



Informe Anual – Monitoreo
Contenido de Humedad del Suelo 2016

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

geobiota

Preparado para SQM SalarS.A.
Mayo 2017.



Contenido

1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	3
3.	OBJETIVOS.....	4
3.1	Objetivo general.....	4
3.2	Objetivos específicos.....	4
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
4.1	Descripción del área de estudio.....	5
4.2	Ubicación de los puntos de muestreo.....	5
4.3	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales.....	7
4.4	Metodología.....	8
4.4.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	8
4.4.2	Profundidad de la napa subterránea.....	10
4.4.3	Estado vital de la vegetación.....	10
4.5	Materiales.....	12
4.5.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	12
4.5.2	Profundidad de la napa subterránea.....	12
4.5.3	Vitalidad de la vegetación.....	13
4.6	Fechas de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro.....	13
4.6.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	13
4.6.2	Profundidad de la napa subterránea.....	13
4.6.3	Estado vital de la vegetación.....	13
5.	RESULTADOS.....	14
5.1	Contenido de humedad del suelo y profundidad de la napa.....	14
5.2	Estado vital de la vegetación.....	18
5.2.1	Fenología.....	19
5.2.2	Vigor.....	21
5.2.3	Porcentaje de follaje verde.....	23
6.	DISCUSIONES.....	25
6.1	Variación del contenido de humedad del suelo en el tiempo.....	25
6.1.1	Precipitaciones en la zona.....	34
6.2	Variación de la profundidad de la napa en el tiempo.....	34
6.3	Variación interanual de la vitalidad de la vegetación.....	43
6.3.1	Atriplex atacamensis.....	43
6.3.2	Distichlis spicata.....	45
6.3.3	Nitrophilla atacamensis.....	47

6.3.4	Tessaria absinthioides	49
7.	CONCLUSIONES	51
8.	REFERENCIAS	53

Tablas

Tabla 4-1. Coordenadas de los Vértices del Borde este del Salara de Atacama (UTM Datum WGS84 19S).	5
Tabla 4-2. Ubicación de las parcelas de monitoreo (UTM Datum WGS84 19S) y especies vegetales presentes	7
Tabla 4-3. Profundidad del estrato con presencia de raíces	8
Tabla 4-4. Categorías de porcentaje de follaje verde.....	11
Tabla 4-5. Categorías de vigor.....	11
Tabla 4-6. Fases fenológicas	11
Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo y profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2016.	14
Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo determinado por el laboratorio SGS Chile, octubre de 2016.	17
Tabla 5-3. Especies vegetales presentes en las 18 parcelas de monitoreo. Campañas de enero, abril, julio y octubre de 2016.	19
Tabla 5-4. Resumen de individuos por categoría de fenología.	19
Tabla 5-5. Resumen de individuos por categoría de vigor.	21
Tabla 5-6. Resumen de individuos por categoría de copa verde.	23
Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de enero, durante el periodo 2008 a 2016.	27
Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de abril, durante el periodo 2007 a 2016.	28
Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2016.	29
Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2016.	30
Tabla 6-5. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de enero, durante el periodo 2008 a 2016.	36
Tabla 6-6. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de abril, durante el periodo 2008 a 2016.	37
Tabla 6-7. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de julio, durante el periodo 2007 a 2016.	38
Tabla 6-8. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de octubre, durante el periodo 2007 a 2016.	39

Figuras

Figura 4-1. Ubicación de parcelas de monitoreo.....	6
Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo	9
Figura 4-3. Esquema del proceso de medición en un pozo	10
Figura 4-4. Ejemplo de etiquetado y medición del estado vital de la vegetación	12
Figura 4-5. Pozómetro utilizado para la medición de profundidad de la napa.....	12
Figura 5-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (A) y la profundidad de la napa (m) (B) por parcela durante los monitoreos de enero, abril, julio y octubre del año 2016	15
Figura 5-2. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2016.....	16
Figura 5-3. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico determinado por SGS Chile y la profundidad de la napa medida en octubre de 2016.....	18
Figura 5-4. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2016.....	20
Figura 5-5. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2016	22
Figura 5-6. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2016.....	24
Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2016.....	26
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 2016	32
Figura 6-3. Variación de la profundidad de la napa, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2016.....	35
Figura 6-4. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2016.....	41
Figura 6-5. <i>Atriplex atacamensis</i> : Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2016.....	44
Figura 6-6. <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 2016.....	46
Figura 6-7. <i>Nitrophilla 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 2016.....	48
Figura 6-8. <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 2016.....	50

Anexos

Anexo I. Estado vital de la vegetación

Anexo II. Registro de precipitaciones 2007-2016

Anexo III. Reportes de Contenido de Humedad de Suelos

Anexo IV. Responsables y participantes Seguimiento Ambiental

1. RESUMEN

El octavo informe anual de monitoreo año 2016 presenta los resultados del seguimiento ambiental del contenido de humedad, profundidad de la napa y vitalidad de la vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama, con el objetivo de detectar cambios producidos por el bombeo de los pozos de agua industrial del proyecto.

Para el seguimiento ambiental se establecieron 18 parcelas permanentes de monitoreo ubicadas adyacentes a los pozos de monitoreo de nivel freático que son parte del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico.

La extracción de muestras y determinación del contenido de humedad fueron realizadas por SQM Salar S.A los meses de enero, abril, julio y octubre. En forma complementaria, en el mes de octubre también se procedió a enviar las muestras de suelo al laboratorio ambiental SGS, dando así cumplimiento a la entrada en vigencia de las ETFA (Res. Ex. 200/2016). Para efectos de generar una serie de tiempo suficiente para poder identificar cambios en los parámetros, más allá de los propios derivados de cadenas de custodia y metodologías, se continuarán presentando los resultados de ambos laboratorios en el presente informe.

De las mediciones realizadas en el presente monitoreo se aprecia que el contenido de humedad del suelo varió entre 0,702 g/g, observado en la parcela de monitoreo 1027 a valores de 0,014 g/g observado en la parcela L4-3. El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos L2-28 y 1027 con desviaciones estándar de 0,147 y 0,138 g/g respectivamente. La mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo, L3-15 y L4-3, cuyas desviaciones estándar fueron de 0,003 g/g en ambos casos.

La profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2016 varió entre 0,815 m (L3-5) y 15,28 m (L4-3). La mayor variación de profundidad a lo largo del año se observó en el Pozo L4-3 con una desviación estándar de 0,22 m respectivamente, mientras que la mayor homogeneidad de la profundidad de la napa durante el año se presentó en la parcela de monitoreo L2-25 cuya desviación estándar fue de 0,01 m.

En relación a las precipitaciones de la zona, se observa una leve correlación entre éstas y las humedades registradas, en donde se observan valores más altos de humedad en las campañas de enero y abril correspondiente al período de precipitaciones del sector (enero – marzo).

Al comparar los resultados de contenido de humedad y profundidad de la napa, se ha identificado que existe una relación exponencial inversa entre el contenido de humedad y la profundidad de la napa de los pozos monitoreados, en donde a mayor profundidad de la napa se observa una menor humedad.

Los resultados del análisis histórico de contenido de humedad del suelo señalan que las parcelas L7-7, L2-4, L2-25, L3-5 y L2-27 han mostrado la mayor variación histórica con tendencia a la disminución. El pozo L2-25 ha mostrado la máxima disminución en el tiempo, donde su contenido de humedad fue de 1,01 g/g ($\pm 0,06$) para el año 2007 y para el año 2016 su promedio fue de 0,45 g/g ($\pm 0,04$). Por otro lado se identifica que el pozo L2-28 tiene tendencia a incrementar su contenido de humedad gravimétrico.

Los resultados del análisis histórico de profundidad de la napa 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, equivalente a $\pm 0,03$ m, 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 (Notificado en el informe N°4 del PSAH del Proyecto).

Respecto a la vegetación contenida en los pozos, en un análisis general, los ejemplares de *A. atacamensis* no demuestran un comportamiento lineal en términos de la variación de su actividad fisiológica representado por

la producción de follaje verde, estructuras reproductivas o vigor. Un caso similar se aprecia con *D. spicata* y *N. atacamensis*, las que muestran una amplia variación de los parámetros evaluados. En el caso particular de estas especies, se aprecia una mayor variabilidad debido a lo reducido de su estructura aérea, lo que para efectos del presente monitoreo muestra gran sensibilidad.

En el caso de *T. absinthioides* el monitoreo de los ejemplares demuestran un progresivo aumento de ejemplares en la categoría más baja de vitalidad, los que actualmente alcanzan un número de 51 individuos (Abril 2016). Las parcelas en las que se presentan los individuos afectados corresponden a L9-1, L9-2, L5-7, L4-17, L3-15, L5-6, L3-3, L3-5, L2-28, L2-26, L2-4, L2-27 y L7-14. La profundidad de la napa registrada en los pozos de monitoreo asociados a las parcelas, varía entre 0,03 a 5,72 m, con profundidades relativamente estables, cuyo incremento anual en el peor de los casos es 0,08 m/año (Pozo 3-15). Respecto al contenido de humedad se aprecia que en las parcelas de monitoreo varía entre 0,05 a 0,56 g/g.

Al considerar que la reducción de vitalidad de los ejemplares marcados se produce en parcelas donde el contenido de humedad ha tenido una baja variación, se puede concluir que no guarda relación con cambios en esta propiedad del suelo, sino que probablemente se relacione a la dinámica poblacional de éstos toda vez que en las parcelas de muestreo se pueden observar ejemplares con buenos estados de vitalidad.

2. INTRODUCCIÓN

El presente informe da cuenta los resultados del seguimiento ambiental del contenido de humedad del suelo, analizando su relación con la profundidad de la napa y el estado de la vegetación en el Borde Este del Salar de Atacama, efectuado durante el año 2016. Estas mediciones forman parte del Plan de Seguimiento Ambiental del EIA “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, de SQM Salar S.A.

Dicho Plan de Seguimiento Ambiental está contemplado en el numeral 10.3.1 de la Resolución Exenta N° 226/2006 de la Comisión Regional del Medio Ambiente II Región (RCA N° 226/06), que aprueba ambientalmente el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama” desarrollado por SQM Salar S.A.

De acuerdo al considerando 10.3.1 la medición del contenido de humedad del suelo, profundidad de la napa y vitalidad de la vegetación tiene por objetivo 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 tales efectos, se medirá 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 (Figura 4-1).

Durante el año 2008 se inició en forma escalonada el bombeo de agua para uso industrial con la puesta en marcha del pozo Camar 2 en el mes de marzo y los pozos Allana y Mullay en el mes de septiembre del 2008. En dicho periodo se entregaron 2 informes pre-operacionales. Posteriormente se ha entregado siete informes operacionales anuales (2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015), que compilan los monitoreos de los meses de Enero, Abril, Julio y Octubre. El presente informe corresponde a la octava entrega del periodo operacional 2016.

Las mediciones de las variables asociadas al monitoreo de contenido de humedad de suelo, evaluación del estadio vital de la vegetación y mediciones de profundidad de la napa subterráneas fueron realizadas por personal de SQM Salar S.A. En el mes de octubre se procedió a enviar las muestras de suelo al laboratorio ambiental SGS, dando así cumplimiento a la entrada en vigencia de las ETFA (Res. Ex. 200/2016).

El equipo de profesionales que elaboró y consolidó el informe se presenta en el Anexo V.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

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

3.2 Objetivos específicos

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

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

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del área de estudio

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

Se aclara que las coordenadas del presente informe no se corresponden a las señaladas en la Tabla 13 "Vértices del área de estudio" (RCA 226/2006, Considerando 10.3.2.1.), dado que en aquella instancia se presentaron en datum PSAD56, lo cual se actualizó para dar cumplimiento a las Resolución 223/15 del Ministerio de Medio Ambiente.

