249 (± 0,05)	0,205	0,211	0,278	0,231 (± 0,04)
L5-6	0,140	0,143	0,141 (± 0,00)	0,138	0,127	0,132 (± 0,01)	0,139	0,159	0,149 (± 0,01)	0,137	0,128	0,152	0,139 (± 0,01)
L3-3	0,075	0,124	0,100 (± 0,04)	0,086	0,099	0,093 (± 0,01)	0,099	0,107	0,103 (± 0,01)	0,092	0,099	0,109	0,100 (± 0,01)
L4-3	0,003	0,012	0,008 (± 0,01)	0,015	0,009	0,012 (± 0,00)	0,015	0,006	0,010 (± 0,01)	0,009	0,014	0,011	0,011 (± 0,00)

<sup>2 y 2</sup> Se comienza a trabajar con estos laboratorios desde que fueron acreditados como ETFA.

<sup>2</sup> Desviación estándar entre paréntesis

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 la Tabla 6-1 a Tabla 6-5.

- La parcela L7-7 posee tendencias relativamente estables en el tiempo, la amplitud de la desviación estándar se produce principalmente por los valores reportados el año 2009. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 35% a la fecha, en enero del 2008 el valor registrado alcanzó los 0,79 g/g mientras que en enero 2018 el valor reportado llegó a 0,51 g/g. Cabe mencionar que en los años 2010 y 2011 se registraron los menores valores a la fecha.
- La parcela 1027: Se identifica que en los valores de contenido de humedad han presentado oscilaciones entre sus valores mínimos y máximos a lo largo de las mediciones, mostrando una tendencia a regularizarse hacia el 2018.
- Parcela L2-4: se identifica que los valores de contenido de humedad han sido oscilantes en el tiempo, mostrando tendencia a la disminución hasta el año 2014, desde ese año se puede observar una estabilización en los resultados. Para el año 2018, los valores reportados por los laboratorios involucrados en los análisis tienden a aproximarse, a diferencia del año 2017 donde la diferencia fue más evidente.
- Parcela L2-25: En esta parcela, el contenido de humedad del suelo registra un aumento desde el mínimo promedio anual histórico evaluado en 2015, donde el CHS alcanzó 0,441 g/g, registro similar a los vistos durante los años 2011, 2013 y 2016. Respecto al monitoreo inicial (2007), el CHS es menor, dado que este varió de 0,78 g/g (2007) a 0,505 g/g (2018).
- Parcela L3-5: 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, con una tendencia al alza desde el monitoreo del 2014.  
  
Se identifica una diferencia respecto del monitoreo inicial (2007), donde el contenido de humedad fue de 0,52 g/g y para el año 2018 su promedio fue de 0,46 g/g.
- Parcela L2-27: Las mayores variaciones en esta parcela fueron registrados en los monitoreos de los años 2009, 2012 y 2013. La tendencia a la fecha es representada por una pendiente cercana a  $0 \approx -0,0068$ .

En términos generales las mediciones efectuadas en 2018, considerando los análisis realizados por SQM, se encuentran dentro de los rangos observados en periodos previos de monitoreo. Si bien se aprecia una disminución de los niveles al comparar el año inicial de monitoreo versus el actual, se han observado oscilaciones durante los años prospectados. Esto se relaciona directamente con la capacidad de infiltración y retención de agua que poseen los suelos del borde este del Salar de Atacama, que son principalmente de carácter arcilloso, y los episodios de recarga de estos, los que contemplan: 1) aporte superficial de agua desde precipitaciones locales y 2) escurrimientos superficiales provenientes del sector altiplánico.



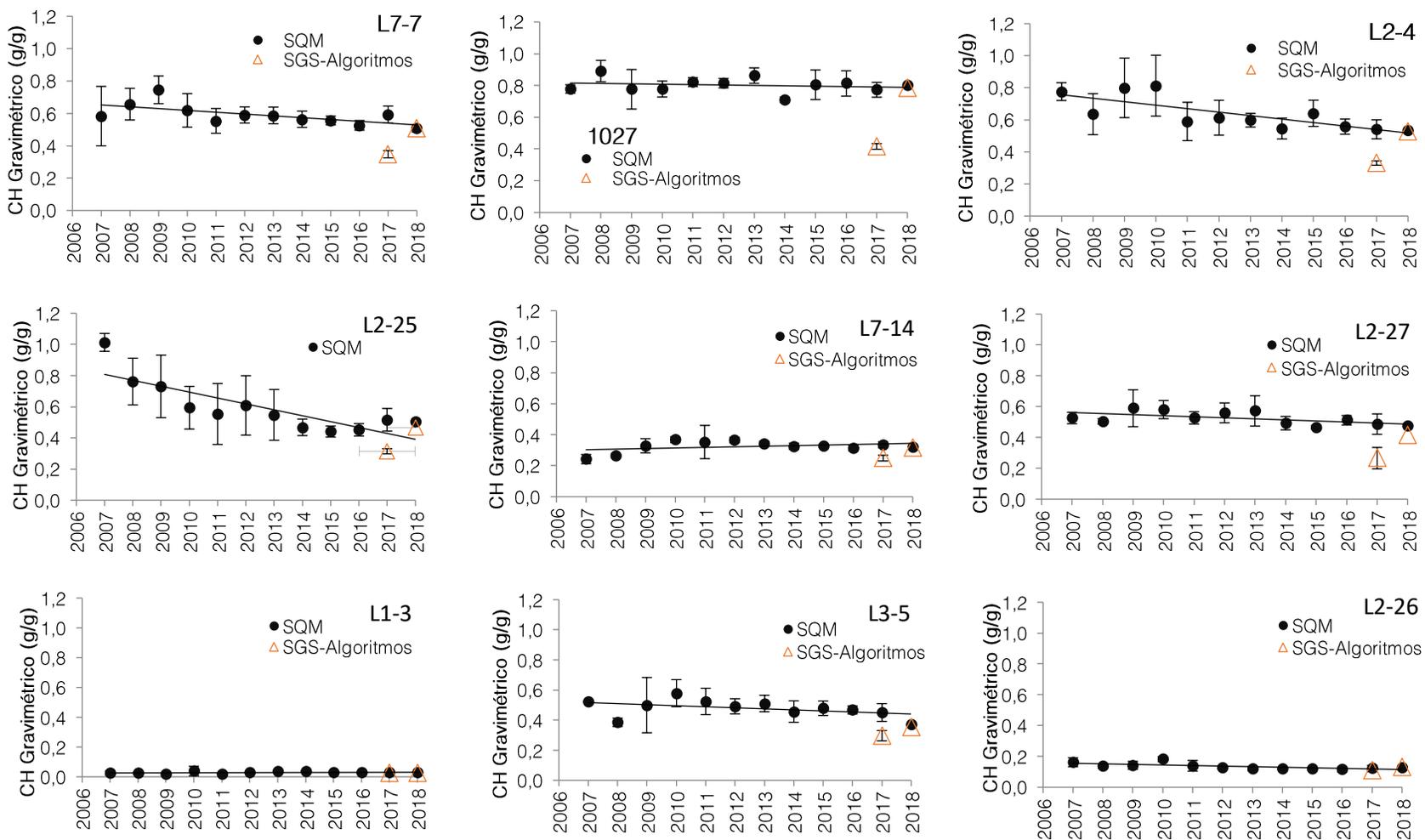


Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2018.

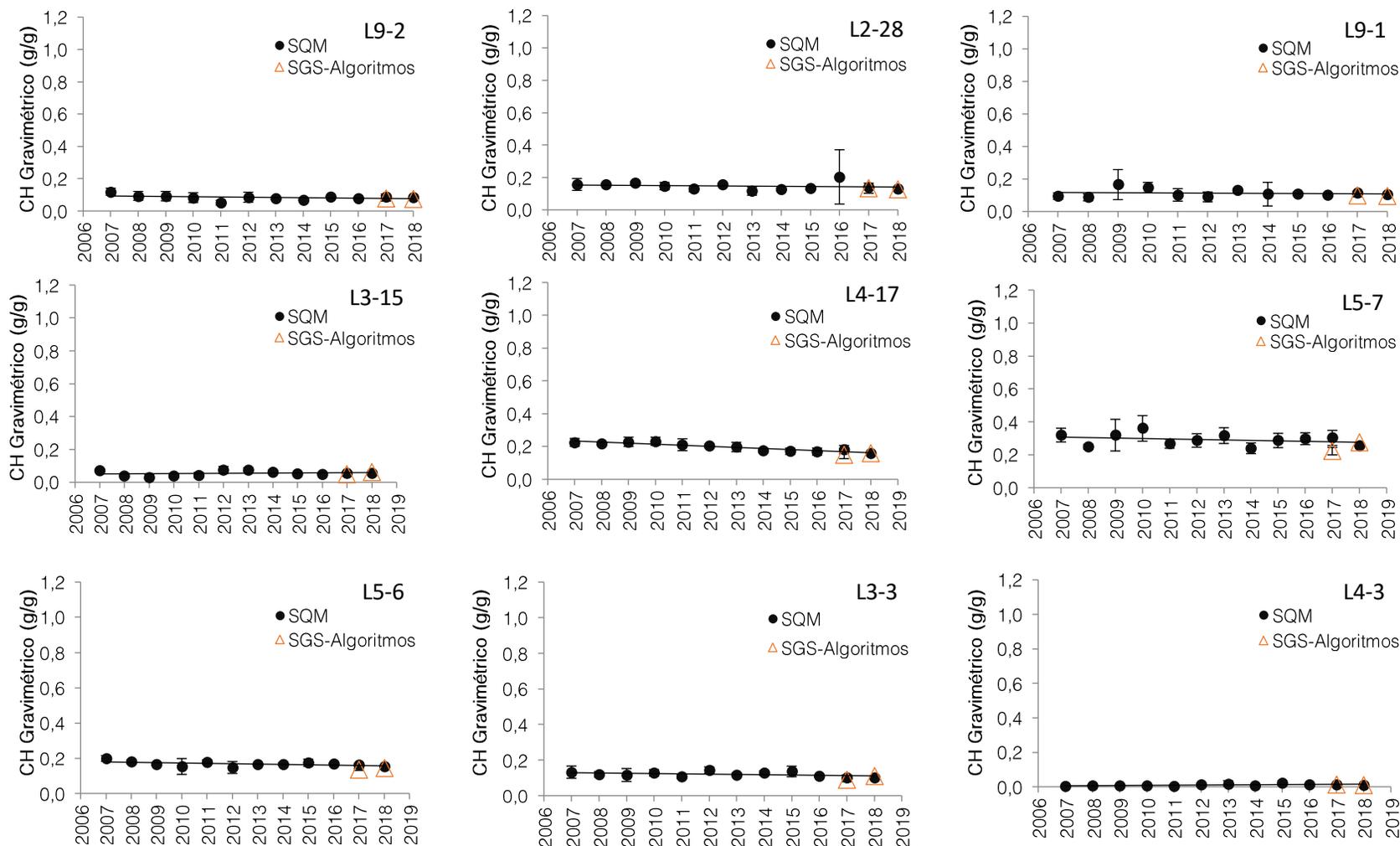


Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2018.



## 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 6-6 a Tabla 6-9, 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.

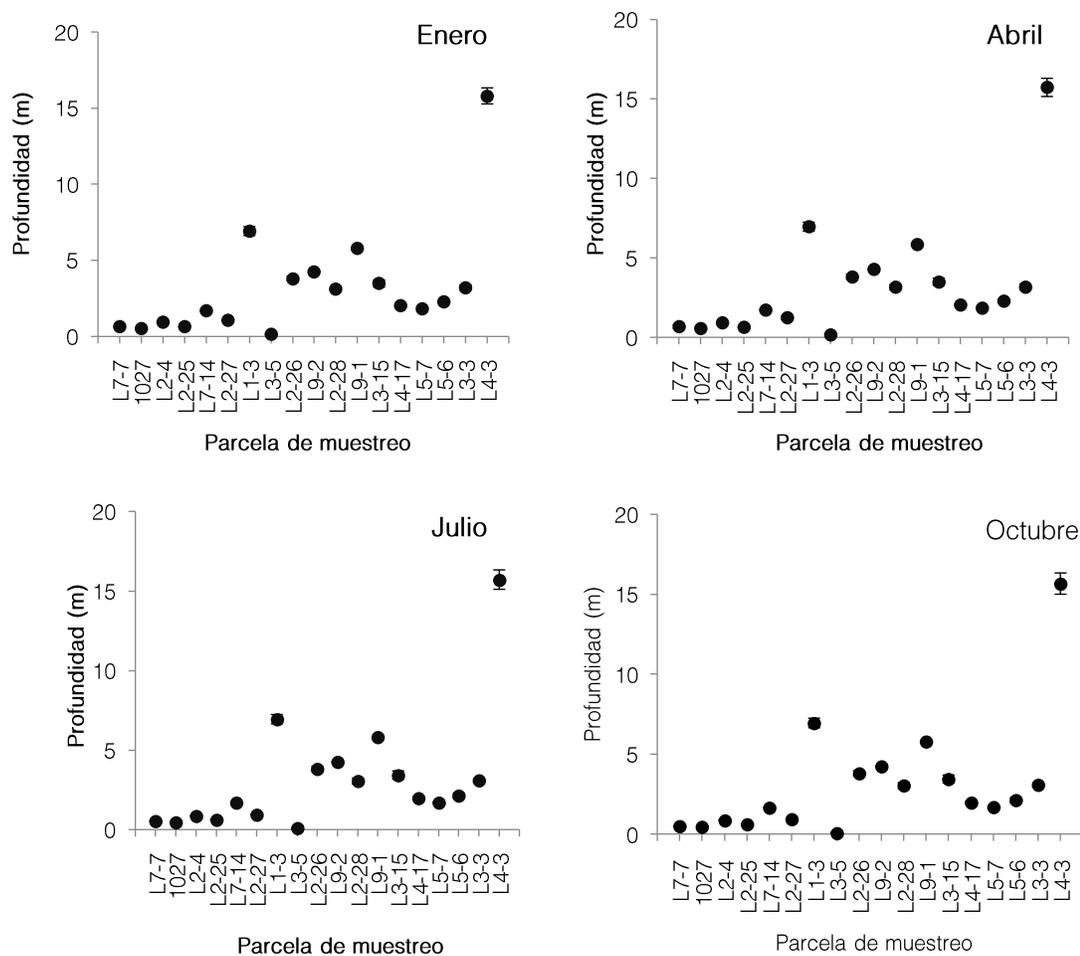


Figura 6-3. Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2018), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados.

Teóricamente dependiendo del tipo de suelo, el CHS es sensible a variaciones en la profundidad de la napa freática. En el caso de los pozos monitoreados, desde el 2007 al 2018, la profundidad de la napa aumento en promedio 1,16 m considerando 17 de los 18 pozos objeto de estudio. Por otra parte, el



pozo L4-3 registra disminución en la profundidad de la napa, el que varió de 16,04 m en 2007 a 15,74 m en 2018. La máxima y mínima variación se presenta en los pozos L3-15 y 1027, con profundidad de napa que aumentaron en 1,74 m y 0,48 m respectivamente.

Por otra parte, el CHS en las parcelas asociadas a los pozos que registran la máxima y mínima disminución de la profundidad de la napa presentan variaciones pequeñas (parcela L3-15 disminuyó en 0,01 g/g respecto al registro del año 2007 y la parcela 1027 aumentó 0,02 g/g respecto al mismo periodo). Además, el CHS se mantuvo sin variaciones para la parcela asociada al pozo L4-3.

Tabla 6-6. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de enero durante el periodo 2008 a 2018.

Parcela de monitoreo	Año											Profundidad promedio (m)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
L7-7	0,521	0,507	0,536	0,491	0,550	0,590	0,577	0,548	0,618	0,572	1,467	0,634 (±0,28)
1027	0,479	0,475	0,499	0,461	0,490	0,523	0,519	0,532	0,542	0,503	0,923	0,541 (±0,13)
L2-4	0,855	0,855	0,884	0,868	0,887	0,888	0,883	0,916	0,911	0,920	1,460	0,939 (±0,17)
L2-25	0,575	0,553	0,564	0,549	0,551	0,549	0,551	0,551	0,542	0,543	1,490	0,638 (±0,28)
L7-14	1,556	1,558	1,576	1,567	1,589	1,619	1,620	1,655	1,650	1,672	2,692	1,705 (±0,33)
L2-27	0,972	0,957	0,978	0,948	0,966	0,962	1,003	1,045	0,972	1,033	2,007	1,077 (±0,31)
L1-3 <sup>2</sup>	6,525	6,537	6,553	6,600	6,647	7,000	7,032	7,112	7,171	7,229	7,758	6,924 (±0,39)
L3-5	0,061	0,074	0,096	0,069	0,083	0,131	0,025	0,063	0,071	0,053	0,815	0,140 (±0,23)
L2-26	3,515	3,505	3,548	3,580	3,633	3,686	3,745	3,839	3,857	3,925	5,030	3,806 (±0,43)
L9-2	4,103	4,113	4,151	4,122	4,169	4,166	4,172	4,238	4,133	4,207	5,283	4,260 (±0,34)
L2-28	2,771	2,787	2,842	2,863	2,942	2,981	3,047	3,142	3,178	3,274	4,396	3,111 (±0,46)
L9-1	5,639	5,661	5,687	5,657	5,715	5,723	5,717	5,775	5,683	5,751	6,859	5,806 (±0,35)
L3-15	3,017	3,061	3,152	3,241	3,329	3,417	3,493	3,577	3,607	3,662	4,688	3,477 (±0,46)
L4-17	1,804	1,835	1,894	1,888	1,943	1,954	1,992	2,022	2,006	2,026	2,797	2,015 (±0,27)
L5-7	1,646	1,684	1,719	1,707	1,754	1,749	1,785	1,796	1,744	1,803	2,757	1,831 (±0,31)
L5-6	1,956	2,036	2,111	2,134	2,179	2,204	2,241	2,281	2,274	2,314	3,458	2,290 (±0,40)
L3-3	2,944	2,967	3,006	3,030	3,074	3,152	3,177	3,283	3,355	3,416	3,962	3,215 (±0,29)
L4-3	16,022	16,034	16,138	16,254	16,258	16,387	16,390	15,863	15,417	14,687	14,387	15,803 (±0,69)

<sup>1</sup> Desviación estándar entre paréntesis.

<sup>2</sup> 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.

Tabla 6-7. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de abril durante el periodo 2008 a 2018.

Parcela de monitoreo	Año											Profundidad promedio (m)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
L7-7	0,663	0,628	0,662	0,601	0,516	0,570	0,688	0,447	0,713	0,399	1,563	0,677 (±0,31)
1027	0,527	0,510	0,514	0,504	0,494	0,518	0,604	0,465	0,615	0,504	0,999	0,569 (±0,15)
L2-4	0,864	0,861	0,879	0,882	0,828	0,874	0,896	0,859	0,958	0,869	1,485	0,932 (±0,19)
L2-25	0,584	0,621	0,577	0,551	0,522	0,539	0,553	0,530	0,535	0,525	1,501	0,640 (±0,29)
L7-14	1,601	1,598	1,611	1,603	1,605	1,593	1,644	1,553	1,688	1,614	2,724	1,712 (±0,34)
L2-27	1,189	1,181	1,225	1,148	0,959	1,037	1,184	0,924	1,273	1,067	2,301	1,226 (±0,37)
L1-3 <sup>2</sup>	6,550	6,554	6,579	6,608	6,945	6,981	7,069	7,128	7,190	7,232	7,781	6,965 (±0,38)
L3-5	0,087	0,083	0,111	0,088	0,053	0,114	0,092	0,041	0,107	0,055	0,887	0,156 (±0,24)
L2-26	3,562	3,554	3,570	3,599	3,594	3,695	3,779	3,812	3,910	3,906	5,039	3,820 (±0,43)
L9-2	4,180	4,190	4,195	4,200	4,097	4,190	4,228	4,175	4,205	4,191	5,359	4,292 (±0,36)
L2-28	2,865	2,890	2,914	2,937	2,910	3,006	3,102	3,119	3,281	3,301	4,475	3,164 (±0,46)
L9-1	5,695	5,704	5,729	5,718	5,683	5,725	5,765	5,729	5,737	5,734	6,921	5,831 (±0,36)
L3-15	3,045	3,105	3,194	3,264	3,327	3,429	3,529	3,580	3,666	3,672	4,695	3,501 (±0,45)
L4-17	1,845	1,866	1,927	1,937	1,941	1,973	2,025	1,934	2,039	2,021	2,815	2,029 (±0,27)
L5-7	1,710	1,728	1,680	1,767	1,759	1,800	1,784	1,596	1,816	1,811	2,78	1,839 (±0,32)
L5-6	1,994	2,064	2,060	2,151	2,181	2,243	2,254	2,131	2,303	2,307	3,472	2,287 (±0,41)
L3-3	2,937	2,971	3,018	3,037	3,001	3,170	3,254	2,879	3,411	3,315	3,984	3,180 (±0,32)
L4-3	15,982	16,055	16,154	16,221	16,299	16,347	16,218	15,705	15,229	14,553	14,273	15,731 (±0,73)

<sup>1</sup>Desviación estándar entre paréntesis.

<sup>2</sup>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.

Tabla 6-8. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2018.

Parcela de monitoreo	Año												Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
L7-7	0,545	0,480	0,475	0,487	0,475	0,451	0,439	0,516	0,434	0,550	0,468	1,386	0,559 (±0,26)
1027	0,442	0,420	0,416	0,420	0,424	0,416	0,421	0,464	0,426	0,491	0,453	0,849	0,470 (±0,12)
L2-4	0,798	0,784	0,798	0,819	0,819	0,809	0,809	0,829	0,834	0,852	0,840	1,408	0,867 (±0,17)
L2-25	0,563	0,548	0,544	0,544	0,545	0,529	0,532	0,538	0,524	0,537	0,527	1,48	0,618 (±0,27)
L7-14	1,565	1,560	1,557	1,573	1,583	1,587	1,588	1,617	1,604	1,654	1,645	2,683	1,685 (±0,32)
L2-27	0,864	0,855	0,854	0,866	0,869	0,858	0,842	0,875	0,861	0,905	0,878	1,967	0,958 (±0,32)
L1-3 <sup>2</sup>	6,527	6,547	6,550	6,590	6,647	6,976	6,988	7,090	7,137	7,209	7,251	7,798	6,943 (±0,39)
L3-5	0,012	0,056	0,057	0,058	0,058	0,097	-0,010	0,003	-0,016	0,001	-0,060	0,763	0,085 (±0,22)
L2-26	3,517	3,524	3,509	3,562	3,635	3,656	3,694	3,799	3,835	3,909	3,962	5,04	3,804 (±0,42)
L9-2	4,120	4,140	4,151	4,173	4,177	4,112	4,149	4,206	4,108	4,207	4,163	5,346	4,254 (±0,35)
L2-28	2,733	2,737	2,757	2,812	2,871	2,897	2,955	3,031	3,092	3,181	3,215	4,364	3,054 (±0,45)
L9-1	5,645	5,678	5,689	5,708	5,709	5,685	5,702	5,749	5,666	5,751	5,716	6,922	5,802 (±0,35)
L3-15	2,863	3,013	3,070	3,182	3,272	3,337	3,401	3,497	3,571	3,635	3,659	4,647	3,429 (±0,46)
L4-17	1,769	1,820	1,835	1,897	1,918	1,917	1,928	1,975	1,951	1,997	1,995	2,767	1,981 (±0,26)
L5-7	1,520	1,542	1,565	1,583	1,602	1,625	1,626	1,631	1,623	1,675	1,673	2,628	1,691 (±0,30)
L5-6	1,735	1,852	1,900	1,976	2,007	2,054	2,082	2,131	2,137	2,198	2,211	3,366	2,137 (±0,41)
L3-3	2,893	2,913	2,921	2,953	2,996	3,001	3,068	3,057	3,128	3,194	3,201	3,756	3,090 (±0,23)
L4-3	16,089	15,987	16,047	16,158	16,264	16,306	16,413	16,073	15,627	15,034	14,418	14,181	15,716 (±0,76)

<sup>1</sup>Desviación estándar entre paréntesis.

<sup>2</sup> 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.

Tabla 6-9. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2018.

Parcela de monitoreo	Año												Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
L7-7	0,405	0,408	0,408	0,404	0,419	0,414	0,441	0,420	0,438	0,451	0,475	1,308	0,499 (±0,26)
1027	0,394	0,371	0,395	0,385	0,394	0,407	0,428	0,425	0,425	0,446	0,443	0,822	0,445 (±0,12)
L2-4	0,785	0,781	0,795	0,802	0,813	0,820	0,825	0,836	0,832	0,853	0,852	1,416	0,868 (±0,17)
L2-25	0,561	0,544	0,538	0,532	0,532	0,523	0,526	0,522	0,529	0,529	0,527	1,481	0,612 (±0,27)
L7-14	1,540	1,527	1,526	1,534	1,545	1,564	1,580	1,584	1,596	1,621	1,632	2,647	1,658 (±0,31)
L2-27	0,850	0,842	0,832	0,833	0,846	0,839	0,847	0,839	0,843	0,852	0,857	1,885	0,930 (±0,30)
L1-3 <sup>2</sup>	6,525	6,543	6,541	6,594	6,634	6,976	7,021	7,085	7,149	7,217	7,264	7,803	6,946 (±0,39)
L3-5	0,000	0,049	0,052	0,036	0,037	0,070	-0,008	-0,013	-0,044	-0,042	-0,067	0,746	0,068 (±0,22)
L2-26	3,523	3,512	3,521	3,553	3,601	3,650	3,707	3,777	3,837	3,896	3,939	5,032	3,796 (±0,42)
L9-2	4,087	4,111	4,117	4,131	4,127	4,113	4,126	4,165	4,083	4,166	4,133	5,31	4,222 (±0,34)
L2-28	2,655	2,707	2,729	2,784	2,838	2,895	2,944	3,013	3,075	3,153	3,191	4,326	3,026 (±0,45)
L9-1	5,620	5,659	5,673	5,677	5,675	5,688	5,678	5,732	5,643	5,723	5,684	6,893	5,779 (±0,35)
L3-15	2,980	3,019	3,094	3,188	3,269	3,357	3,433	3,505	3,582	3,615	3,669	4,619	3,444 (±0,44)
L4-17	1,758	1,795	1,825	1,868	1,879	1,897	1,929	1,946	1,989	1,968	1,971	2,733	1,963 (±0,25)
L5-7	1,486	1,522	1,539	1,557	1,582	1,593	1,614	1,614	1,615	1,650	1,657	2,618	1,671 (±0,30)
L5-6	1,700	1,832	1,879	1,950	1,989	2,044	2,071	2,125	2,136	2,189	2,201	3,366	2,124 (±0,42)
L3-3	2,895	2,909	2,914	2,949	2,973	3,011	3,076	3,084	3,130	3,192	3,212	3,747	3,091 (±0,23)
L4-3	15,992	16,007	16,113	16,197	16,237	16,342	16,398	16,012	15,522	14,830	14,317	14,075	15,670 (±0,81)

<sup>1</sup>Desviación estándar entre paréntesis. ()

<sup>2</sup>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.

La variación histórica de la profundidad de la napa por pozo de monitoreo se ilustra en la Figura 6-4. Donde se aprecia que la mayoría de los pozos estudiados presentan profundidades de la napa que aumentan en el tiempo. Los pozos con mayor variación corresponden al L1-3, L3-15 y L4-3. Cabe destacar que, en todos los pozos, excepto el L4-3, el valor promedio del 2018 fue considerablemente mayor que los años anteriores, lo que se puede deber al incremento de la disponibilidad hídrica aportada por las precipitaciones estivales registradas desde el 2017.

La profundidad de la napa en el pozo L1-3 ha aumentado desde el inicio del monitoreo. Para el primer monitoreo la profundidad freática registrada correspondió a 6,53 m ( $\pm 0,00$ ), actualmente el nivel es 7,79 verificándose una diferencia de 1,26 m entre los promedios de profundidad.

El pozo L3-15 presenta el mismo comportamiento que el anterior, se identifica un aumento sostenido en la profundidad del nivel freático. Actualmente se identifica en el pozo un aumento de 1,68 m, respecto al año base (2007), donde el nivel alcanzó los 2,98 m, a la fecha el nivel llega a los 4,66 m.