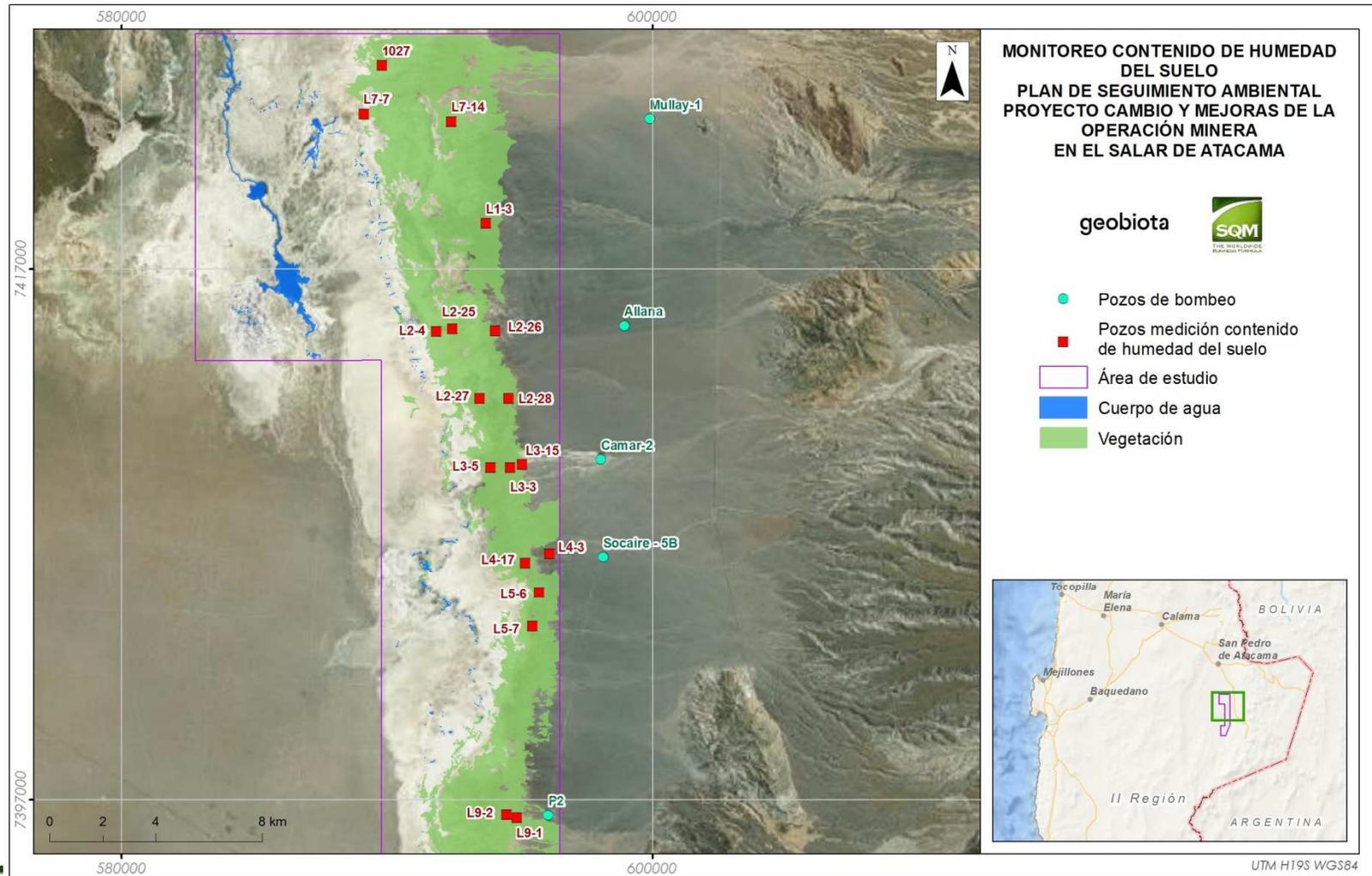
Tabla 4-1. Coordenadas de los Vértices del Borde este del Salara de Atacama (UTM Datum WGS84 19S).

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

4.2 Ubicación de los puntos de muestreo

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

Figura 4-1. Ubicación de parcelas de monitoreo



Fuente: Elaboración propia.


Tabla 4-2. Ubicación de las parcelas de monitoreo (UTM Datum WGS84 19S) y especies vegetales presentes

Nº	Parcela	Coordenadas		Especies Vegetales Presentes (Abril 2007)
		Norte	Este	
1	L2-25	7.414.711	592.479	<i>Atriplex atacamensis</i> (Cachiyuyo), <i>Distichlis spicata</i> (Gramas Salada)
2	L2-27	7.412.114	593.504	<i>Distichlis spicata</i> (Gramas Salada), <i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
3	L2-28	7.412.114	594.604	<i>Scirpus americanus</i> , <i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
4	L3-5	7.409.524	593.920	<i>Atriplex atacamensis</i> (Cachiyuyo), <i>Distichlis spicata</i> (Gramas Salada), <i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
5	L7-14	7.422.534	592.434	<i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
6	L9-1	7.396.319	594.901	<i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
7	L9-2	7.396.434	594.518	<i>Atriplex atacamensis</i> (Cachiyuyo), <i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
8	L5-6*	7.404.824	595.737	<i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
9	L5-7	7.403.544	595.487	<i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
10	L4-17	7.405.946	595.214	<i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
11	L7-7	7.422.824	589.137	<i>Juncus balticus</i> , <i>Nitrophilla atacamensis</i> (Nitrofila)
12	L1-3	7.418.714	593.743	<i>Atriplex atacamensis</i> (Cachiyuyo)
13	L2-4	7.414.618	591.865	<i>Atriplex atacamensis</i> (Cachiyuyo), <i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
14	L4-3	7.406.282	596.128	<i>Aloysia deserticola</i> ¹ (Rica rica)
15	L3-3	7.409.516	594.650	<i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
16	1027	7.424.651	589.830	<i>Distichlis spicata</i> (Gramas Salada), <i>Nitrophilla atacamensis</i> (Nitrofila)
17	L2-26	7.414.634	594.084	<i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)
18	L3-15	7.409.634	595.104	<i>Tessaria absinthioides</i> (Brea)

* El pozo L5-6 reemplaza al pozo L4-7, ya que este último se encontraba fuera de la formación vegetacional matorral ralo Brea – Cachiyuyo. 1 Sinónimo actual de *Acantholippia deserticola*. Fuente: Elaboración propia.

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

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

- Contenido de humedad gravimétrico del suelo
- Profundidad de la napa subterránea
- Estado vital de la vegetación

4.4 Metodología

4.4.1 *Contenido de humedad gravimétrico del suelo*

La extracción de muestras y determinación del contenido de humedad fueron realizadas por SQM Salar S.A los meses de enero, abril, julio y octubre. En forma complementaria, en el mes de octubre también se procedió a enviar las muestras de suelo al laboratorio ambiental SGS Chile, dando así cumplimiento a la entrada en vigencia de las ETFA (Res. Ex. 200/2016).

Para la medición del contenido del contenido de humedad gravimétrico del suelo se extraen tres muestras desde una calicata confeccionada en la parcela para cada monitoreo. La profundidad de extracción de las muestras se definió en función del crecimiento radicular de la vegetación, para lo cual se realizó un análisis en la primera campaña de la etapa pre-operacional, abril de 2007. La profundidad de muestreo en cada parcela se presenta en la Tabla 4-3.

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

Nº	Parcela de monitoreo	Profundidad del estrato (cm)
1	1027	17-35
2	L7-7	25-35
3	L7-14	25-45
4	L1-3	57-67
5	L2-26	40-50
6	L2-25	25-30
7	L2-4	40-50
8	L2-28	30
9	L2-27	10-45
10	L3-15	70-80
11	L3-5	35-60
12	L3-3	53-70
13	L4-3	40-50
14	L4-17	25-35
15	L5-6	55-60
16	L5-7	70-90
17	L9-2	48-70
18	L9-1	37-60

Fuente: Elaboración propia.

La metodología aplicada para la medición de contenido de humedad de los monitoreos de enero, abril, julio y octubre, por parte de SQM Salar S.A. correspondió a la descrita a continuación:

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

Durante el mismo día en que se han tomado las muestras en terreno (ver sección 4.6), se transportaron al Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar S.A., ubicado en el sector MOP de las operaciones de la empresa en el

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

- Determinación de peso húmedo (PH) de las muestras. La primera etapa consistió en el pesaje de las muestras de suelo en estado húmedo. Para ello se pesaron las muestras de suelo dentro de la bolsa sellada, utilizando la balanza de precisión 0,1 g. El peso húmedo (en gramos) corresponde a la lectura de la balanza, descontando el peso de la bolsa.
- Secado y determinación del peso seco (PS) de las muestras. Para el secado se extrajo el suelo de las bolsas, cuidando de sacar la totalidad de la muestra. Ésta se dispuso sobre una bandeja de aluminio de peso conocido y se secó a una estufa de circulación de aire por 48 horas a $105 \pm 5^\circ\text{C}$, tiempo estimado para que las muestras logren un peso constante. Tras finalizar el secado, las muestras se pesaron (precisión 0,1 g). El peso seco de la muestra se obtuvo descontando el peso de la bandeja.
- Cálculo del contenido de humedad gravimétrico del suelo. El cálculo del contenido de humedad gravimétrico del suelo se realizó utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde,

CH_g : Contenido de humedad gravimétrico (g/g)

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

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

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

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



Extracción de muestras calicatas



Embolsado de muestras en terreno



Pesaje de muestras húmedas con balanza de precisión



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



Estufa con circulación de aire utilizada para secar las muestras.



Muestras secas en proceso de pesaje.

Fuente: Elaboración propia.

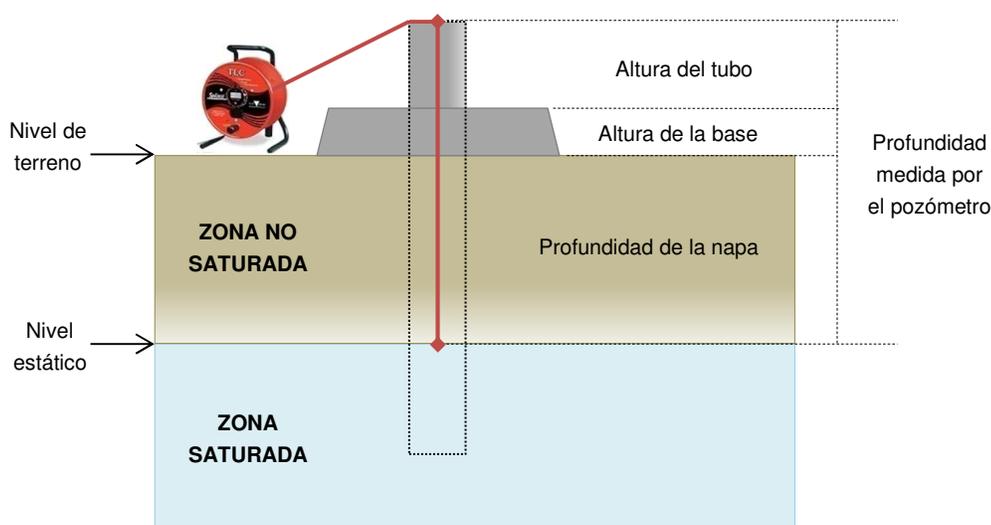
colectadas, con la finalidad de minimizar la evaporación de agua. La determinación del contenido de humedad gravimétrico se realizó de acuerdo al método propio I-ENV-LAB-102 basado en método de análisis de suelo INIA (2006), aprobado por la Resolución 303/2016 de la Superintendencia del Medio Ambiente.