El tercer pozo con mayor variación de sus niveles corresponde al pozo 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 2018 a una profundidad de 14,23 m. Para mayores detalles consultar Informe de Plan de Seguimiento Hidrogeológico.

En el resto de los pozos monitoreados 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 con lo esperado.

Se han observado variaciones en el nivel de la napa freática de distinta magnitud en los pozos monitoreados.

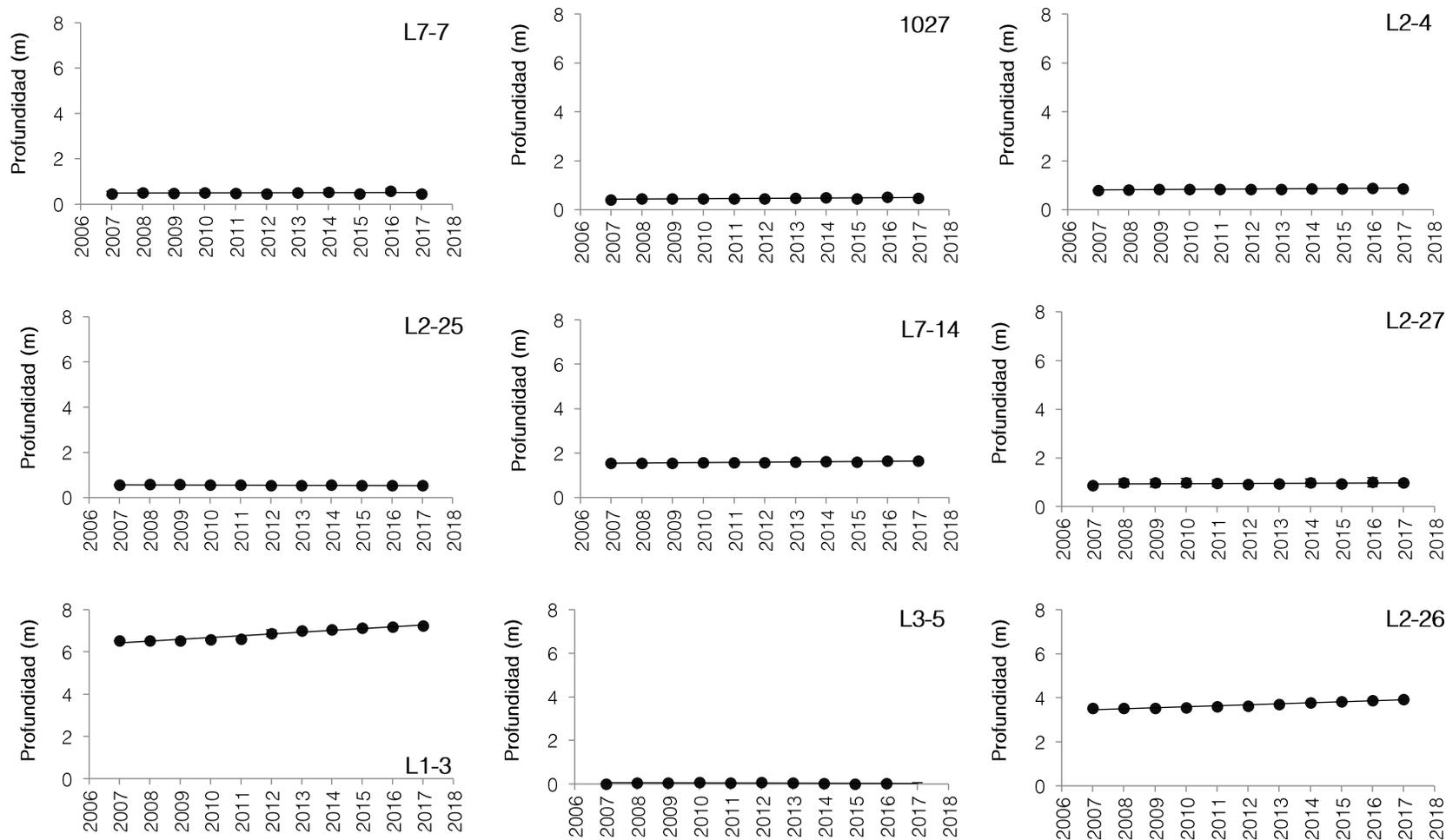


Figura 6-4. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2018.

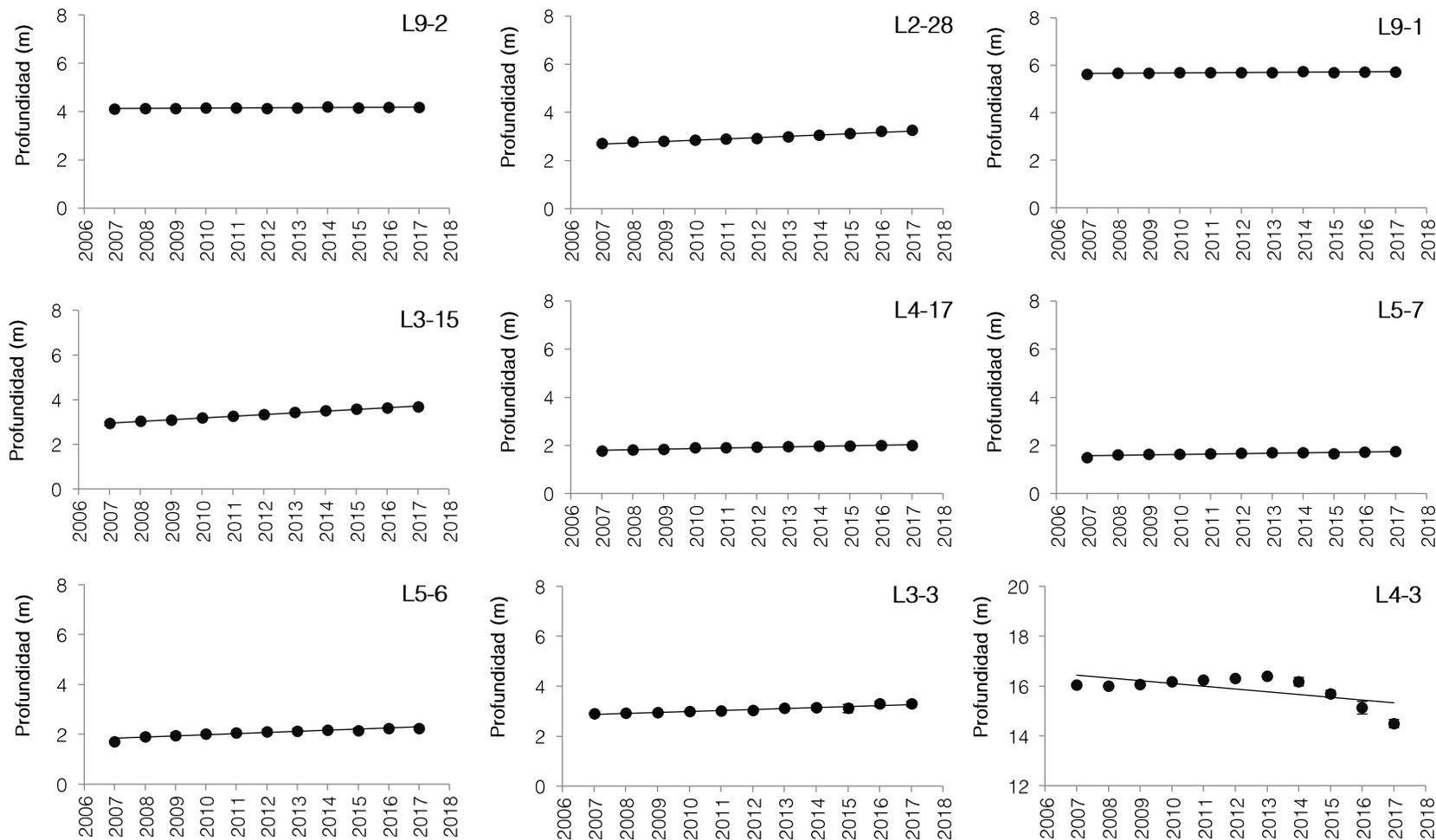


Figura 6-4. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2018.

### 6.3. Variación interanual de la vitalidad de la vegetación

La variación del vigor de la vegetación presente en las parcelas prospectadas se muestra en la Figura 6-5. Donde se caracteriza esta variable respecto a las categorías establecidas: Senescente, Muy débil, Débil, Normal y Vigoroso.

A la fecha, las categorías Muy débil, Débil y Vigoroso presentan variaciones menores, las rectas de los gráficos representativos del periodo 2007 – 2018 tienden a tener pendientes cercanas a 0, por lo que no se observa una tendencia a la alza o baja de individuos dentro de estas características. Por otra parte, la categoría Senescente muestra una pendiente positiva (incremento de observaciones), con oscilaciones temporales como la observada en 2016 y 2018. Por su parte, la categoría de vigor Normal está representada por una recta de pendiente negativa (reducción de observaciones).

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

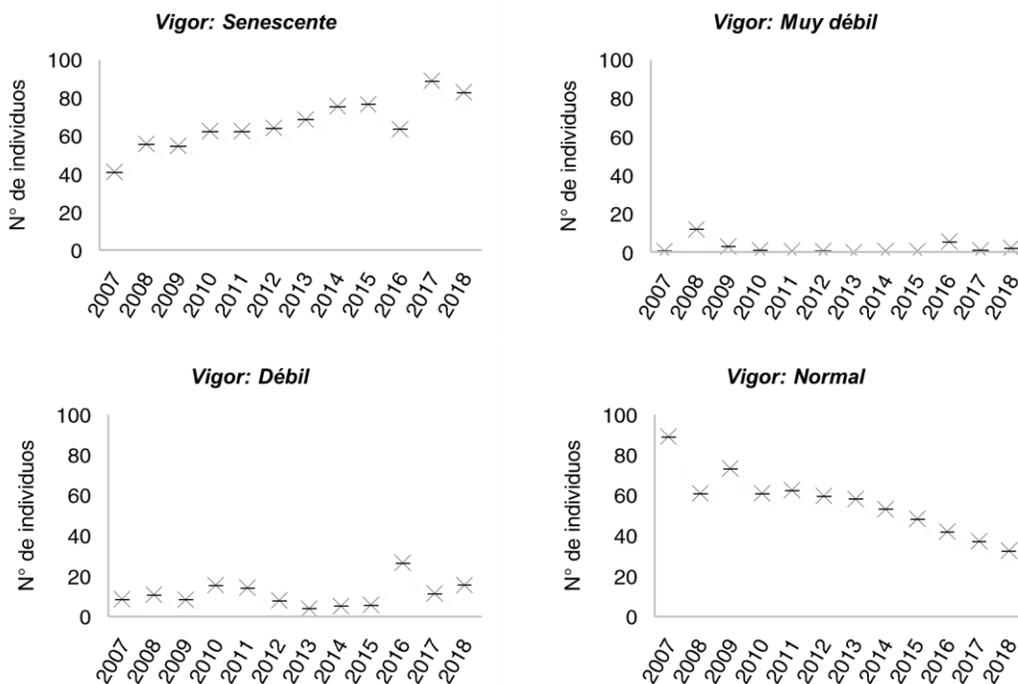


Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2018.

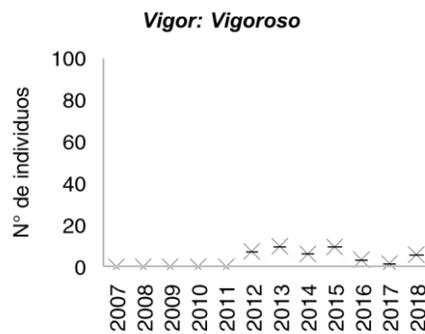


Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vigor, desde el año 2007 a 2018.

A continuación, se analizará los resultados de Vitalidad, Porcentaje de Copa Viva y Fenología por especie monitoreada.

### 6.3.1. *Atriplex atacamensis*

Los individuos de *Atriplex atacamensis* se localizan en las parcelas de monitoreo L9-2, L1-3, L2-25 y L2-4. La Figura 6-6 da cuenta de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa freática para cada una de ellas.

En la parcela de monitoreo L9-2 la profundidad de la napa tiene un aumento respecto al año anterior, variando de 4,17 m a 5,32 m en 2018. Por su parte el CHS presenta una disminución pasando de 0,09 g/g en 2017 a 0,08 g/g en 2018.

Se observa una tendencia al alza de la profundidad de la napa en el Pozo de monitoreo L1-3. El contenido de humedad en esta parcela se mantiene relativamente constante en el tiempo.

En las parcelas de monitoreo L2-4 y L2-25 se observan variaciones en la profundidad de la napa, mientras el contenido de humedad del suelo disminuye. Sin embargo, en la serie de tiempo estudiada esto no se ve reflejado

En las parcelas de monitoreo L2-4 y L2-25 se observan variaciones en la profundidad de napa (desviación estándar de 17,42 cm y 27,25 cm respectivamente) y disminución del contenido de humedad del suelo (0,01 g/g respecto al año anterior, con una desviación estándar de 0,10 g/g y 0,17 g/g respectivamente para la serie de tiempo completa). El pozo L2-4 reporta un aumento de 0,08 m al 2017, mientras que el pozo L2-25, en el mismo periodo, disminuyó 0,03 m. Para el presente monitoreo se registran valores anómalos a la tendencia histórica, lo que se puede asociar a las técnicas o precisión del muestreo, así como a factores ambientales.