4.4.2 **Profundidad de la napa subterránea**

Cada parcela de monitoreo definida previamente cuenta con un pozo de monitoreo. La medición de la profundidad de la napa subterránea se realizó con un pozómetro, equipo que en uno de sus extremos tiene un sensor sonoro y lumínico que detecta la presencia del nivel de agua (Figura 4-3). La metodología consiste en hacer descender el extremo con sensor sonoro y lumínico por el pozo. Una vez que este toca la superficie emite una señal y se registra la longitud del cable que se introduce en el pozo.

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

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



Fuente: Elaboración propia

4.4.3 **Estado vital de la vegetación**

La frecuencia de monitoreo es semestral, aunque se ha optado por realizarlo de forma trimestral. La evaluación se realizó en 18 parcelas circulares permanentes de radio 5 m, que fueron establecidas en la primera campaña y que se han repetido durante todo el período del reporte, y son las mismas donde se realiza el monitoreo de contenido de humedad gravimétrico del suelo.

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

- **Altura:** Este parámetro se evalúa sólo en ejemplares arbustivos y consiste en la medición de la altura (cm), desde el suelo, del follaje fotosintéticamente activo (verde). Cuando un individuo no presenta follaje verde, esta variable no se mide.
- **Porcentaje de follaje verde:** Esta variable evalúa la proporción de follaje verde versus la estructura aérea total de la planta (Tabla 4-4).

- Vigor: Evalúa el estado fitosanitario de los individuos en función de su estado fisiológico (Tabla 4-5).
- Estado Fenológico: Evalúa la formación de estructuras en la planta (Tabla 4-6).

Adicionalmente se efectuó un registro fotográfico de los ejemplares marcados.

Tabla 4-4. Categorías de porcentaje de follaje verde

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

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-5. Categorías de vigor

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

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-6. Fases fenológicas

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

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-4. Ejemplo de etiquetado y medición del estado vital de la vegetación



A.- Individuos rotulado

Fuente: Elaboración propia



B.- Medición de altura en un individuo

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, Memmert GmbH + Co. Kg.
- Bolsas plásticas
- Frascos plásticos
- Pala

4.5.2 *Profundidad de la napa subterránea*

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

- Pozómetro (Figura 4-5).

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



Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 ***Vitalidad de la vegetación***

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

- GPS
- Cámara fotográfica
- Flexómetro

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

4.6.1 ***Contenido de humedad gravimétrico del suelo***

El monitoreo de esta propiedad se realiza de forma trimestral. Los muestreos fueron realizados los días 27 y 28 de enero, 26 y 27 de abril, 27 y 28 julio y 19 y 20 de octubre del año 2016. Las muestras son pesadas el mismo día en que son extraídas en terreno.

4.6.2 ***Profundidad de la napa subterránea***

Esta medición se realizó con una frecuencia trimestral. Los muestreos fueron realizados el día 20 en los meses de enero, abril, julio y octubre del año 2016.

4.6.3 ***Estado vital de la vegetación***

El monitoreo de esta propiedad se realiza de forma trimestral. Los muestreos fueron realizados los días 27 y 28 de enero, 26 y 27 de abril, 27 y 28 julio y 19 y 20 de octubre del año 2016.

5. RESULTADOS

5.1 Contenido de humedad del suelo y profundidad de la napa

La Tabla 5-1 muestra los resultados de las mediciones del contenido de humedad y profundidad de la napa realizadas en las cuatro campañas correspondientes al monitoreo del año 2016 (enero, abril, julio y octubre). Los resultados corresponden a las mediciones realizadas por SQM Salar S.A.

Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo y profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2016.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g)						Profundidad napa (m)					
	Ene. ¹	Abr. ¹	Jul. ¹	Oct. ¹	Prom. (g/g)	Desv. est.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Prom. (m)	Desv. est.
L7-7	0,501	0,515	0,519	0,570	0,526	0,030	0,62	0,71	0,55	0,45	0,58	0,11
1027	0,830	0,778	0,728	0,915	0,813	0,080	0,54	0,62	0,49	0,45	0,52	0,07
L2-4	0,555	0,534	0,516	0,624	0,557	0,047	0,91	0,96	0,85	0,85	0,89	0,05
L2-25	0,465	0,455	0,397	0,491	0,452	0,040	0,54	0,54	0,54	0,53	0,54	0,01
L7-14	0,324	0,289	0,312	0,326	0,313	0,017	1,65	1,69	1,65	1,62	1,65	0,03
L2-27	0,546	0,479	0,493	0,529	0,512	0,031	0,97	1,27	0,91	0,85	1,00	0,19
L1-3	0,033	0,028	0,022	0,027	0,027	0,004	7,17	7,19	7,21	7,22	7,20	0,02
L3-5	0,466	0,500	0,470	0,435	0,468	0,027	0,07	0,11	0,00	-0,04	0,03	0,07
L2-26	0,140	0,106	0,106	0,111	0,116	0,016	3,86	3,91	3,91	3,90	3,89	0,02
L9-2	0,087	0,082	0,076	0,075	0,080	0,006	4,13	4,21	4,21	4,17	4,18	0,04
L2-28	0,126	0,455	0,119	0,114	0,204	0,168	3,18	3,28	3,18	3,15	3,20	0,06
L9-1	0,102	0,106	0,098	0,101	0,102	0,003	5,68	5,74	5,75	5,72	5,72	0,03
L3-15	0,050	0,050	0,050	0,049	0,050	0,001	3,61	3,67	3,64	3,62	3,63	0,03
L4-17	0,137	0,183	0,179	0,178	0,169	0,022	2,01	2,04	2,00	1,97	2,00	0,03
L5-7	0,336	0,317	0,284	0,254	0,298	0,036	1,74	1,82	1,68	1,65	1,72	0,07
L5-6	0,166	0,165	0,174	0,164	0,167	0,005	2,27	2,30	2,20	2,19	2,24	0,06
L3-3	0,112	0,102	0,113	0,114	0,110	0,005	3,36	3,41	3,19	3,19	3,29	0,11
L4-3	0,017	0,013	0,015	0,011	0,014	0,003	15,42	15,23	15,03	14,83	15,13	0,25

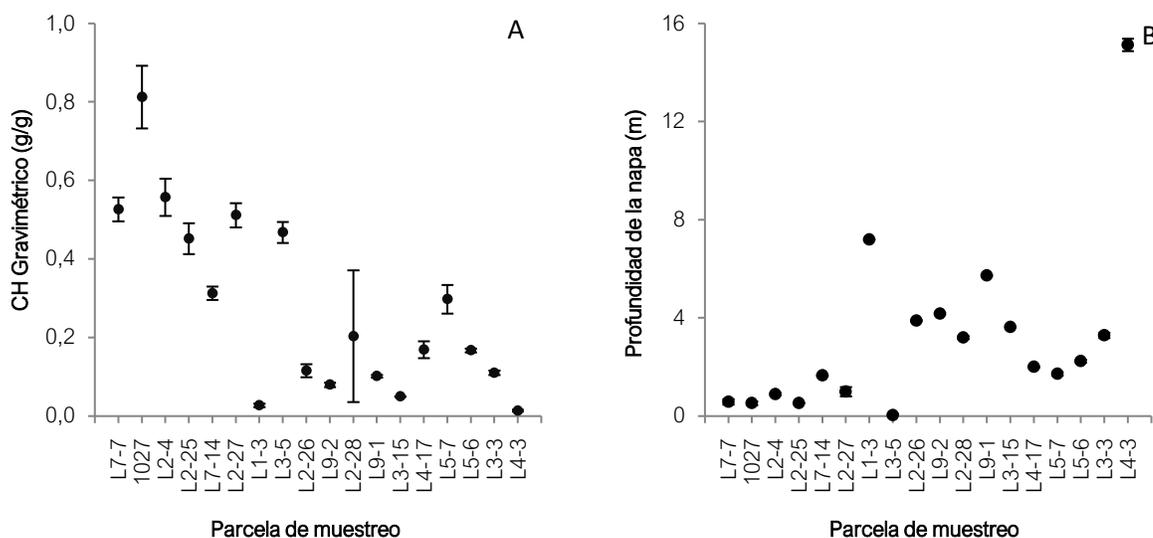
1: Datos determinados por SQM
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5-1 (gráfico A) corresponde al promedio del contenido de humedad gravimétrico del suelo de los 18 puntos de medición evaluados en las cuatro campañas de monitoreo del año 2016. Los puntos de muestreo están distribuidos de oeste a este. El gráfico muestra que el mayor contenido de humedad promedio se obtuvo en las parcelas ubicadas al oeste (1027, L2-4 y L7-7), registrando valores que variaron entre 0,813 g/g a 0,526 g/g respectivamente. Los menores registros de contenido de humedad no tuvieron comportamiento espacial, correspondiendo a las parcelas de monitoreo L4-3, L1-3 y L3-15 presentaron los tres valores más bajos con un promedio anual entre 0,014 g/g a 0,050 g/g.

El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos L2-28 y 1027 con desviaciones estándar de 0,147 y 0,138 g/g respectivamente. Mientras que la mayor homogeneidad del

contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en la parcela de monitoreo L3-15 con 0,001 g/g y las parcelas L9-1 y L4-3, cuyas desviaciones estándar fueron de 0,003 g/g en ambos casos

Figura 5-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo (A) y la profundidad de la napa (m) (B) por parcela durante los monitoreos de enero, abril, julio y octubre del año 2016



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

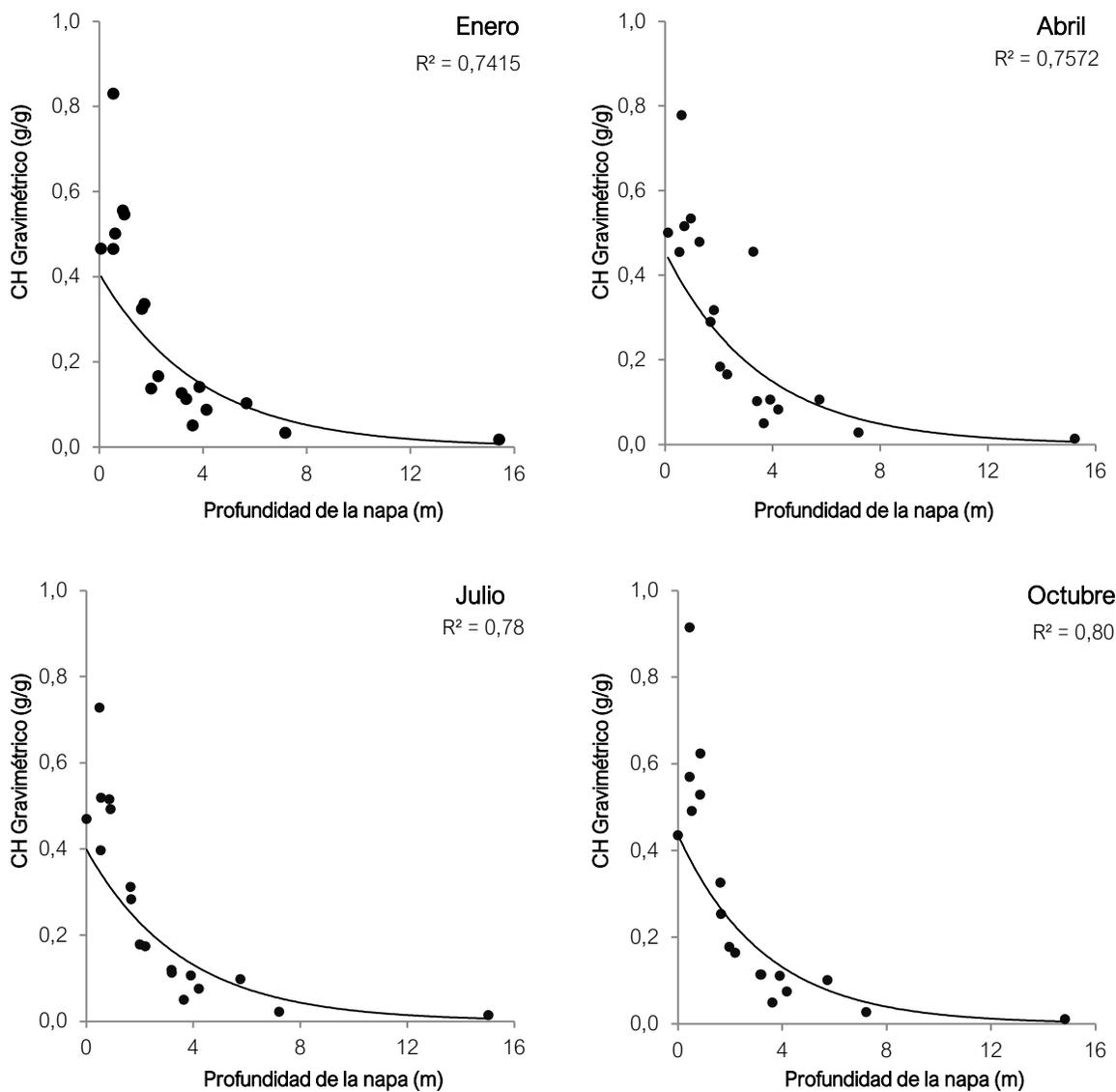
En la Figura 5-1 (gráfico B) se presenta la profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2016. Las parcelas de monitoreo L3-5 presentó la menor profundidad promedio de la napa con un valor de 0,815 m. En contraposición, la mayor profundidad promedio de la napa se observó en el pozo L4-3, llegando a 15,28 m, seguido por los pozos L1-3 (7,68 m) y L9-1 (6,88 m).