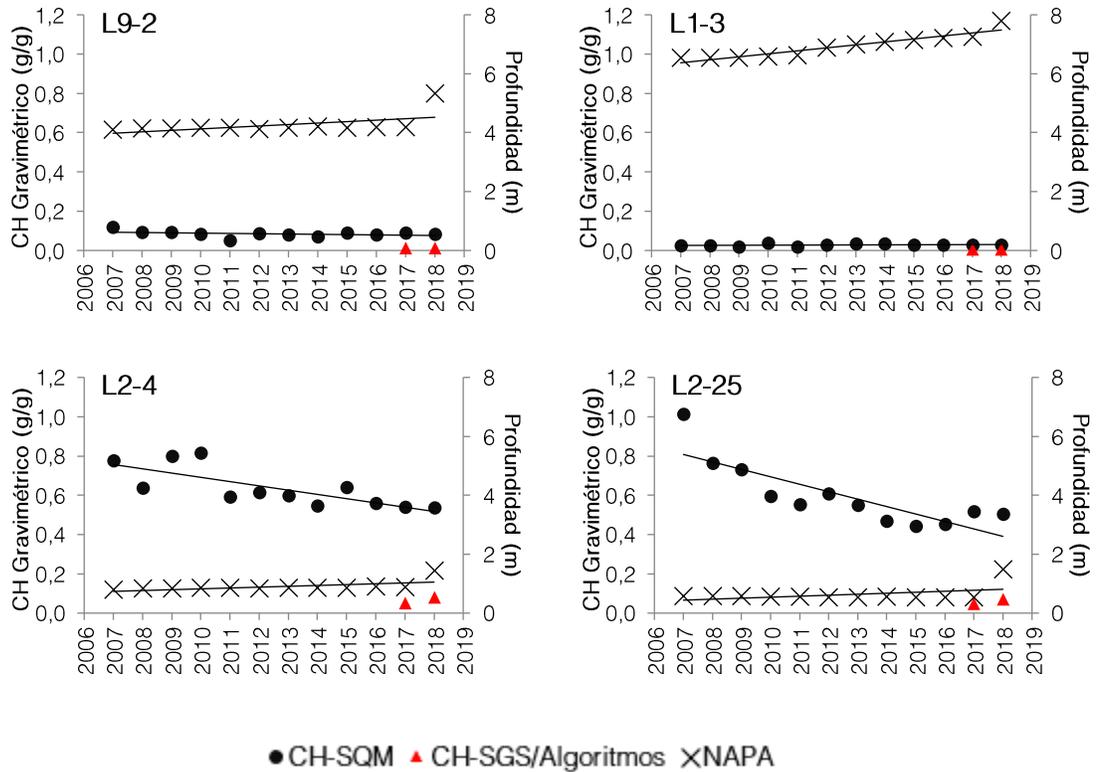


Figura 6-6. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a *Atriplex atacamensis*.

Figura 6-7 (A) representa el comportamiento del follaje verde en *Atriplex atacamensis* en la serie de tiempo 2007-2018. De la figura se destaca lo siguiente:

- No se registran individuos con copa 0% en los periodos 2007 y 2008. Del 2009 a la actualidad la cantidad de ejemplares en esta categoría fluctúa entre 1 y 4 individuos. No se detecta tendencia al incremento o descenso en el tiempo.
- Los registros de individuos con porcentaje de copa <5% se registran aisladamente en los años 2008, 2011 y 2017, en los meses de julio y octubre.
- La categoría de 5-25% presenta su máximo número de individuos en los meses de julio y octubre, lo que coincide con el periodo de crecimiento recesivo de las plantas. Por otra parte, los datos de enero y abril presentan variaciones menores en número, llegando a 0 ejemplares bajo esta categoría en varios años. No se detecta tendencia en el tiempo.
- Las categorías de copa verde 25-50% y 50-75% han tendido a reportar entre 1 a 5 ejemplares desde el comienzo del monitoreo. La variación de los ejemplares no demuestra una tendencia al detrimento de las plantas, sino que se relaciona a cambios fenológicos.

- Respecto de la categoría 75-100%, el mayor número de ejemplares en esta categoría se reporta en el monitoreo de abril, los que tienden a reducirse en los meses posteriores, 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 *A. atacamensis* para todos los monitoreos. Al respecto se puede mencionar:

- En todos los periodos de monitoreo predominan los individuos con crecimiento normal. La variación de esta categoría en el tiempo fluctúa entre 1 a 10 individuos.
- Los ejemplares vigorosos comienzan a identificarse a partir del año 2012, cuyo máximo se registró en el presente monitoreo, con 7 individuos en el trimestre 1 (abril).
- Las categorías Seco y Muy débil tienden a mantenerse alrededor de tres individuos, sin embargo, el monitoreo de julio del 2009 y 2010 registraron el máximo de ejemplares observados a la fecha, con 9 individuos "Muy débiles" y cuatro ejemplares "Secos" respectivamente.

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 primero trimestre (monitoreo de enero), se identifica la mayor cantidad de individuos en floración. Luego, durante abril, se concentran ejemplares en periodo de fructificación, el que se extiende hasta el monitoreo de julio. Durante el cuarto trimestre (octubre) las plantas se encuentran mayoritariamente en el periodo recesivo de crecimiento.
- Durante los años de monitoreo se aprecian variaciones de la dinámica antes descrita. Por ejemplo, durante el año 2017 se aprecia un adelantamiento del periodo de fructificación (enero) y una posterior aparición de flores en abril. Dando pie al periodo recesivo de crecimiento durante julio y octubre. En 2018 esta mecánica continua, sin embargo, el periodo de fructificación alcanza dos periodos (enero y abril). Estas variaciones pueden reflejar decaimiento<sup>5</sup> o fortalecimiento<sup>6</sup> de la vegetación. Es probable que los episodios de fuertes precipitaciones estivales registradas en la zona durante el 2017 y 2018, expliquen el adelantamiento del periodo reproductivo de las plantas.

Cabe destacar que los individuos de *A. atacamensis* con categoría de vigor débil, muy débil o secos, se ubican en parcelas de monitoreo donde también subsisten individuos de otras especies catalogadas con crecimiento normal o vigoroso. A la vez que los niveles de CHS y profundidad de la napa varían levemente en el tiempo. Además, en comparación con los años anteriores, el número de individuos débiles disminuyó, aumentando aquellos vigorosos y con crecimiento normal. Lo que apoya la hipótesis de que los efectos en la disminución de la vitalidad de *A. atacamensis* podría ser independiente de la disponibilidad hídrica del sector y más bien estar asociado a la dinámica natural de la especie.

<sup>5</sup> Floración y fructificación como estrategia reproductiva con el fin de la supervivencia de la especie

<sup>6</sup>Dada una mayor disponibilidad de recursos en el entorno, lo que permite a la planta mejorar sus estrategias reproductivas.

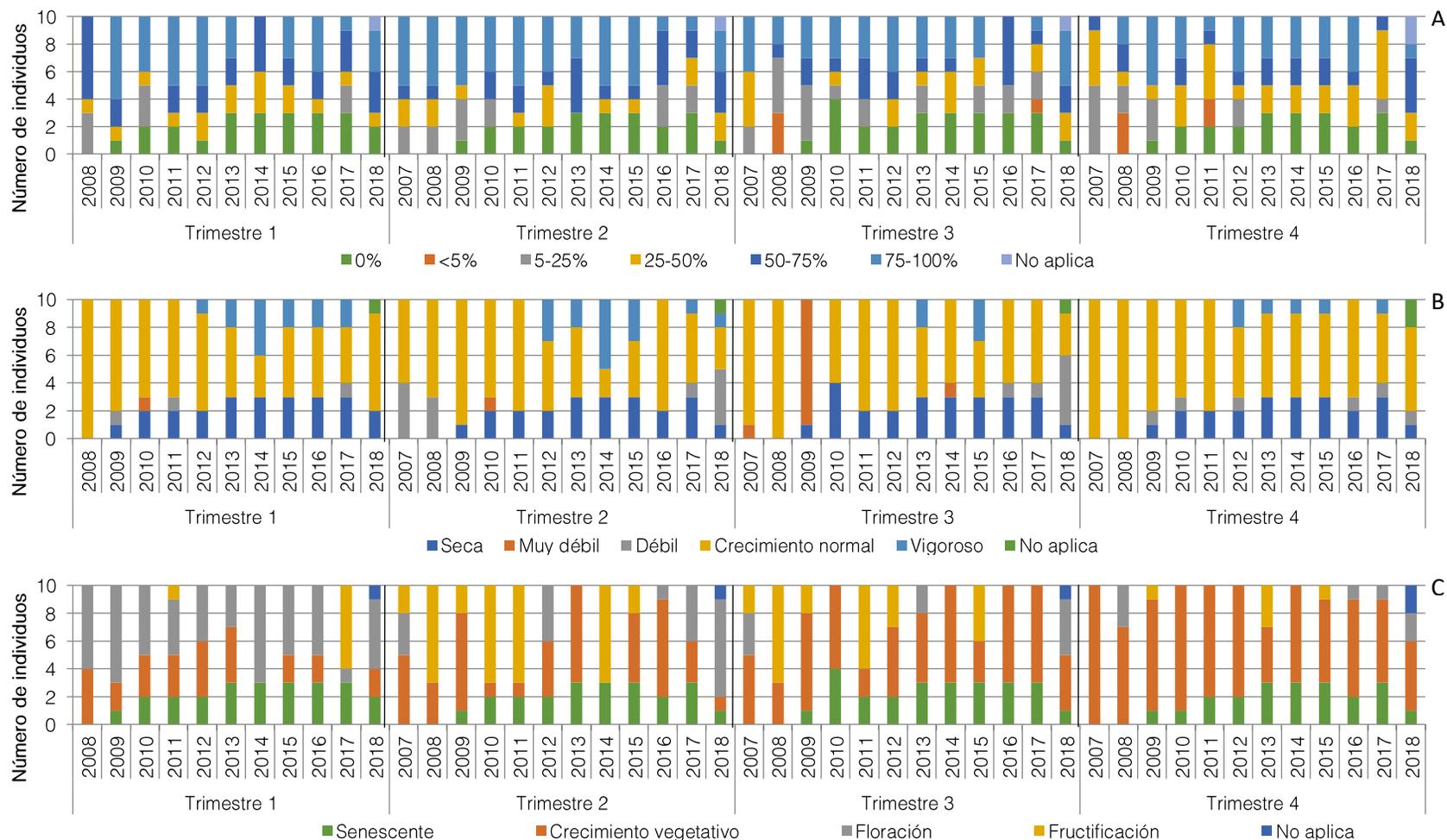


Figura 6-7. *Atriplex atacamensis*: Número de individuos por clase de Copa Viva (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por categoría de fenológica (C). Campañas 2007 a 2018.

### 6.3.2. Distichlis spicata

Las parcelas de monitoreo L4-17, L3-5, L2-25, L2-27, L7-14 y 1027 representan las áreas monitoreadas donde predominan los individuos de *Distichlis spicata*. La Figura 6-8, resume la variación del contenido de humedad gravimétrico y la profundidad de la napa para estas parcelas. Se aprecia que las variaciones han sido leves en el tiempo para ambas variables en la mayoría de las parcelas. Como caso excepcional se observa la parcela L2-25, donde el contenido de humedad muestra una tendencia a la baja, sin embargo, esta fluctuación no se relaciona con la profundidad de la napa, ya que los datos de esta última no varían mayormente en el tiempo.

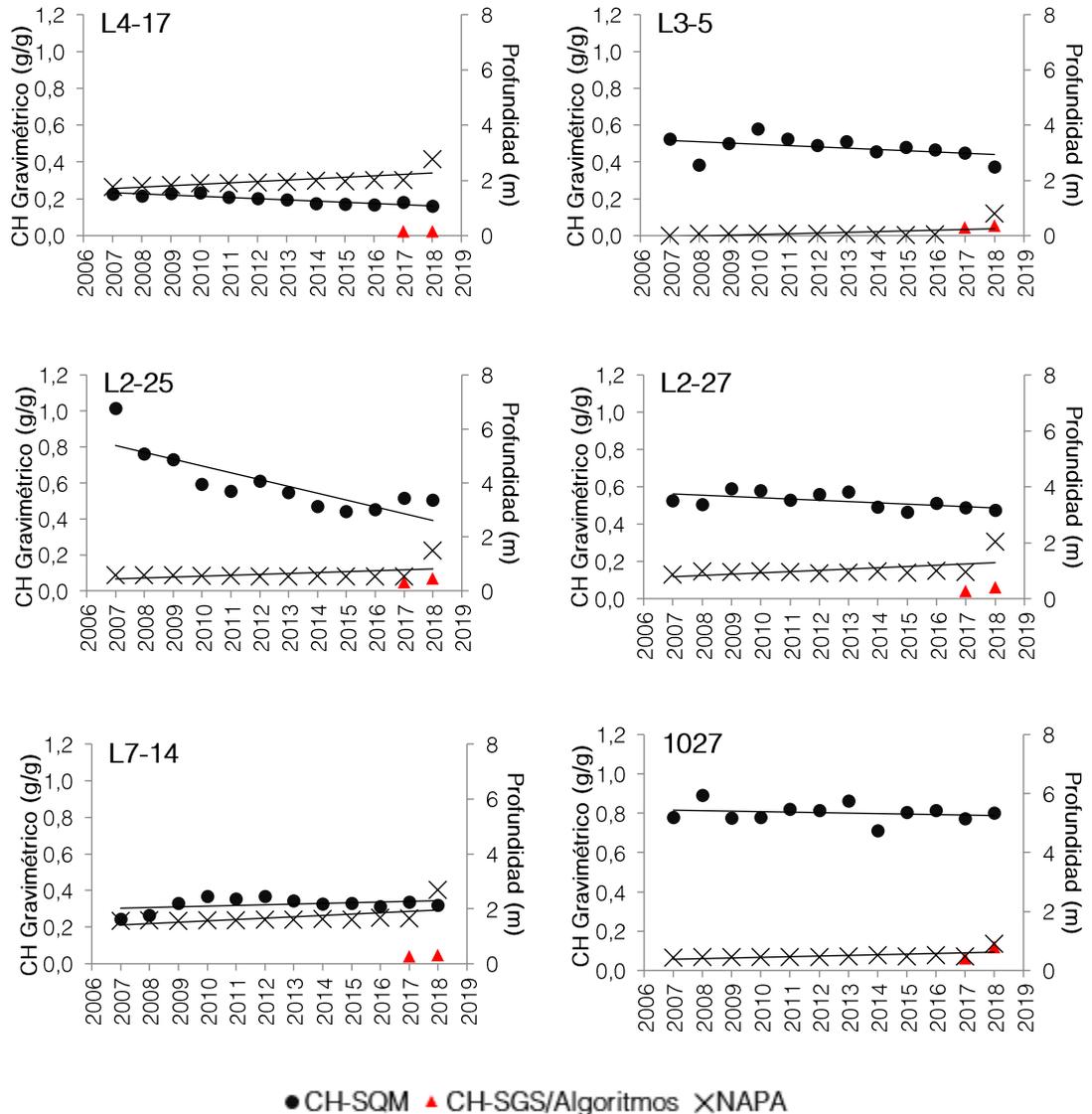


Figura 6-8. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a *Distichlis spicata*.