La profundidad de la napa en el punto L4-3 presentó la mayor variación a lo largo del año, presentando una desviación estándar de 0,22 m respectivamente. Mientras que la mayor homogeneidad de la profundidad de la napa durante el año se presentó en la parcela de monitoreo L2-25 cuya desviación estándar fue de 0,01 m.

La Figura 5-2 muestra la relación entre el contenido de humedad y la profundidad de la napa por mes de monitoreo. En los cuatro meses (enero, abril, julio y octubre) se aprecia una relación exponencial inversa entre ambas propiedades, indicando que para la profundidad de la napa tiene un efecto significativo sobre el contenido de humedad gravimétrico del suelo. La relación de ambas mediciones muestra que existe una relación R^2 que varía entre un mínimo de 0,74 observado en el mes de enero a 0,80 observada en el mes de octubre.



Figura 5-2. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2016



Fuente: Elaboración propia

Respectos de la segunda medición del contenido de humedad, correspondiente a la realizada por el Laboratorio Ambiental SGS Chile, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5-2 y los respectivos informes de resultados se entregan en el Anexo III. Los presentes resultados no pueden ser comparados con los valores históricos registrados dado que difieren en el procedimiento de medición.



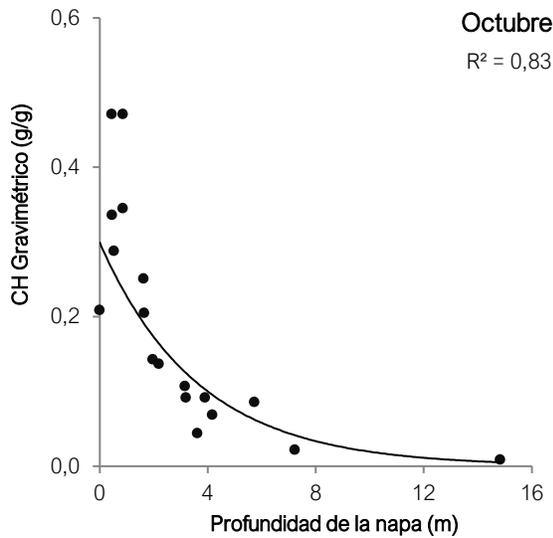
Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo determinado por el laboratorio SGS Chile, octubre de 2016.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g)
L7-7	0,336
1027	0,471
L2-4	0,471
L2-25	0,288
L7-14	0,251
L2-27	0,345
L1-3	0,022
L3-5	0,209
L2-26	0,092
L9-2	0,069
L2-28	0,107
L9-1	0,086
L3-15	0,044
L4-17	0,143
L5-7	0,205
L5-6	0,137
L3-3	0,092
L4-3	0,009

Fuente: Resultados entregados por SGS Chile.

En la Figura 5-3 se presenta la relación existente entre el contenido de humedad gravimétrico informado por SGS Chile y la profundidad de la napa medido por SQM Salar S.A. Se identifica que existe una relación similar a la observada anteriormente, ajustándose los datos a una función exponencial inversa con un $R^2 = 0,83$. Esto corresponde a que con el aumento de la profundidad de la napa, las muestras tenderán a disminuir su contenido de humedad.

Figura 5-3. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico determinado por SGS Chile y la profundidad de la napa medida en octubre de 2016



Fuente: Elaboración propia

5.2 Estado vital de la vegetación

El seguimiento del estado vital de la vegetación se ha realizado en función del porcentaje de follaje verde, vigor y estado fenológico. La Tabla 5-3 muestra listado de especies monitoreadas.

Tabla 5-3. Especies vegetales presentes en las 18 parcelas de monitoreo. Campañas de enero, abril, julio y octubre de 2016.

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

Fuente: Elaboración propia.

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

5.2.1 Fenología

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

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

Categoría	Enero	%	Abril	%	Julio	%	Octubre	%
Senescente	56	39,7	53	37,6	91	64,5	58	41,1
Crecimiento vegetativo	55	39,0	86	61,0	50	35,5	64	45,4
Floración	30	21,3	2	1,4	0	0,0	17	12,1
Fructificación	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	1,4
Total	141	100,0	141	100,0	141	100,0	141	100,0

Fuente: Elaboración propia.

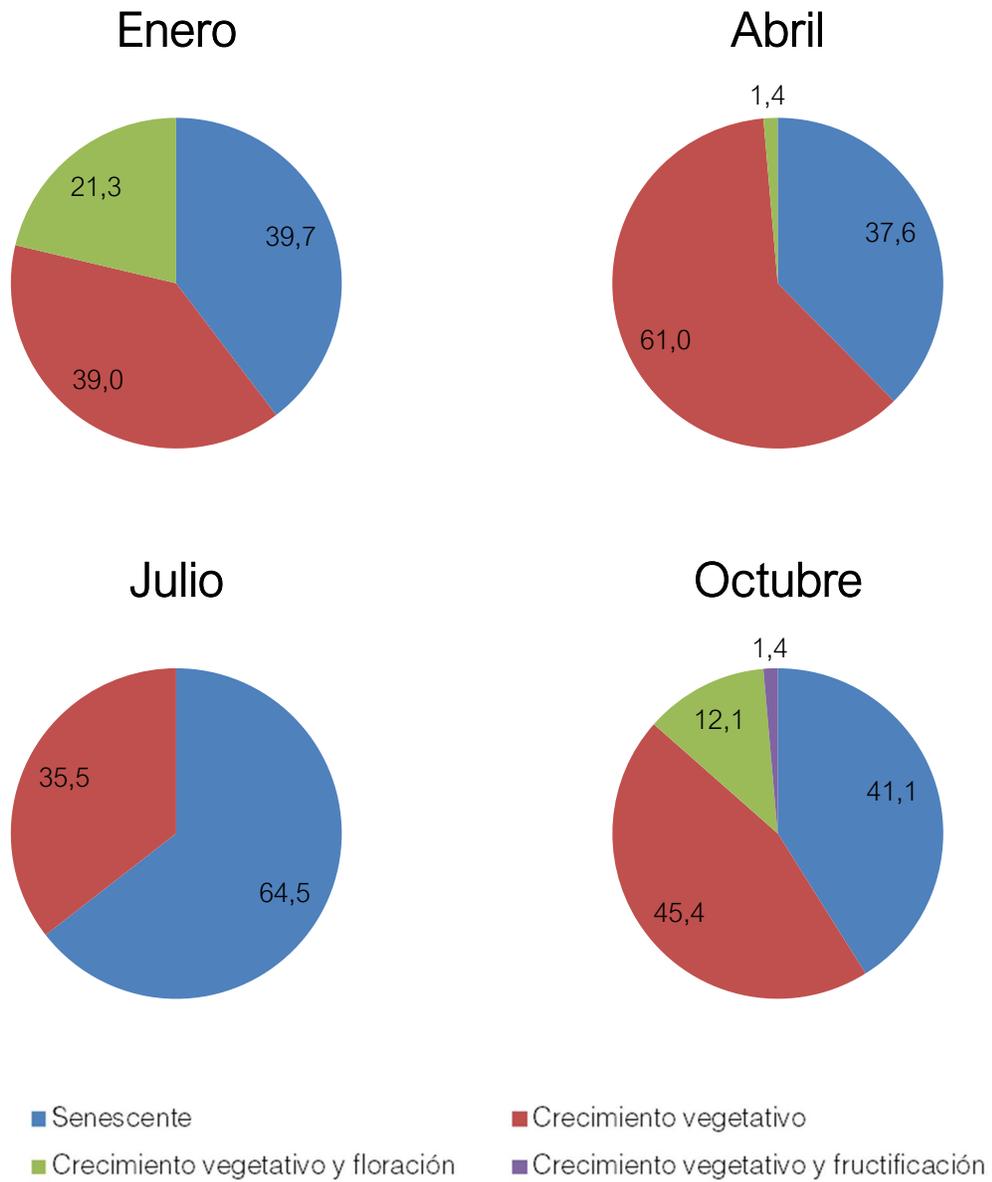
En el monitoreo realizado durante enero de 2016 se observó que un 39,7% de los individuos presentó sólo estado fenológico de crecimiento vegetativo; el 21,3% tuvo floración; ninguna planta presentó fructificación; y un 39,0% estaba en un estado fenológico senescente o recesivo.

Para el mes de abril de 2016 se observó que un 61,0% de los individuos presentó sólo estado fenológico de crecimiento vegetativo; el 1,4% tuvo floración; ninguna planta presentó fructificación. Un 39,0% estaba en un estado fenológico senescente o recesivo.

En el mes de julio de 2016 se aprecia un cambio en las proporciones de individuos por fase fenológica respecto del mes de abril. El 64,5% de los individuos ha iniciado la fase fenológica recesiva invernal o senescente; mientras que el 35,5% de los ejemplares tuvo crecimiento vegetativo. No se han detectado ejemplares produciendo flores o frutos en esta época. El resultado indica que para los monitoreos de enero y abril ocurre la máxima expresión fenológica de los individuos, comenzando antes del monitoreo de julio la etapa senescente o recesiva de las plantas.

Para el mes de octubre de 2016, se inicia el crecimiento vegetativo de los ejemplares, reduciéndose la cantidad de individuos en estado fenológico en receso invernal o senescencia al 41,1%; aumentando a 45,4% la cantidad de individuos con crecimiento vegetativo. También se detecta el inicio de la formación de nuevas estructuras reproductivas, observando su máxima expresión en los monitoreos posteriores, presentándose sólo un 12,1% de los individuos en floración y el 1,4% de los individuos en fructificación.

Figura 5-4. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2016



Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Vigor

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

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

Categoría	Enero	%	Abril	%	Julio	%	Octubre	%
Seca	56	39,6	53	37,6	88	62,4	58	41,1
Muy débil	0	0,0	0	0,0	21	14,9	1	0,7
Débil	6	4,3	29	20,6	25	17,7	46	32,6
Crecimiento normal	73	51,8	59	41,8	7	5,0	29	20,6
Vigoroso	6	4,3	0	0,0	0	0,0	7	5,0
Total	141	100,0	141	100,0	141	100,0	141	100,0

Fuente: Elaboración propia.

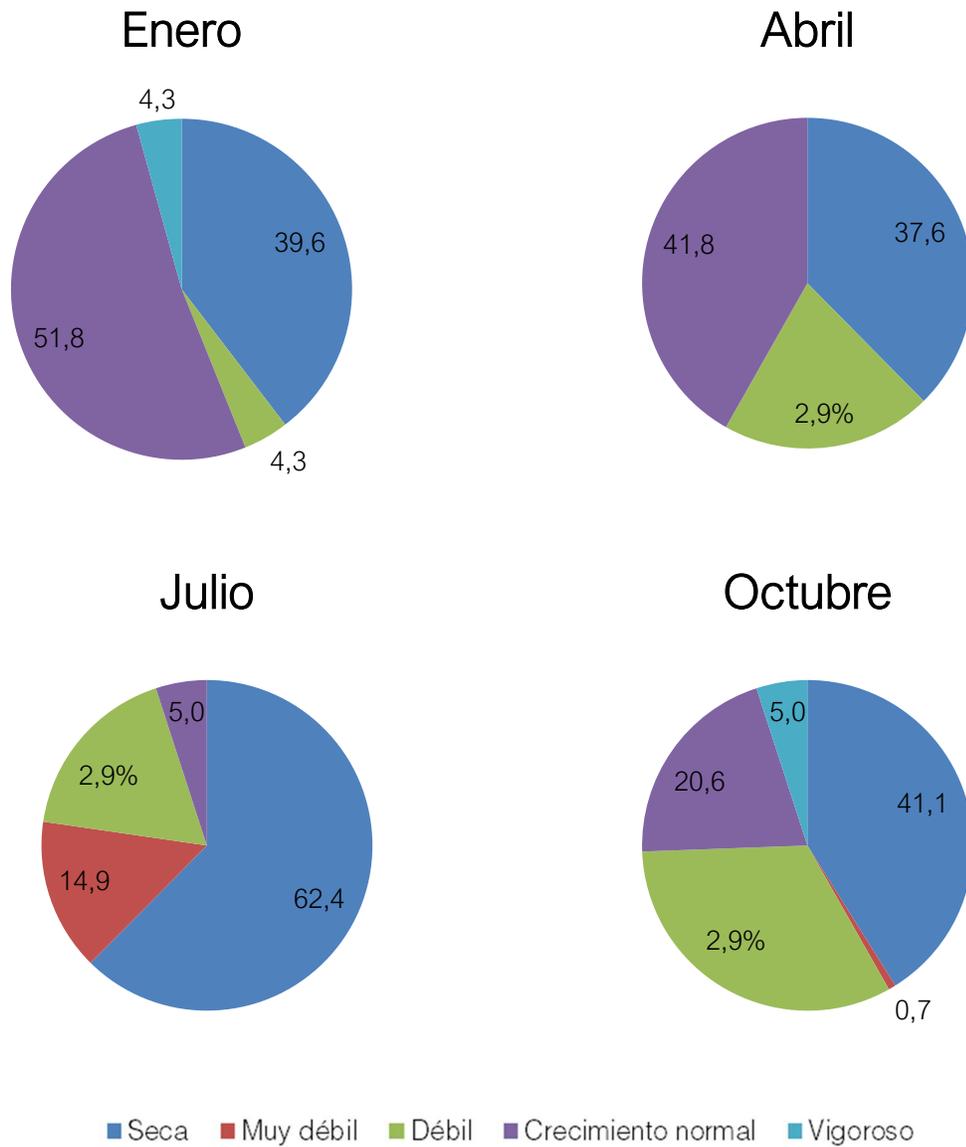
En el mes de enero de 2016 se identificaron dos grandes grupos de vigor, correspondiendo el 51,8% a crecimiento normal y el 39,6% a vegetación seca.

En abril de 2016 se observó que el 41,8% de la vegetación monitoreada presentó crecimiento normal; un 20,6% fue clasificada como débil y el 37,6% fue clasificada en un estado seco.

En julio de 2016, se marca el periodo recesivo de las plantas, apreciándose el incremento del número de especies en las categorías más bajas de vitalidad. El 5,0% de la vegetación presentó crecimiento normal, el 17,7% a vigor débil, el 14,9% a muy débil y los restantes 62,4% a la categoría seca.

Para octubre de 2016 se aprecia la finalización del receso invernal, disminuyendo los ejemplares en la categoría de vigor seca (41,1%) y aumentando los ejemplares distribuidos en las categorías más altas de vitalidad. El 20,6% de los ejemplares presento crecimiento normal y el 5% un estado vigoroso.

Figura 5-5. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2016



Fuente: Elaboración propia

5.2.3 **Porcentaje de follaje verde**

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

Tabla 5-6. Resumen de individuos por categoría de copa verde.

Categoría	Enero	%	Abril	%	Julio	%	Octubre	%
0%	56	39,8	53	37,6	88	62,4	58	41,2
<5%	1	0,7	10	7,1	8	5,7	16	11,3
5-25%	7	5,0	38	27,0	34	24,1	24	17,0
25-50%	36	25,5	26	18,4	5	3,5	34	24,1
50-75%	26	18,4	13	9,2	6	4,3	3	2,1
75-100	15	10,6	1	0,7	0	0,0	6	4,3
Total	141	100,0	141	100,0	141	100,0	141	100,0

Fuente: Elaboración propia.

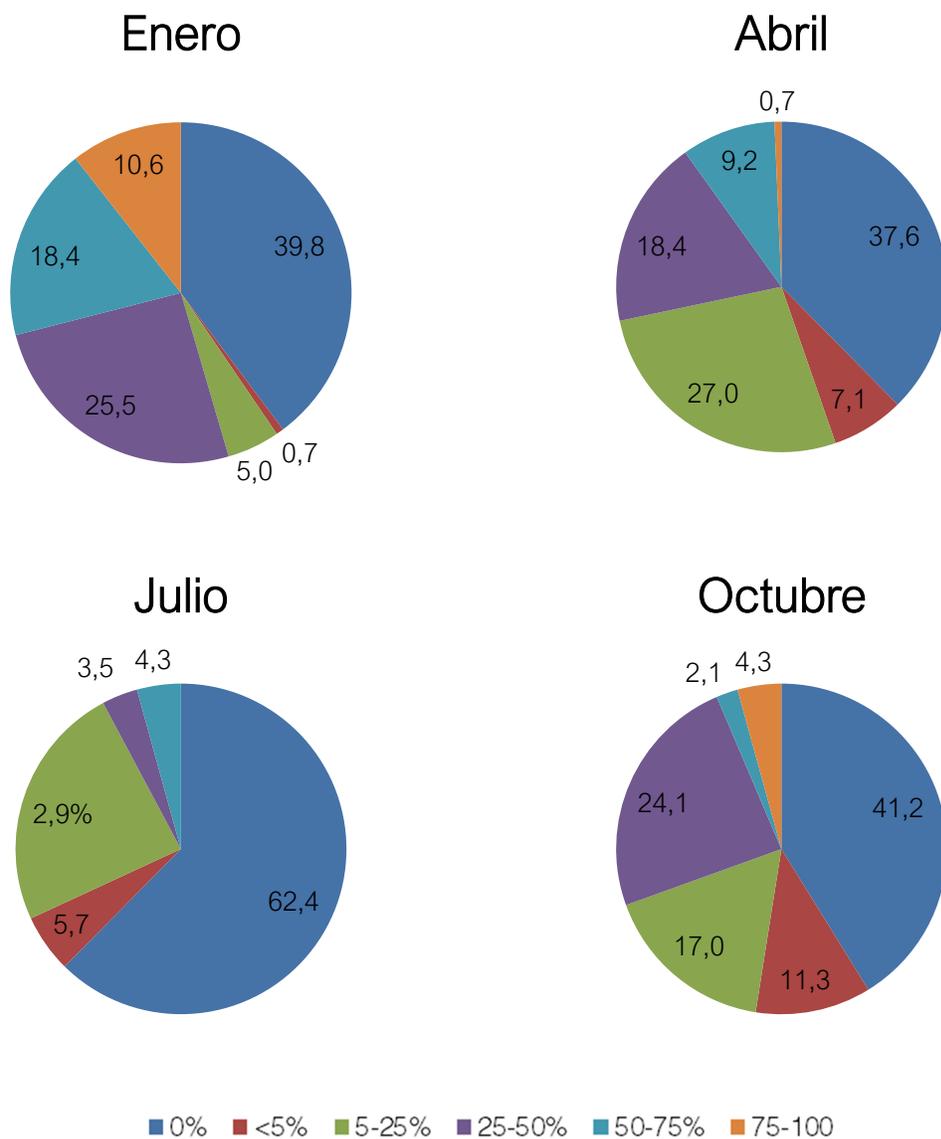
En enero de 2016 el 39,8% de la vegetación no presentó copa verde. De los ejemplares restantes, el 25,5% presentó copa verde entre 25 a 50%; el 18,4% tuvo copa verde de 50 a 75%; el 10,6% varió entre 75 a 100%. Los individuos restantes se distribuyeron entre las categorías <5% y 5 a 10%.

Para abril de 2016 la distribución de individuos fue similar en las categorías, concentrándose el 37,6% en 0% de copa verde, un 27,0% de los individuos en la categoría 5 a 25% y un 18,4% en la categoría 25 a 50%.

Para la campaña de julio de 2016 la mayor concentración de ejemplares, tuvo una copa verde inferior al 25%, distribuyéndose un 62,4% en la categoría 0%, 5,7% en la categoría <5%, un 24,1% en la categoría 5 a 25%.

Para la campaña de octubre de 2016, se inicia el proceso de desarrollo de estructuras vegetativas identificándose la aparición de individuos en las categorías más altas de copa verde. La categoría 0% de copa verde disminuye a un 41,2% de los individuos e incrementan considerablemente los ejemplares en las categorías 25-50%.