El estado vital de *Distichlis spicata* tiene variaciones respecto al número total de individuos registrados en terreno, debido principalmente a la dificultad de prospectar esta especie. Las características fisiológicas de *D. spicata* permiten el rebrote desde su raíz rastrera, por lo que en terreno estos individuos no se encuentran etiquetados ya que tienden a aparecer y desaparecer debido a su capacidad de eliminar biomasa aérea en distintos periodos.

El comportamiento del porcentaje de follaje verde de *D. spicata* se presenta en la Figura 6-9 (A), en la cual se aprecia:

- Durante el monitoreo de enero se aprecia un aumento del número de individuos con copa verde en las categorías 25-50% respecto al año anterior. En comparación con el monitoreo anterior, donde no hubo ejemplares la categoría de 75-100%, en 2018 se avista un individuo con esta característica. La categoría de copa verde 0% se mantiene constante respecto al 2017.
- Durante abril, se observa el primer indicio del comienzo del periodo recesivo de las plantas, así, el ejemplar catalogado en el trimestre anterior con copa viva del 75-100% ahora posee una copa verde que varían entre el 50-75%.
- En general, la copa verde de los ejemplares tiende a reducirse en el monitoreo de julio (pleno periodo recesivo), donde son escasos los individuos con copa verde superior al 25%.
- En octubre hay un porcentaje de rebrote de los ejemplares, se observa un aumento en la copa verde, incrementando los individuos en categoría 25-50%. El registro de ejemplares en categoría de copa verde superior a 5% comienza a notarse a partir del año 2012, y se ha mantenido hasta la actualidad.
- El número de individuos en categoría de copa verde 0% ha sido variable en el tiempo, y se ha concentrado en el mes de julio. Se descarta tendencia en esta variable.

Respecto a la vitalidad se observa en la Figura 6-9 (B) lo siguiente:

- A nivel histórico se observa una evidente variabilidad estacional de la especie, donde en el mes de julio se observa la mayor concentración de individuos secos, los que vuelven a su vitalidad en los periodos siguientes.
- Además, los monitoreos de abril y octubre representan los periodos transitorios entre la máxima expresión de vigor y la recesión de la vegetación.
- Los individuos vigorosos tienden a aparecer durante las prospecciones del mes de enero, sin embargo, en la actual campaña no se aprecian individuos bajo esta categoría. En su lugar, predominan ejemplares secos y débiles.
- La categoría seca es variable en el tiempo, por lo que se descarta el deterioro constante del vigor de los individuos. Sin embargo, durante las prospecciones de abril, se observa una tendencia al aumento de ejemplares secos y débiles partir del año 2014.

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

- Los monitoreos trimestrales muestran diferencias que evidencian las etapas de desarrollo la especie a nivel anual. Así, durante la prospección de enero y abril, los individuos se presentan mayoritariamente con crecimiento vegetativo, y en menor número ejemplares senescentes (en toda la serie temporal). También, en menor cantidad se registran individuos con floración y fructificación.
- El crecimiento vegetativo de las plantas disminuye en julio, dando pie al periodo recesivo donde se aprecia un elevado número de individuos senescentes.
- En octubre los ejemplares se recuperan vitalidad, aumentando los registros de individuos con crecimiento vegetativo.
- A nivel general, la especie se comporta según lo esperado en cada trimestre, no observándose tendencias aparentes en el tiempo.

*Distichlis spicata* se comporta según lo esperado históricamente y no se observan tendencias respecto a su follaje verde, vigor o fenología, además, del comportamiento esperado para un año de monitoreo.

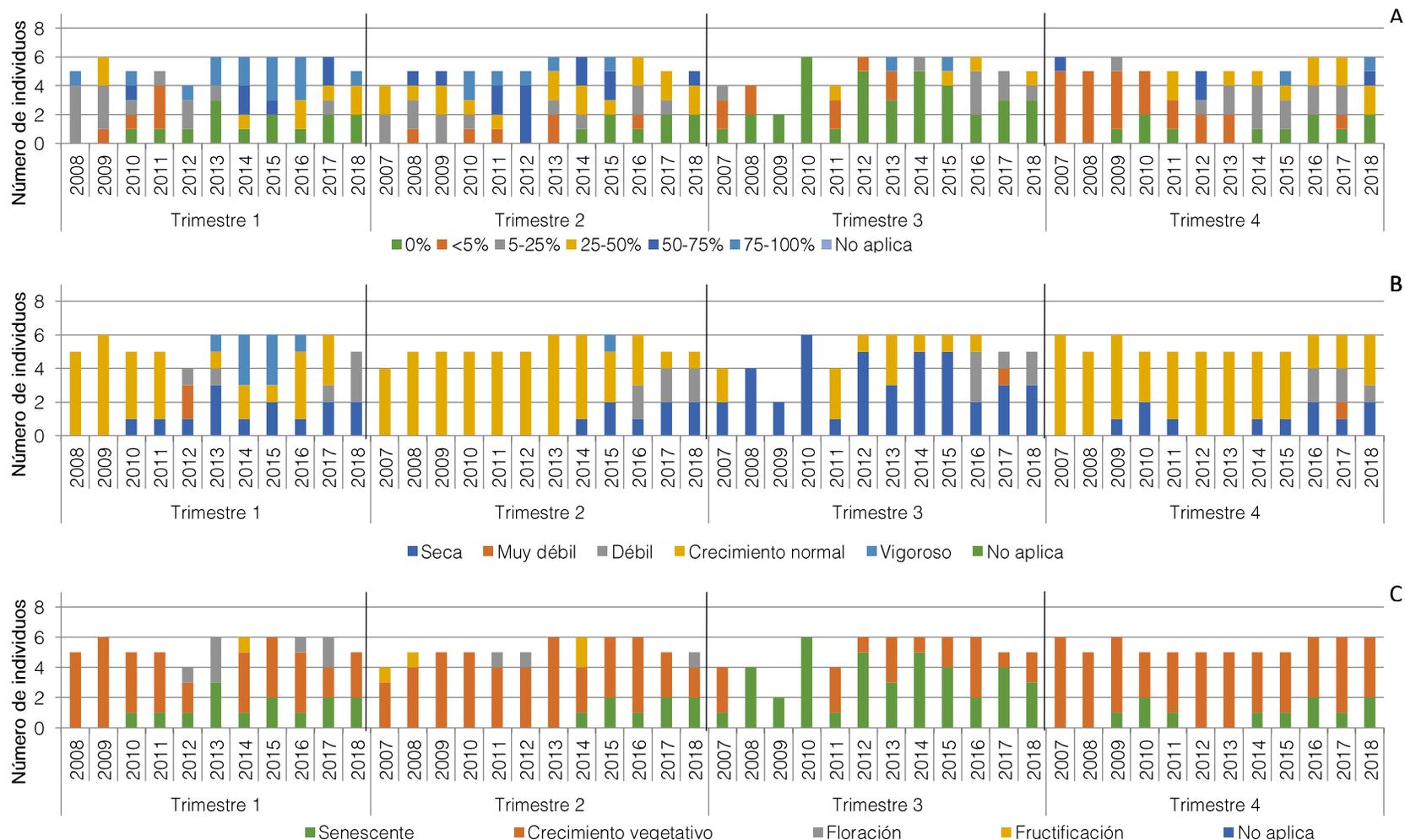


Figura 6-9. *Distichlis spicata*: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2018.



### 6.3.3. Nitrophila atacamensis

Los individuos de *N. atacamensis* se ubican en las parcelas de monitoreo L7-7 y 1027. La Figura 6-10 resume el comportamiento del contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa para estas parcelas. Se aprecia que las variaciones han sido leves en el tiempo y que, si bien los valores reportados actualmente superan los históricos, estos son aislados, y no responden a una tendencia sostenida.

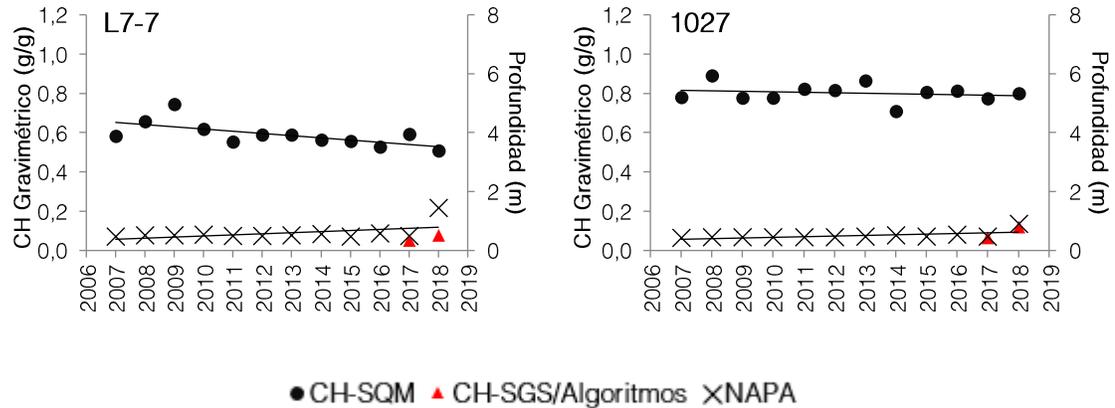


Figura 6-10. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a *Nitrophila atacamensis*.

El estado vital de *Nitrophila atacamensis* tiene variaciones respecto al número total de individuos ya que los ejemplares no se encuentran etiquetados, ya que tienden a eliminar la biomasa aérea rebrotando en otro lugar en la temporada siguiente.

Los resultados del monitoreo de follaje verde se presentan en la Figura 6-11 (A) y se comentan a continuación:

- Durante todos los años prospectados se observa una marcada tendencia de *N. atacamensis* a descartar toda su biomasa aérea en el periodo invernal. Dando pie al rebrote durante octubre. La especie alcanza su máxima expresión de follaje verde en torno a los monitoreos de enero y abril. Se descarta una tendencia al alza o baja del follaje 0% en el tiempo.

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

- Durante el monitoreo de julio los individuos se encuentran en estado de Vigor seco, mientras que el crecimiento normal, predomina el resto del año.
- El vigor responde a patrones estacionales.
- Dada la baja cantidad de individuos monitoreados históricamente, no es posible identificar alguna relación o tendencia del vigor en el tiempo.

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

- El comportamiento estacional de la planta se demuestra al observar los periodos de crecimiento vegetativo y senescencia durante el año de monitoreo. Donde en los meses previos al invierno (monitoreo de julio) los ejemplares presentan mayoritariamente crecimiento vegetativo.
- Durante abril de este año, todos los individuos prospectados presentaron flores.
- Históricamente en julio predominan los individuos senescentes.
- Se identifica como patrón histórico, la escasa producción de flores y semillas.

A nivel general *Nitrophila atacamensis* no presenta variaciones en el tiempo y se comporta según lo esperado históricamente.

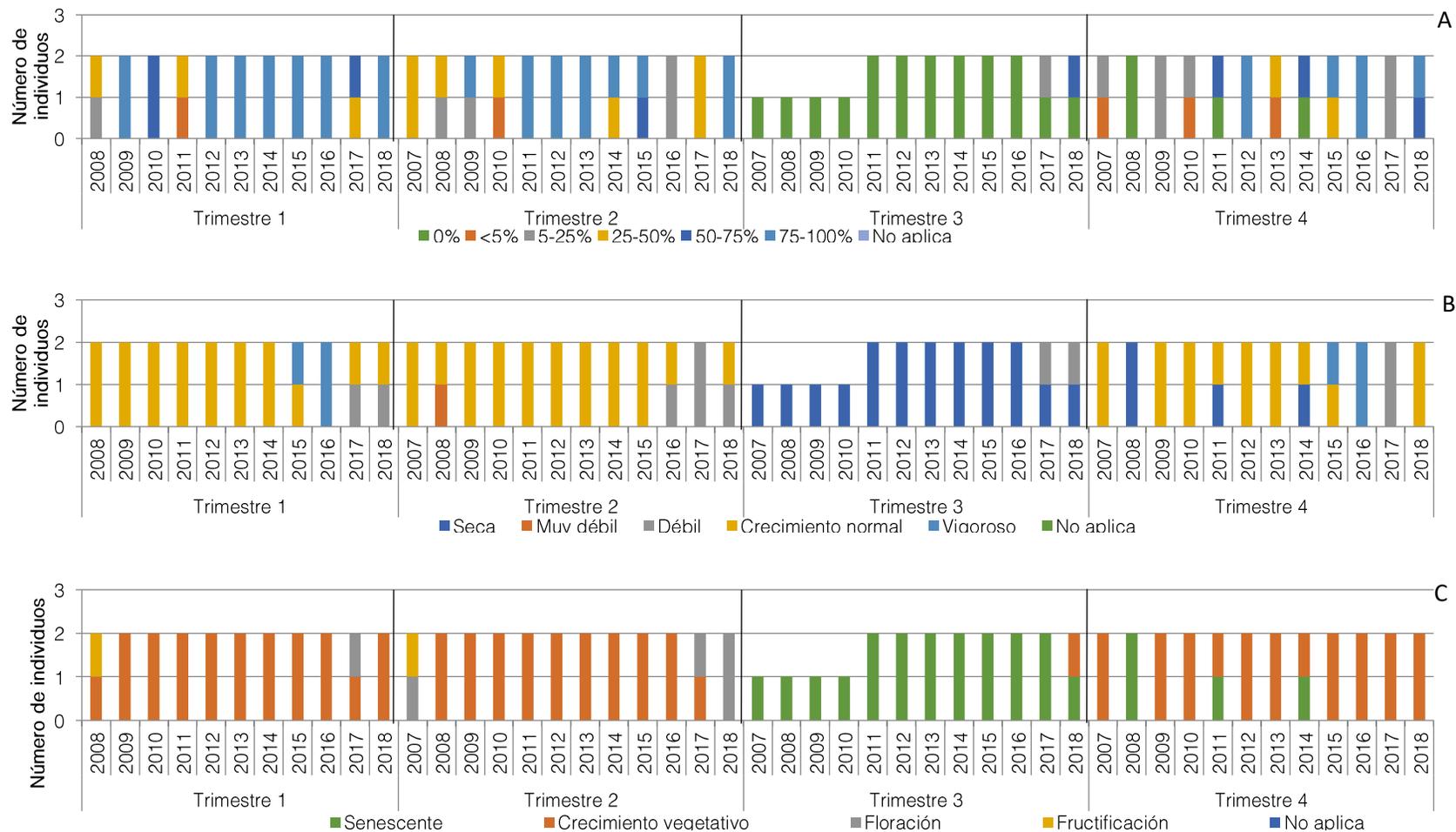


Figura 6-11. Nitrophila atacamensis: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2018.