Figura 5-6. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2016



Fuente: Elaboración propia



6. DISCUSIONES

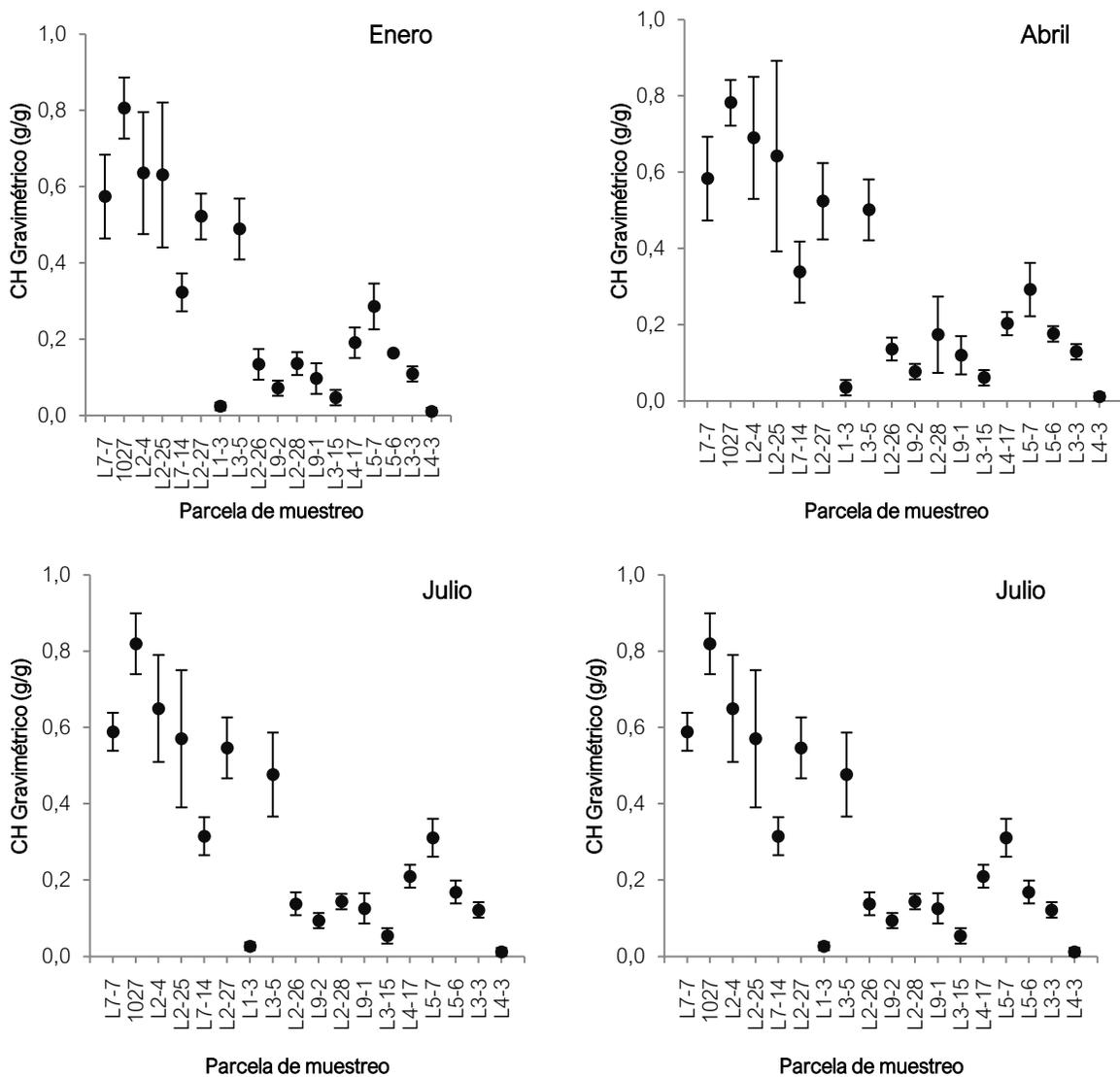
6.1 Variación del contenido de humedad del suelo en el tiempo

En las Tabla 6-1 a Tabla 6-4 se presentan los resultados de los monitoreos de contenido de humedad gravimétrico realizados para cada uno de los años de seguimiento. La campaña de enero de 2007 no es presentada ya que el monitoreo comenzó en abril de ese año (campaña pre-operacional). Se aclara que el monitoreo inició una vez que los pozos fueron habilitados, comenzando en julio de 2007, sin embargo sus operaciones comenzaron en marzo 2008.

Se agrega además que no se puede realizar el análisis de histórico de los datos comparándolos con los obtenidos en el mes de octubre de 2016, dadas las brechas metodológicas y de cadena de custodia existentes entre ambos laboratorios donde se realizan los análisis.

En la Figura 6-1 se muestra el comportamiento interanual de las mediciones de contenido de humedad gravimétrico por parcela de monitoreo.

Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2016



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de enero, durante el periodo 2008 a 2016.

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

¹ Desviación estándar entre paréntesis.

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de abril, durante el periodo 2007 a 2016.

Parcela de monitoreo	Abril										Contenido de humedad promedio (g/g)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
	Pre-Op.		Operacional								
L7-7	0,453	0,644	0,872	0,623	0,533	0,560	0,533	0,548	0,551	0,515	0,583 (± 0,11)
1027	0,753	0,798	0,666	0,849	0,858	0,840	0,831	0,732	0,718	0,778	0,782 (± 0,06)
L2-4	0,838	0,795	0,929	0,845	0,529	0,707	0,618	0,475	0,628	0,534	0,69 (± 0,16)
L2-25	1,079 ²	0,817	1,017	0,600	0,554	0,641	0,463	0,397	0,400	0,455	0,594 (± 0,21)
L7-14	0,217	0,258	0,362	0,381	0,491	0,379	0,327	0,344	0,331	0,289	0,338 (± 0,08)
L2-27	0,496	0,509	0,766	0,552	0,502	0,582	0,458	0,445	0,451	0,479	0,524 (± 0,1)
L1-3	0,04	0,029	0,019	0,086	0,017	0,035	0,028	0,037	0,027	0,028	0,035 (± 0,02)
L3-5	0,524	0,403	0,628	0,540	0,626	0,502	0,443	0,419	0,424	0,500	0,501 (± 0,08)
L2-26	0,183	0,131	0,156	0,171	0,104	0,138	0,128	0,129	0,114	0,106	0,136 (± 0,03)
L9-2	0,097	0,107	0,068	0,058	0,037	0,088	0,066	(*) ³	0,091	0,082	0,077 (± 0,02)
L2-28	0,183	0,157	0,167	0,137	0,104	0,166	0,106	0,117	0,143	0,455	0,174 (± 0,1)
L9-1	0,115	0,056	0,178	0,147	0,051	0,086	0,128	0,210	0,118	0,106	0,12 (± 0,05)
L3-15	0,066	0,052	0,039	0,052	0,067	0,096	0,084	0,051	0,054	0,050	0,061 (± 0,02)
L4-17	0,242	0,211	0,263	0,238	0,163	0,197	0,162	0,190	0,177	0,183	0,203 (± 0,03)
L5-7	0,338	0,259	0,244	0,448	0,238	0,280	0,313	0,238	0,242	0,317	0,292 (± 0,07)
L5-6	0,198	0,180	0,163	0,179	0,187	0,158	0,165	0,162	0,202	0,165	0,176 (± 0,02)
L3-3	0,133	0,132	0,121	0,111	0,106	0,168	0,124	0,135	0,157	0,102	0,129 (± 0,02)
L4-3	0,004	0,004	0,009	0,007	0,010	0,017	0,009	0,007	0,033	0,013	0,011 (± 0,01)

¹ Desviación estándar entre paréntesis.

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

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2016.

Parcela de monitoreo	Julio										Contenido de humedad promedio (g/g) ¹
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
	Pre-Op		Operacional								
L7-7	S/I ²	0,577	0,693	0,601	0,530	0,619	0,608	0,563	0,594	0,519	0,589 (± 0,05)
1027	0,806	0,913	0,857	0,767	0,802	0,799	0,925	0,694	0,909	0,728	0,82 (± 0,08)
L2-4	0,759	0,484	0,868	0,864	0,534	0,673	0,617	0,551	0,638	0,516	0,65 (± 0,14)
L2-25	0,987	0,583	0,642	0,740	0,446	0,545	0,458	0,457	0,455	0,397	0,571 (± 0,18)
L7-14	0,237	0,279	0,332	0,365	0,230	0,383	0,334	0,337	0,337	0,312	0,315 (± 0,05)
L2-27	0,568	0,509	0,546	0,637	0,490	N/M ³	0,697	0,519	0,465	0,493	0,547 (± 0,08)
L1-3	0,024	0,031	0,022	0,024	0,022	0,026	0,038	0,033	0,029	0,022	0,027 (± 0,01)
L3-5	S/I ²	0,410	0,304	0,691	0,419	0,519	0,549	0,390	0,541	0,470	0,477 (± 0,11)
L2-26	S/I ²	0,160	0,156	0,190	0,122	0,136	0,133	0,119	0,119	0,106	0,138 (± 0,03)
L9-2	0,12	0,069	0,129	0,122	0,071	0,111	0,085	0,071	0,087	0,076	0,094 (± 0,02)
L2-28	S/I	0,159	0,168	0,149	0,14	0,164	0,137	0,129	0,128	0,119	0,144 (± 0,02)
L9-1	0,094	0,093	0,228	0,169	0,138	0,112	0,139	0,090	0,103	0,098	0,126 (± 0,04)
L3-15	S/I ²	0,050	0,031	0,044	0,031	0,091	0,077	0,064	0,052	0,050	0,054 (± 0,02)
L4-17	S/I ²	0,208	0,202	0,262	0,25	0,213	0,214	0,183	0,179	0,179	0,21 (± 0,03)
L5-7	0,272	0,263	0,388	0,377	0,282	0,339	0,363	0,222	0,318	0,284	0,311 (± 0,05)
L5-6	0,183	0,175	0,177	0,186	0,185	0,098	0,171	0,178	0,167	0,174	0,169 (± 0,03)
L3-3	0,097	0,109	0,142	0,150	0,102	0,146	0,106	0,109	0,144	0,113	0,122 (± 0,02)
L4-3	0,004	0,015	0,010	0,008	0,005	0,017	0,009	0,005	0,029	0,015	0,012 (± 0,01)

¹ Desviación estándar entre paréntesis.

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

³ Este punto no pudo ser muestreado por encontrarse interrumpido el camino de acceso, producto de las lluvias registradas en ese periodo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2016.

Parcela de monitoreo	Octubre										Contenido de humedad promedio (g/g)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
	Pre-Op		Operacional								
L7-7	0,713	0,609	0,694	0,751	0,664	0,644	0,649	0,632	0,529	0,570	0,646 (± 0,07)
1027	0,776	0,958	0,673	0,763	0,826	0,838	0,817	0,712	0,856	0,915	0,813 (± 0,09)
L2-4	0,731	0,648	0,878	0,547	0,527	0,611	0,534	0,526	0,748	0,624	0,637 (± 0,12)
L2-25	0,974	0,712	0,556	0,41	0,386	0,852	0,478	0,512	0,482	0,491	0,585 (± 0,2)
L7-14	0,275	0,272	0,358	0,344	0,337	0,348	0,344	0,321	0,332	0,326	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	0,537 (± 0,04)
L1-3	0,012	0,024	0,03	0,02	0,018	0,031	0,042	0,039	0,025	0,027	0,027 (± 0,01)
L3-5	0,525	0,348	0,681	0,481	0,498	0,527	0,49	0,465	0,471	0,435	0,492 (± 0,08)
L2-26	0,142	0,134	0,153	0,169	0,146	0,123	0,115	0,124	0,134	0,111	0,135 (± 0,02)
L9-2	0,141	0,126	0,102	0,06	0,053	0,101	0,078	0,075	0,086	0,075	0,09 (± 0,03)
L2-28	0,131	0,165	0,178	0,124	0,134	0,151	0,138	0,138	0,140	0,114	0,141 (± 0,02)
L9-1	0,075	0,093	0,224	0,102	0,124	0,113	0,136	0,040	0,098	0,101	0,111 (± 0,05)
L3-15	0,078	0,031	0,043	0,040	0,035	0,059	0,06	0,076	0,048	0,049	0,052 (± 0,02)
L4-17	0,208	0,225	0,241	0,203	0,222	0,212	0,186	0,170	0,186	0,178	0,203 (± 0,02)
L5-7	0,349	0,239	0,416	0,260	0,251	0,290	0,252	0,286	0,258	0,254	0,286 (± 0,06)
L5-6	0,215	0,195	0,159	0,088	0,183	0,175	0,161	0,163	0,171	0,164	0,167 (± 0,03)
L3-3	0,166	0,134	0,138	0,136	0,098	0,132	0,128	0,129	0,151	0,114	0,133 (± 0,02)
L4-3	0,005	0,003	0,006	0,007	0,003	0,011	0,008	0,005	0,022	0,011	0,008 (± 0,01)

¹ Desviación estándar entre paréntesis.
Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que las parcelas ubicadas al oeste (es decir, cercanas al eje de las coordenadas observadas en la Figura 6-1) son las que han tenido mayor variación en su contenido de humedad registrado durante los meses en estudio. La amplitud de la desviación estándar permite identificar que las parcelas L7-7, L2-4, L2-25, L3-5, L2-27 y L2-28 son las que ha variado en mayor grado sus valores de contenido de humedad, presentando en algún mes una desviación estándar superior a 0,1 g/g.