### 6.3.4. Tessaria absinthioides

Los individuos de *Tessaria absinthioides* son los más abundantes en el área monitoreada y, por lo tanto, las parcelas de prospección donde estos se ubican superan en número a las asociadas a otras especies. En la Figura 6-12 se resumen los datos de profundidad de napa y contenido de humedad del suelo para las parcelas 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. Donde en general se aprecia que el CHS no presenta mayores fluctuaciones en el tiempo.

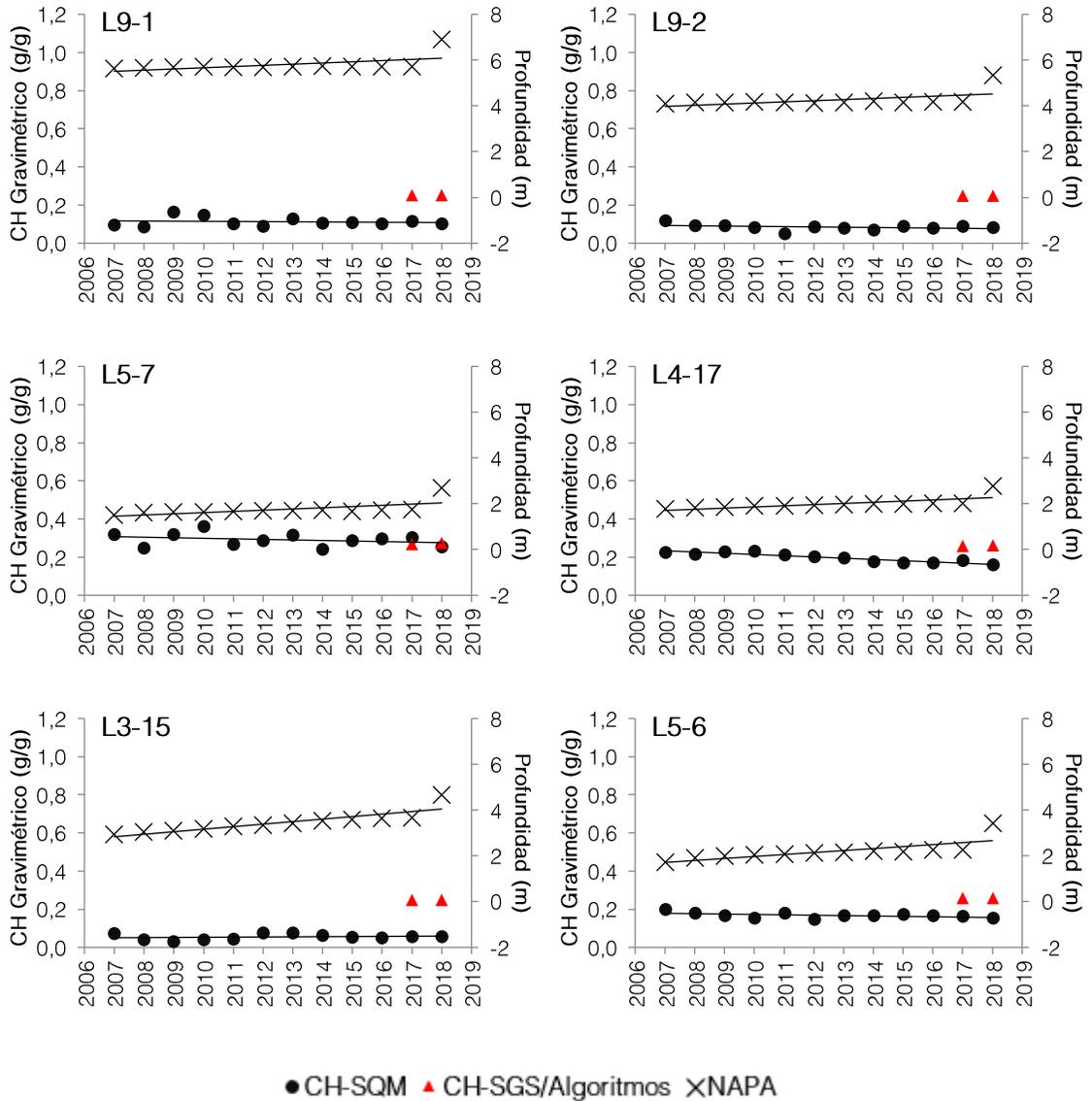


Figura 6-12. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a *Tessaria absinthioides*.

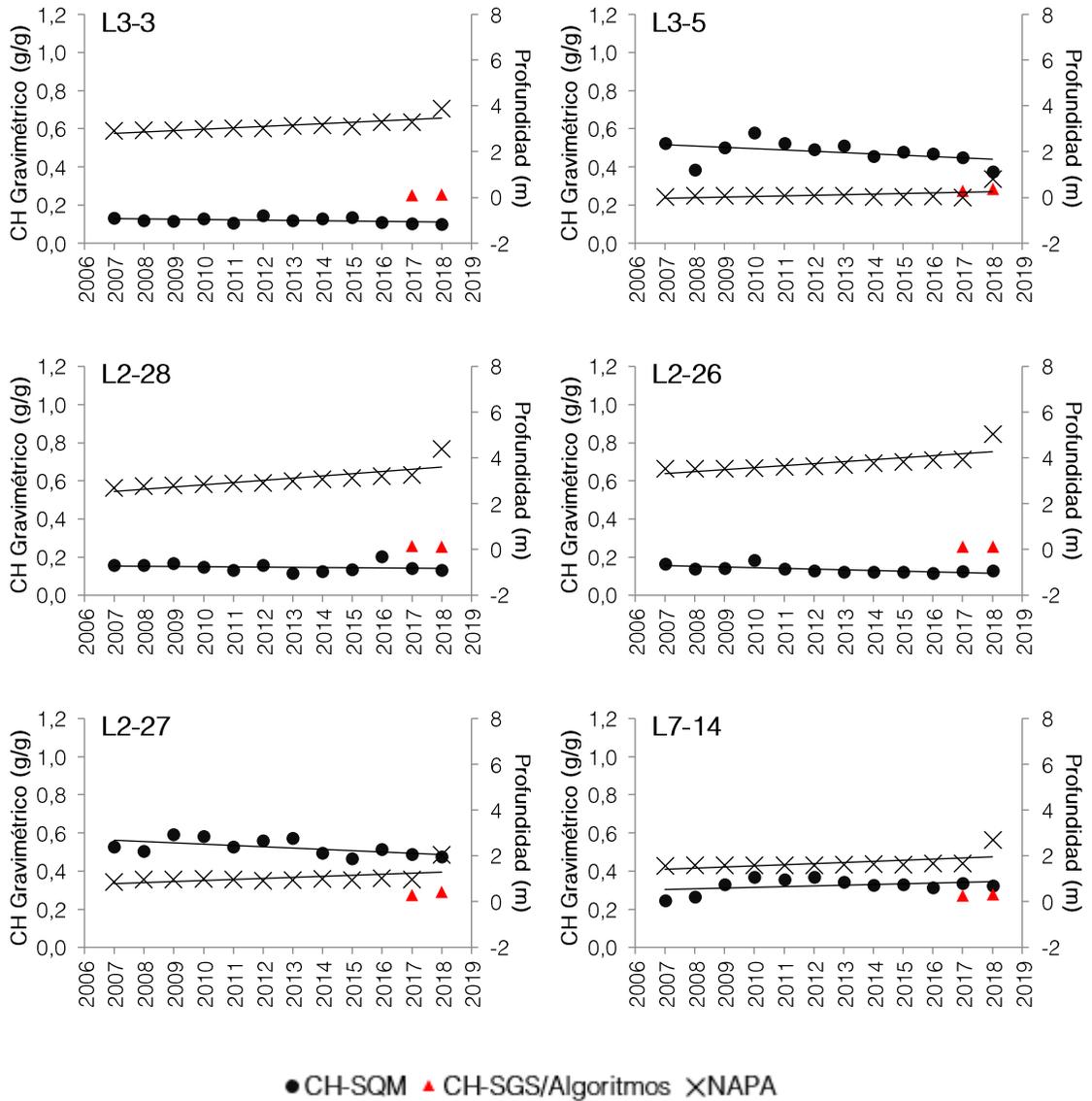


Figura 6-12. Variación del contenido de humedad gravimétrico y profundidad de la napa en las Parcelas de Monitoreo asociadas a *Tessaria absinthioides*.

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

- El follaje de *T. absinthioides* tiene un comportamiento cíclico anual, siendo el monitoreo de julio el periodo de recesión vegetativa. Es en los monitoreos posteriores la copa verde tiende a estabilizarse, para así dar pie nuevamente al ciclo.

- En los monitoreos de enero y abril se aprecia la mayor expresión de copa verde de esta especie.
- La serie de tiempo completa presenta una tendencia al alza de individuos con copa 0%. Esto puede relacionarse al tipo de muestreo implementado para el monitoreo de *T. absinthioides*, el cual contempla 123 individuos identificados y etiquetados, lo que no permite un monitoreo minucioso de la especie, al no registrar los posibles individuos que han surgido desde el inicio del monitoreo.

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

- El vigor de los individuos es predominantemente seco o normal durante gran parte del año.
- Se observa en el primer y segundo trimestres una disminución en el tiempo de la cantidad de individuos bajo crecimiento normal y un aumento de ejemplares secos. En abril se aprecia también el comienzo del periodo recesivo, registrándose una mayor cantidad de ejemplares débiles.
- *T. absinthioides* presenta un notorio periodo recesivo respecto al vigor durante el monitoreo de julio, donde predominan los individuos secos.
- Se identifican pocos individuos vigorosos a lo largo del periodo 2007-2018. Estos se registraron por primera vez en enero del 2012 y continúan apareciendo hasta el actual monitoreo.

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

- Principalmente se observan individuos con crecimiento vegetativo y senescente. La cantidad de individuos bajo cada categoría varía durante el transcurso del año, los ejemplares de *T. absinthioides* tienden a presentar fenología senescente mayoritariamente en el mes de julio. Coincidiendo con el periodo recesivo de crecimiento de las plantas del sector.
- El periodo reproductivo de la vegetación se identifica entre los monitoreos de enero y abril.
- Por segundo año consecutivo se reporta la producción de flores en abril, mes que ha sido variable a lo largo del tiempo.

En general, *Tessaria absinthioides* se comporta según lo esperado en un año de monitoreo, mientras que presenta tendencias hacia una disminución de vitalidad en el tiempo. Lo que puede estar relacionado tipo de muestreo utilizado para evaluar el vigor, follaje verde y fenología de los ejemplares etiquetados en el primero monitoreo (2008).

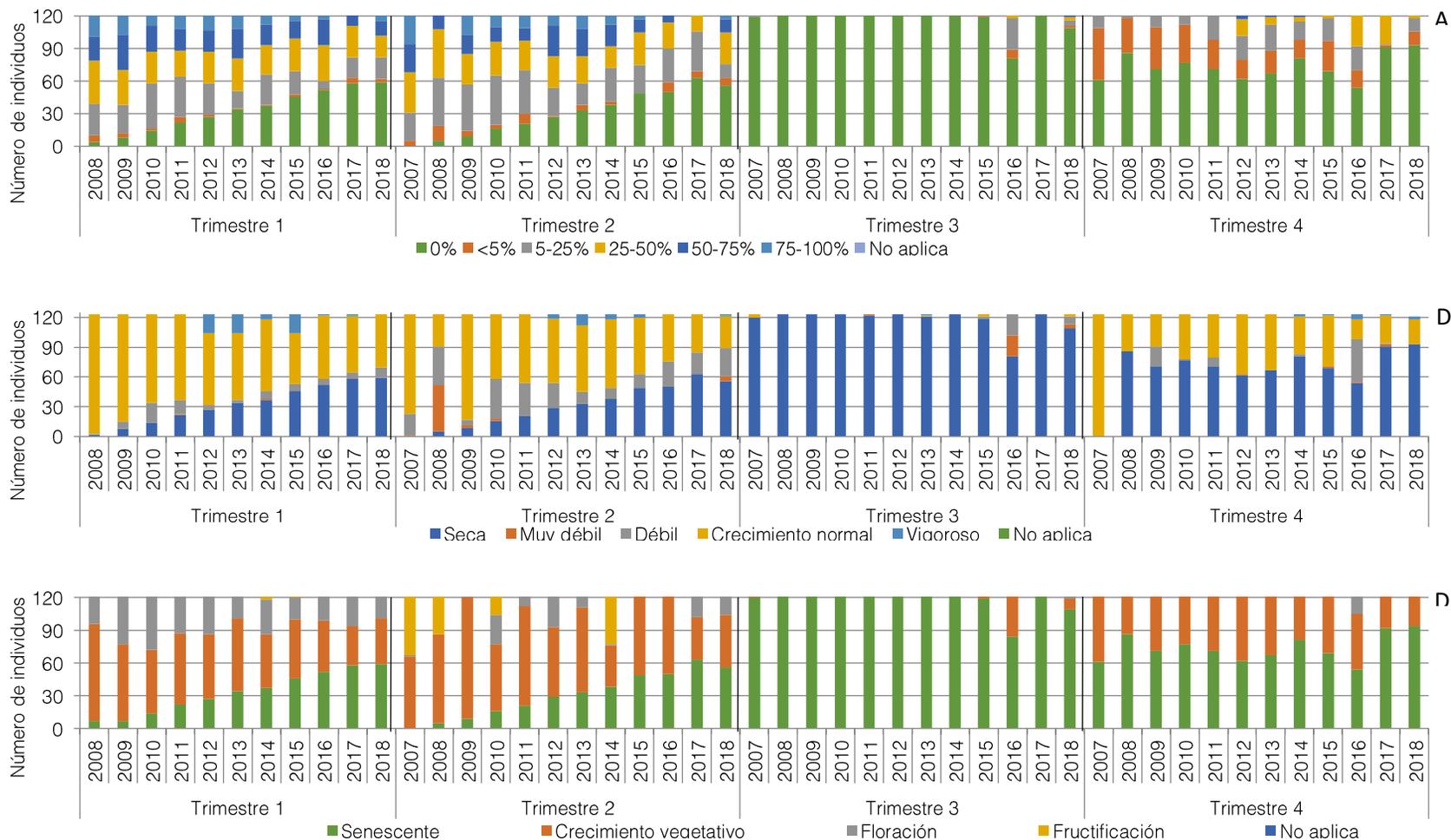


Figura 6-13. *Tessaria absinthioides*: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2018.

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

La Tabla 6-10 representa los estadígrafos asociados a la relación entre el contenido de humedad del suelo y el vigor de la vegetación presente en cada parcela de monitoreo. La información del CHS proviene de los análisis del Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar en faena, ya que los resultados de las ETFA SGS (2017) y Algoritmos SpA (2018), poseen un rango acotado de tiempo de monitoreo (dos años). Por esta razón se excluyeron de los análisis.

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

Tabla 6-10. 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	3.200	0,25	0,19	0,00	1,00	0,17	0,11	0,34
1	77	0,24	0,25	0,02	1,00	0,12	0,10	0,26
2	537	0,21	0,21	0,02	1,00	0,18	0,11	0,47
3	2.668	0,22	0,22	0,00	1,08	0,17	0,11	0,40
4	156	0,23	0,23	0,03	0,92	0,34	0,11	0,49

En la Figura 6-14, se puede apreciar una tendencia al incremento del valor promedio del contenido de humedad en la medida que el vigor de las plantas aumenta. Por lo que, es probable que las parcelas con mayor disponibilidad del recurso posean mayor cantidad de ejemplares normales o vigorosos.

Respecto a las medias, se observan valores cercanos entre todas las categorías de vigor (entre 0,21 g/g para la categoría débil (3) y 0,25 g/g para la categoría senescente (1)).

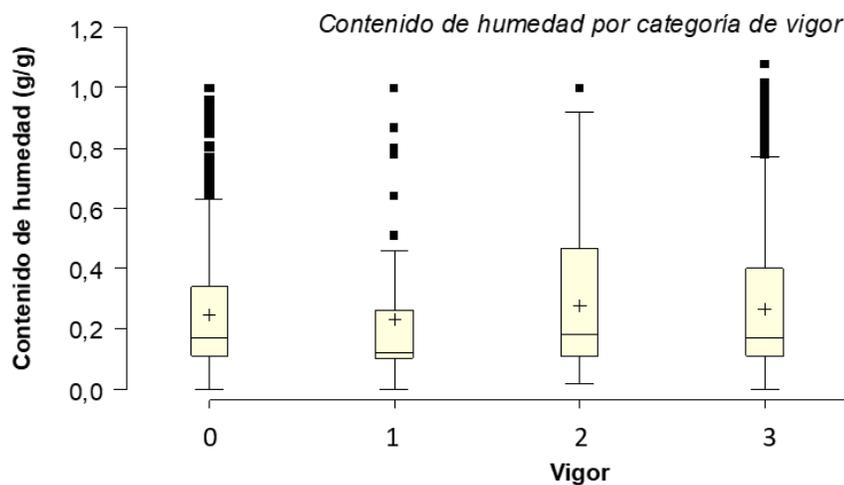


Figura 6-14. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de Vigor.

Categoría de vigor: 0=Senescente; 1=Muy débil; 2=Débil; 3=Normal; 4=Vigoroso.

Por lo demás, la Figura 6-15 ilustra el comportamiento de vigor de las plantas y el contenido de humedad asociado a las parcelas donde se ubicó cada una de ellas, para el periodo 2007-2018. Estos análisis son complementados con un Análisis Multinivel (ver anexo V) realizado con el fin de identificar el nivel de correlación de la variable vigor de la vegetación con el contenido de humedad del suelo donde se establecen las plantas. Al respecto se puede señalar:

- Categoría Senescente (Figura 6-15(A)): Desde el año 2007 se han reportado plantas bajo esta categoría de vigor en parcelas con contenido de humedad de suelo promedio 0,25 g/g, mediana 0,17 g/g y valores máximos de 1,00 g/g. Para el actual monitoreo, existe presencia de individuos en categoría senescente en suelos con alto contenido de humedad, reportándose valores de CHS promedio 0,22 g/g; mediana 0,15 g/g y valor máximo 0,80 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 (Figura 6-15(B)): La presencia de individuos bajo esta categoría es ocasional en el tiempo, se destaca la presencia de 1 ó 2 ejemplares reportados por año, principalmente en monitoreo del 2007-2008 y posteriormente del 2010 al 2015 (Ver sección 6.3). Para el año base 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 aumentando la ocurrencia de plantas en esta categoría en condiciones de alta humedad. Para el 2018 se observa una baja presencia de plantas bajo esta categoría (11 individuos) el contenido de humedad promedio de las parcelas donde se ubican estos ejemplares alcanza los 0,09 g/g, mediana de 0,08 g/g y máximo de 0,13 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 (Figura 6-15(C)): Al igual que lo reconocido en los análisis de las categorías previas, el número de plantas clasificadas en esta categoría es independiente del contenido de humedad medido en el suelo donde se establecen. En el monitoreo del 2007 el valor promedio de contenido de humedad fue de 0,45

g/g, mediana de 0,5 g/g con un máximo de 0,84 g/g. El contenido de humedad para 2018 reporta un promedio de 0,28 g/g, mediana de 0,25 g/g y un máximo de 0,81 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 (Figura 6-15(D)): En general, esta categoría se ha mantenido estable en el tiempo respecto al contenido de humedad del suelo. Durante el año base (2007) el valor promedio del CHS alcanzó 0,28 g/g, mediana de 0,20 g/g con un máximo de 1,08 g/g. Para el actual monitoreo estos valores alcanzaron 0,24 g/g de promedio, mediana 0,14 g/g y máximo 0,98 g/g. el análisis multinivel para la serie de datos 2007-2018 muestran una relación estadísticamente significativa y positiva entre esta categoría de vigor y el CHS.

- Categoría vigoroso (Figura 6-15 (E)): Los individuos caracterizados bajo esta categoría han sido escasos en el tiempo y reportados a partir del año 2012 (Ver sección 6.3). El valor del contenido de humedad del suelo donde se establecen estos individuos también es variado en el tiempo, específicamente para el periodo 2018 este valor fluctuó entre 0,08 g/g y 0,32 g/g. 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 2018 se describe un promedio de 0,19 g/g, mediana de 0,12 g/g y máximo de 0,32 g/g. Del análisis multinivel, se desprende que las plantas en esta categoría tienen relación estadísticamente significativa con el contenido de humedad en la parcela. La correlación es positiva.

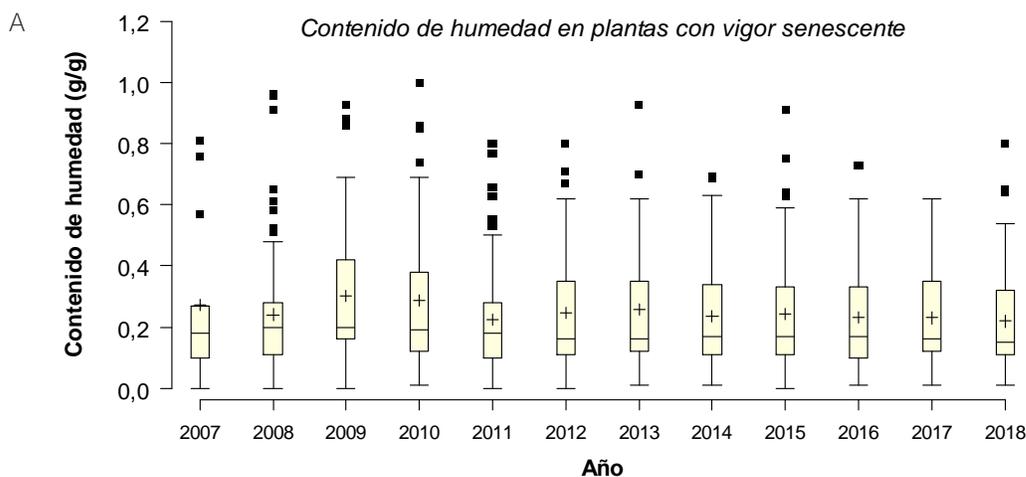


Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vigor, desde el año 2007 al 2018.

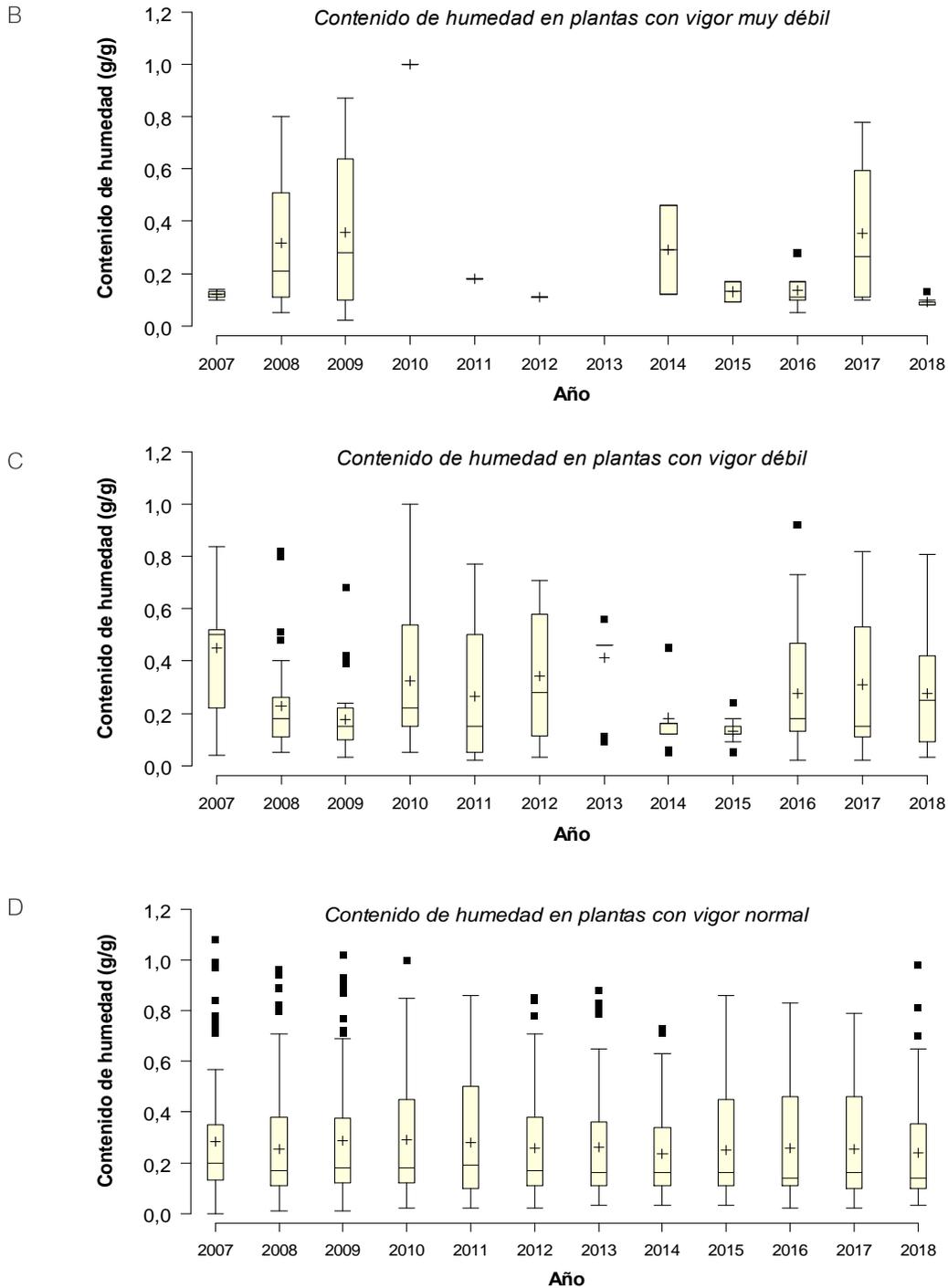


Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vigor, desde el año 2007 al 2018.

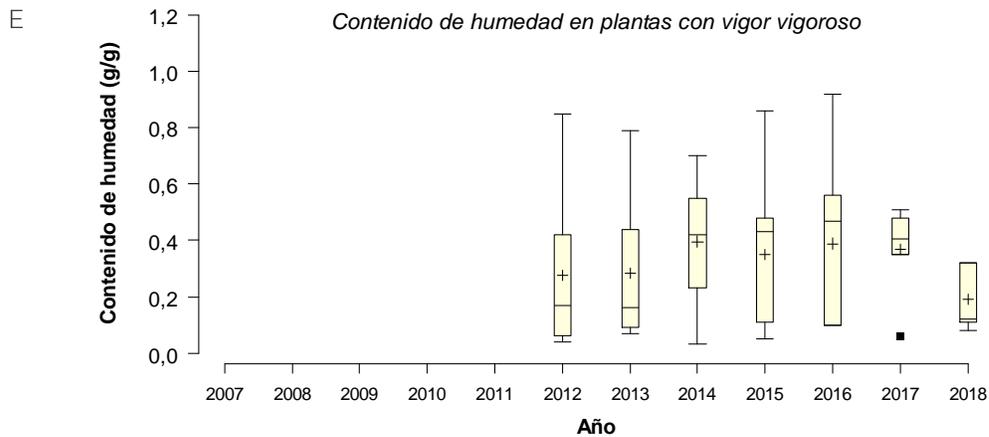


Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vigor, desde el año 2007 al 2018.

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

La Tabla 6-11 representa los estadígrafos generales para la relación entre la profundidad de la napa freática y los individuos por grado de vigor (Senescente (1), Muy débil (2), Débil (3), Crecimiento normal (4) y vigoroso (5)). La Figura 6-16 ilustra estos resultados y se puede apreciar que las profundidades promedio de la napa reportada para cada categoría de vigor varía entre 2,72 m a 3,34 m, siendo similares los promedios entre las categorías de vigor senescente, débil y normal. Una mayor diferencia se aprecia al comparar las medianas, donde la categoría vigoroso (5) presenta los valores más cercanos a la superficie (2,08 m) y la categoría muy débil presenta los valores de mayor profundidad (3,34 m).