Al respecto, en la Figura 6-2, se presenta la tendencia de los puntos, sobre la base del promedio anual y presentando la variabilidad de los datos que conforman el promedio, expresado a través de la desviación estándar. A continuación, se analizarán los casos cuya amplitud de desviación estándar destacó en la Figura 6-1.

- Parcela 7-7: se identifica que los valores de contenido de humedad han tendido a disminuir en el tiempo. Al comparar el contenido de humedad pre-operacional, cuyo promedio fue 0,58 g/g ($\pm 0,18$) en 2007 y 0,66 g/g ($\pm 0,10$), con el contenido de humedad observado en el presente monitoreo 0,53 ($\pm 0,03$) se verifica que existe una diferencia de 0,05 a 0,13 g/g entre los promedios.
- Parcela L2-4: se identifica que los valores de contenido de humedad han sido oscilantes en el tiempo, mostrando tendencia a la disminución. En esta parcela se identifica una diferencia significativa respecto del monitoreo inicial (2007), pero no así del segundo monitoreo en periodo pre-operacional (2008). En los años 2007 y 2008 los promedios correspondieron a 0,78 ($\pm 0,06$) y 0,64 ($\pm 0,13$) g/g respectivamente, mientras que para el año 2016 su promedio fue de 0,56 ($\pm 0,05$).
- Parcela L2-25: el gráfico demuestra que los valores de contenido de humedad han sido oscilantes en el tiempo con una tendencia a la disminución. En esta parcela se identifica una diferencia significativa respecto de los monitoreos pre-operacionales, donde el contenido de humedad del año 2007 fue de 0,78 g/g ($\pm 0,06$) y 2008 correspondió a 0,76 g/g ($\pm 0,15$). Por último, el valor registrado para el año 2016 fue de 0,45 ($\pm 0,04$).
- Parcela L3-5: se identifica que los valores de contenido de humedad históricos tienen una leve tendencia a la reducción del contenido de humedad. En esta parcela el contenido de humedad del periodo pre-operacional fue mayor en el año 2007 (0,52 g/g $\pm 0,0$) comparado con el observado actual, pero en el año 2008 disminuyó siendo alcanzando un valor menor al actualmente observado (0,39 g/g $\pm 0,03$). El contenido de humedad para el año 2016, su promedio fue de 0,47 ($\pm 0,3$).
- Parcela L2-27: esta parcela muestra una tendencia a la reducción de su contenido de humedad, apreciándose un leve aumento en el contenido de humedad gravimétrico en el último año de monitoreo. En esta parcela el valor promedio registrado en el monitoreo inicial (2007 y 2008) fue de 0,53 g/g ($\pm 0,04$) y 0,50 g/g ($\pm 0,02$); mientras que, para el año 2016 su promedio fue de 0,51 ($\pm 0,03$).
- Parcela L2-28: esta parcela muestra una tendencia estable en su contenido de humedad, apreciándose un aumento en el contenido de humedad gravimétrico en el último año de monitoreo. En esta parcela el valor promedio registrado en el monitoreo inicial (2007) fue de 0,16 g/g ($\pm 0,04$) y para el año 2016 su promedio fue de 0,20 ($\pm 0,17$).

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 2016

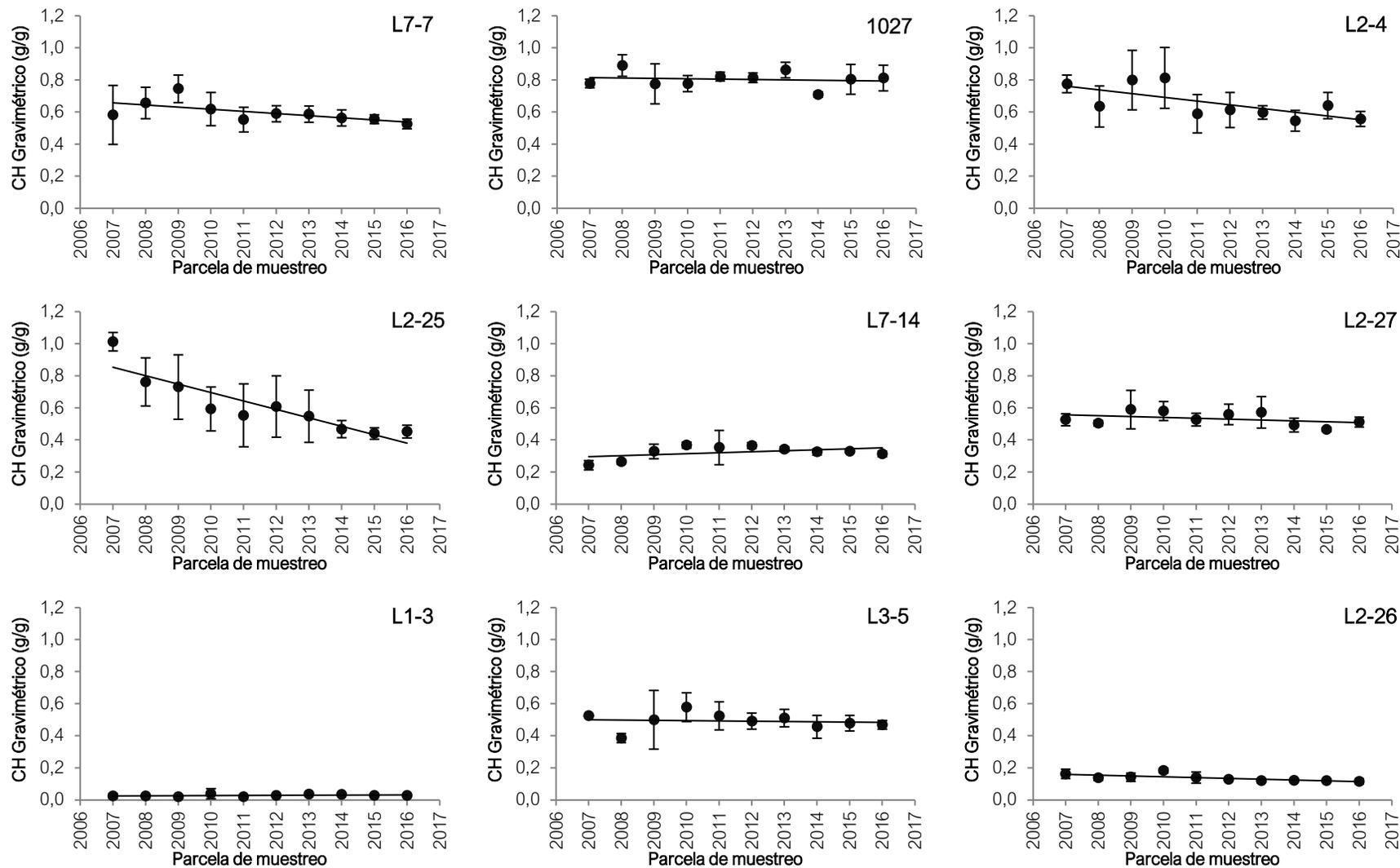
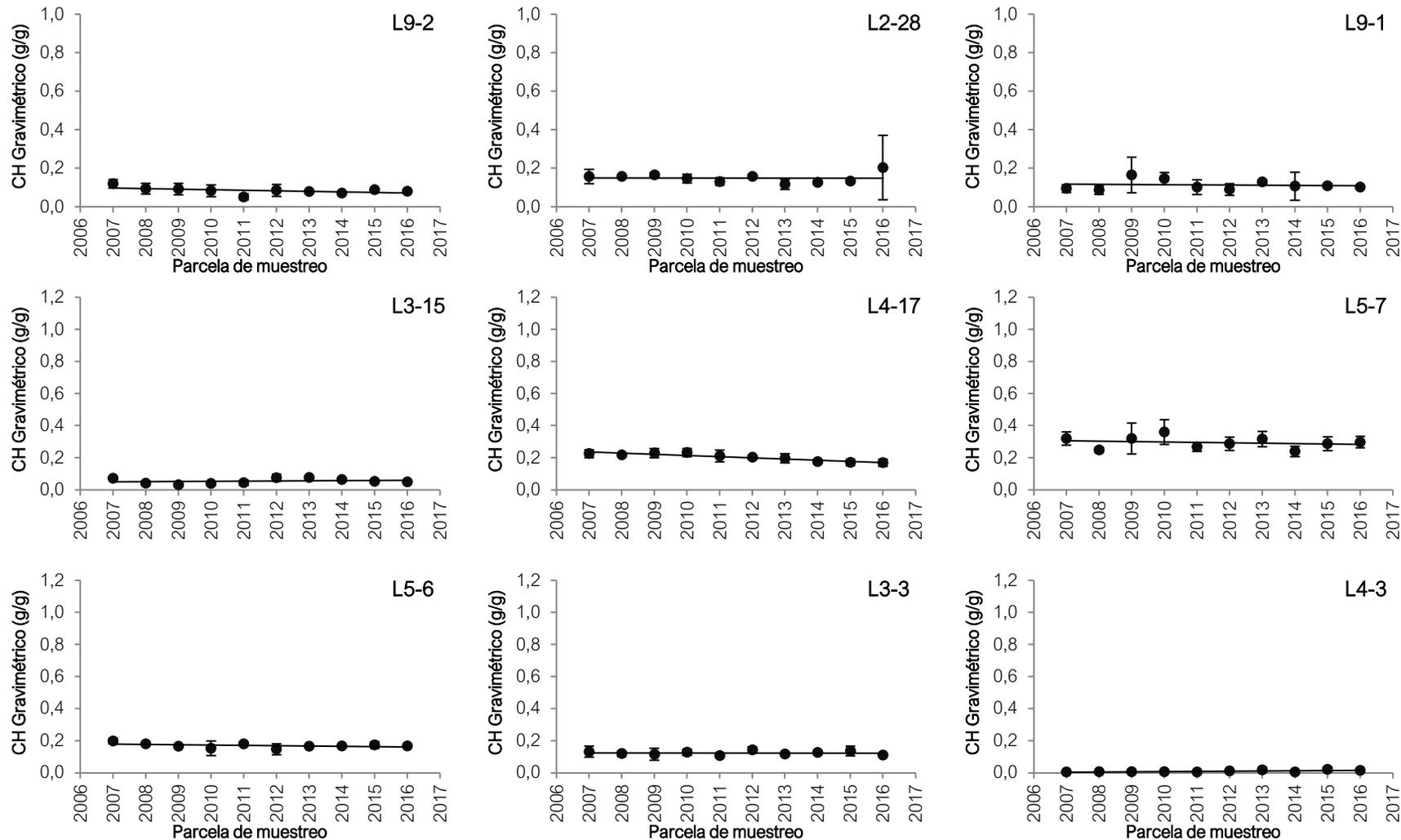


Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2016



Fuente: Elaboración propia.



6.1.1 **Precipitaciones en la zona**

Dado que las humedades del terreno podrían provenir desde diversas fuentes (napa freática, precipitaciones, efectos antrópicos), a continuación se presentan las precipitaciones registradas en todo el período de monitoreo en las estaciones Chaxa y Salar (Anexo II).

Como se observa en las tablas del Anexo II, las mayores concentraciones de lluvias se sitúan entre los meses de enero y marzo, y luego se observan lluvias esporádicas los meses de abril y mayo. Esto debido al fenómeno ENSO (“El Niño Southern Oscillation” por sus siglas en inglés), el cual genera lluvias en el altiplano durante los meses de verano. Por otro lado, no se registran lluvias sobre 1 mm entre junio y enero.

Al comparar estas tendencias con las humedades registradas en terreno se observa que de las 18 parcelas medidas, 7 de ellas registran su máximo contenido de humedad promedio en la medición de enero, y otras 4 presentan su máximo valor en la medición de abril, lo cual concuerda con los períodos de lluvia.