Tabla 6-11. Resumen de la variación de la profundidad de la napa por categoría de Vigor.

Vigor	n	Media	D.E.	Min	Max	Mediana	Q1	Q2
0	3.148	2,72	2,14	-0,07	16,41	2,27	1,58	3,61
1	77	3,34	1,98	0,06	6,92	3,19	1,19	5,36
2	532	2,75	1,78	-0,04	7,80	2,30	1,27	4,04
3	2.649	2,67	1,85	-0,07	7,80	2,18	1,18	3,60
4	152	2,08	2,00	-0,07	7,07	1,64	0,45	3,58

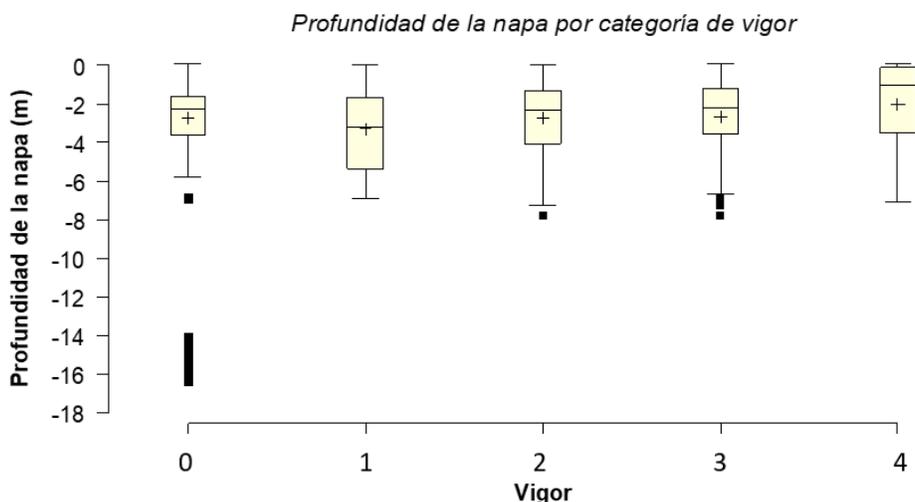


Figura 6-16. Variación de la profundidad de la napa por categoría de Vigor.

Categoría de vigor: 0=Senescente; 1=Muy débil; 2=Débil; 3=Normal; 4=Vigoroso.

Por otra parte, la Figura 6-17 ilustra el comportamiento histórico de la profundidad de la napa por cada categoría de vigor. El Análisis Multinivel presentado en el Anexo V también relaciona estas variables. Tanto el modelo como los estadígrafos (representados por los boxplots) se analizan a continuación:

- Categoría Senescente (Figura 6-17 (A)): Como se mencionó anteriormente, la categoría de vigor senescente se ha registrado desde el año base (2007) donde la napa tuvo un valor promedio de 2,57 m; mediana de 1,77 m y valor máximo de 16,09 m. En el actual monitoreo también se registraron individuos en esta categoría de vigor con una profundidad de napa promedio 3,65 m; mediana 3,41 m y valor máximo reportado de 14,39 m. del análisis multinivel se desprende que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad de la napa y esta categoría de vitalidad.
- Categoría Muy débil (Figura 6-17(B)): Al igual que el caso del CHS, no es posible establecer una relación entre la profundidad de la napa freática y esta categoría de vigor. Ya que, la ocurrencia en el tiempo de individuos bajo esta categoría es baja (Ver sección 6.3). Para el año 2007 se reportó un valor promedio de 4,12 m de profundidad de la napa; posteriormente, en el año 2008 el valor promedio de profundidad se reduce a 2,21 m con una mediana de 1,85 m y valor máximo de 5,70 m. Para el año 2018 se registra una profundidad promedio de 5,24 m, mediana de 5,35 m y máximo de 6,92m. El análisis multinivel muestra que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad de napa y esta categoría de vitalidad.
- Categoría débil (Figura 6-17(C)): Las platas clasificadas bajo esta categoría comienzan a reportarse desde el año 2007, sin embargo, no se cuenta con datos de profundidad de napa para ese periodo, por lo que el gráfico analizado comienza el año 2008, donde se registró una profundidad promedio de 2,68 m; mediana de 1,99 m y máximo de 5,70 m. La profundidad de la napa para el 2018 tiene en promedio 3,56 m; mediana de 2,78 m y un valor máximo de 7,80 m. El análisis multinivel muestra que no existe relación estadísticamente significativa entre las variables.

- Categoría normal (Figura 6-17(D)): En 2007 esta categoría presento 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 2018 reporta un promedio de 3,75 m; mediana de 3,46 m y un máximo de 7,80 m. El análisis multinivel concluye que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad y esta categoría de vitalidad.

- Categoría vigoroso (Figura 6-17 (E)): Como se mencionó anteriormente esta categoría ha sido descrita en las parcelas desde el año 2012 (ver sección 6.3). La profundidad de la napa para el año 2012 reporto un promedio de 2,16 m, mediana 2,18 m y valor máximo de 5,72 m; para el año 2018, los ejemplares en esta categoría no coinciden con aquellos lugares donde se ha reducido la profundidad de la napa, más bien la profundidad se mantiene variable entre las observaciones, describiéndose un promedio de 3,77 m; mediana de 3,75 m y máximo de 6,89 m. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad y esta categoría de vitalidad.

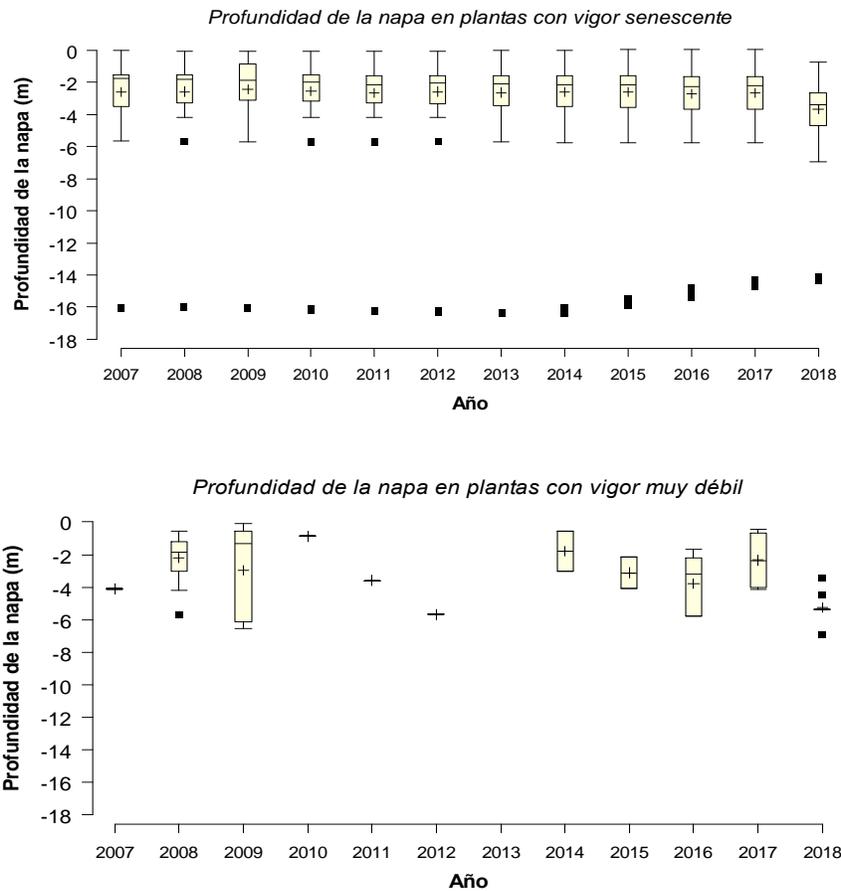


Figura 6-17. Variación de la profundidad de la napa por categoría de vigor, desde el año 2007 al 2018.

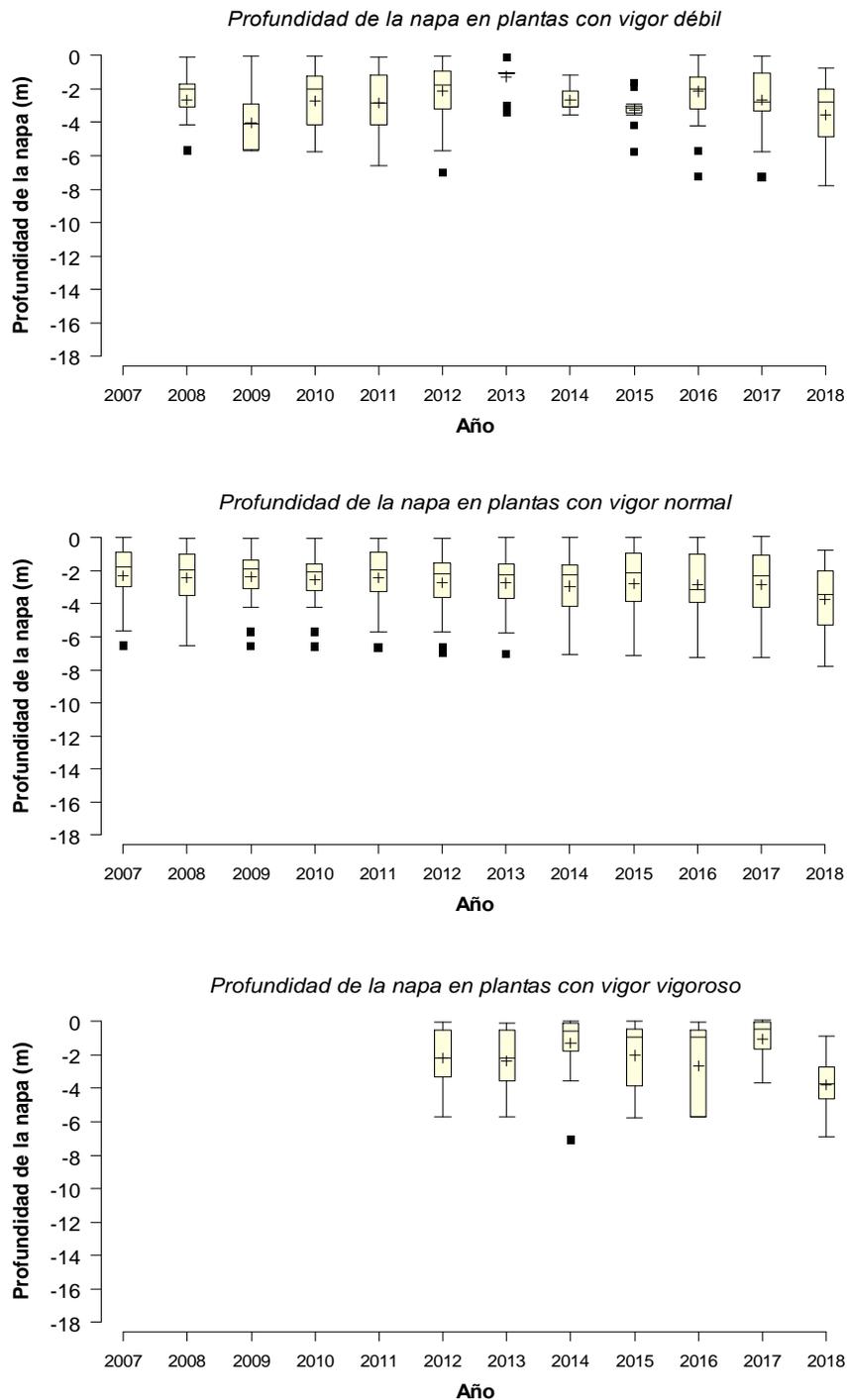


Figura 6-17. Variación de la profundidad de la napa por categoría de vigor, desde el año 2007 al 2018.

## 7. CONCLUSIONES

En el 72% de las parcelas muestreadas durante la temporada 2018 registró un aumento promedio del contenido de humedad del suelo del orden de 0,10 g/g. El 11% de las parcelas mostraron variaciones nulas (Parcelas L1-3 y L4-3) y un 17% de las parcelas presentó disminuciones respecto al año base (2007) (parcelas asociadas al pozo 1027, L7-14 y L9-1).

La profundidad de la napa aumento en 17 de los 18 pozos monitoreados, salvo el pozo L4-3 donde la profundidad disminuyó respecto al año base (2007). En promedio, el aumento de la profundidad de la napa y resultante disminución del nivel freático alcanzó 1,16 m. El máximo y mínimo aumento de profundidad de napa se registró en el pozo L3-15 y pozo 1027 respectivamente.

Tanto el CHS como profundidad de la napa freática, no presentan relaciones aparentes, dado que el aumento o disminución del nivel freático no se ve reflejado en el contenido de humedad de las muestras de suelo. Los puntos de muestreo cuyas napas se ubican a menos de dos metros de profundidad registraron comportamiento variable (aumento y disminución) del CHS respecto al año base. Sus datos oscilaron entre una disminución de 0,51 g/g (pozo L2-25, napa a 1,488 m) y un aumento de 0,02 g/g (pozo 1027, napa a 0,898 m).

Las fluctuaciones en el CHS pueden deberse a factores ambientales propios de la zona, como la radiación o evaporación. Por otra parte, pozos con un alto nivel de napa también registran variaciones en el CHS, lo que demuestra que esta última variable no es sensible a las variaciones del nivel freático.

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

Los análisis respecto a la relación entre la profundidad de la napa freática y la vitalidad de las plantas, comprueba que no existe relación estadísticamente significativa entre las variables. Por otra parte, el contenido de humedad si tiene relación con el vigor de las plantas sólo para las categorías de vigor normal y vigoroso. El incremento paulatino en el tiempo de ejemplares en la categoría senescente no puede ser explicado por las variables analizadas, y se estima que efectos propios del ciclo de vida de las plantas son los que se ven reflejados en los resultados obtenidos. Esto último fundamentado sobre la base de la aparición de regeneración cercana a las plantas monitoreadas y cambios en las parcelas de monitoreo a causa del diseño muestral, el que se limita a evaluación de individuos únicos independientes del sistema en que se insertan, dejando de lado la caracterización de la totalidad de individuos por parcela.

## 8. REFERENCIAS

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