En este sentido, se puede interpretar que las variaciones en el contenido de humedad de las parcelas de monitoreo L2-27, L1-3, L3-5, L2-26, L9-2, L2-28, L9-1, L3-15, L4-17, L5-7 y L4-3, pueden estar siendo dominadas por efectos de las precipitaciones, correspondiéndose además con que varias de estas parcelas existe una profundidad de la napa freática tal que no causa un efecto considerable sobre la humedad (Figura 5-2).

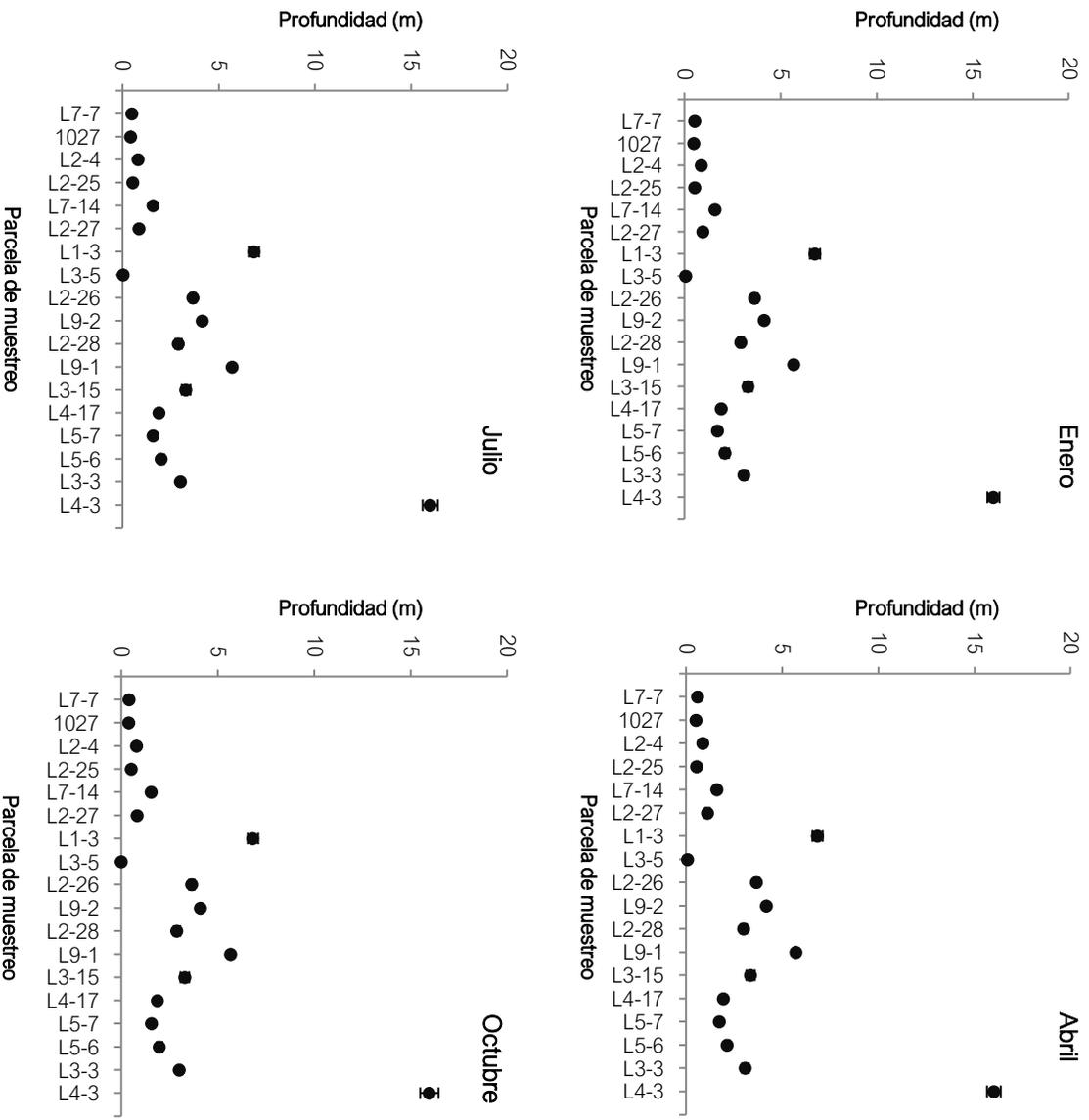
Por otra parte, los pozos L7-7, 1027, L2-4, L2-25, L7-14, L5-6 y L3-3 presentan su mayor contenido de humedad en los meses de julio u octubre, considerándose que no tienen un efecto directo de las precipitaciones en su contenido de humedad, dependiendo principalmente del nivel freático.

6.2 Variación de la profundidad de la napa en el tiempo

Los resultados históricos de profundidad de la napa se presentan en la Tabla 6-5 a Tabla 6-8, y son representados gráficamente en la Figura 6-3. La campaña de enero de 2007 no es presentada ya que el monitoreo comenzó en abril de ese año. Se aclara que el monitoreo de pozos para el presente informe se 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.

Figura 6-3. Variación de la profundidad de la napa, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2016.



Fuente: Elaboración propia



Tabla 6-5. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de enero, durante el periodo 2008 a 2016.

Parcela de monitoreo	Enero									Profundidad promedio (m)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
L7-7	0,52	0,46	0,54	0,49	0,49	0,59	0,58	0,55	0,62	0,54 (± 0,05)
1027	0,48	0,45	0,50	0,46	0,49	0,52	0,52	0,53	0,54	0,5 (± 0,03)
L2-4	0,86	0,83	0,88	0,87	0,89	0,89	0,88	0,92	0,91	0,88 (± 0,03)
L2-25	0,58	0,55	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,55 (± 0,01)
L7-14	1,56	1,54	1,58	1,57	1,59	1,62	1,62	1,66	1,65	1,6 (± 0,04)
L2-27	0,97	0,89	0,98	0,95	0,97	0,96	1,00	1,05	0,97	0,97 (± 0,04)
L1-3 ²	6,53	6,54	6,55	6,60	6,65	7,00	7,03	7,11	7,17	6,8 (± 0,27)
L3-5	0,06	0,06	0,10	0,07	0,08	0,13	0,02	0,06	0,07	0,07 (± 0,03)
L2-26	3,52	3,50	3,55	3,58	3,63	3,69	3,75	3,84	3,86	3,66 (± 0,14)
L9-2	4,10	4,10	4,15	4,12	4,17	4,17	4,17	4,24	4,13	4,15 (± 0,04)
L2-28	2,77	2,73	2,84	2,86	2,94	2,98	3,05	3,14	3,18	2,94 (± 0,16)
L9-1	5,64	5,65	5,69	5,66	5,72	5,72	5,72	5,78	5,68	5,69 (± 0,04)
L3-15	3,02	3,04	3,15	3,24	3,33	3,42	3,49	3,58	3,61	3,32 (± 0,22)
L4-17	1,80	1,82	1,89	1,89	1,94	1,95	1,99	2,02	2,01	1,92 (± 0,08)
L5-7	1,65	1,61	1,74	1,72	1,75	1,76	1,79	1,80	1,74	1,73 (± 0,06)
L5-6	1,68	1,97	2,12	2,14	2,18	2,21	2,25	2,29	2,27	2,12 (± 0,19)
L3-3	2,94	2,95	3,01	3,03	3,07	3,15	3,18	3,28	3,36	3,11 (± 0,15)
L4-3	16,02	16,01	16,14	16,25	16,26	16,39	16,39	15,86	15,42	16,08 (± 0,31)

¹ Desviación estándar entre paréntesis ().

² En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-6. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de abril, durante el periodo 2008 a 2016.

Parcela de monitoreo	Abril									Profundidad promedio (m)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
L7-7	0,66	0,63	0,62	0,60	0,52	0,57	0,69	0,45	0,71	0,61 (± 0,08)
1027	0,53	0,51	0,51	0,50	0,49	0,52	0,60	0,47	0,62	0,53 (± 0,05)
L2-4	0,86	0,86	0,86	0,88	0,83	0,87	0,90	0,86	0,96	0,88 (± 0,04)
L2-25	0,58	0,62	0,56	0,55	0,52	0,54	0,55	0,53	0,54	0,56 (± 0,03)
L7-14	1,60	1,60	1,61	1,60	1,61	1,59	1,64	1,55	1,69	1,61 (± 0,04)
L2-27	1,19	1,18	1,23	1,15	0,96	1,04	1,18	0,92	1,27	1,12 (± 0,12)
L1-3 ²	6,55	6,55	6,58	6,61	6,95	6,98	7,07	7,13	7,19	6,84 (± 0,27)
L3-5	0,09	0,09	0,11	0,09	0,05	0,11	0,09	0,04	0,11	0,09 (± 0,03)
L2-26	3,56	3,55	3,56	3,60	3,59	3,70	3,78	3,81	3,91	3,67 (± 0,13)
L9-2	4,18	4,19	4,20	4,20	4,10	4,19	4,23	4,18	4,21	4,18 (± 0,04)
L2-28	2,87	2,89	2,91	2,94	2,91	3,01	3,10	3,12	3,28	3 (± 0,14)
L9-1	5,72	5,70	5,73	5,72	5,68	5,73	5,77	5,73	5,74	5,72 (± 0,02)
L3-15	3,05	3,11	3,19	3,26	3,33	3,43	3,53	3,58	3,67	3,35 (± 0,22)
L4-17	1,85	1,87	1,93	1,94	1,94	1,97	2,03	1,93	2,04	1,94 (± 0,06)
L5-7	1,71	1,76	1,72	1,76	1,75	1,75	1,78	1,60	1,82	1,74 (± 0,06)
L5-6	1,99	2,07	2,10	2,14	2,17	2,19	2,25	2,13	2,30	2,15 (± 0,09)
L3-3	2,94	2,97	3,02	3,04	3,00	3,17	3,25	2,88	3,41	3,08 (± 0,17)
L4-3	15,98	16,06	16,15	16,22	16,30	16,35	16,22	15,71	15,23	16,02 (± 0,36)

¹Desviación estándar entre paréntesis ().

² En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-7. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de julio, durante el periodo 2007 a 2016.

Parcela de monitoreo	Julio										Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
L7-7	0,55	0,48	0,48	0,49	0,48	0,45	0,44	0,52	0,43	0,55	0,49 (± 0,04)
1027	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,46	0,43	0,49	0,43 (± 0,02)
L2-4	0,80	0,78	0,80	0,82	0,82	0,81	0,81	0,83	0,83	0,85	0,82 (± 0,02)
L2-25	0,56	0,55	0,54	0,54	0,55	0,53	0,53	0,54	0,52	0,54	0,54 (± 0,01)
L7-14	1,57	1,56	1,56	1,57	1,58	1,59	1,59	1,62	1,60	1,65	1,59 (± 0,03)
L2-27	0,86	0,86	0,85	0,87	0,87	0,86	0,84	0,88	0,86	0,91	0,86 (± 0,02)
L1-3 ²	6,53	6,55	6,55	6,59	6,65	6,98	6,99	7,09	7,14	7,21	6,83 (± 0,28)
L3-5	0,01	0,06	0,05	0,06	0,06	0,10	-0,01	0,00	-0,02	0,00	0,03 (± 0,04)
L2-26	3,52	3,52	3,51	3,56	3,64	3,66	3,69	3,80	3,84	3,91	3,66 (± 0,14)
L9-2	4,12	4,14	4,15	4,17	4,18	4,11	4,15	4,21	4,11	4,21	4,15 (± 0,04)
L2-28	2,73	2,74	2,76	2,81	2,87	2,90	2,96	3,03	3,09	3,18	2,91 (± 0,16)
L9-1	5,65	5,68	5,69	5,71	5,71	5,69	5,70	5,75	5,67	5,75	5,7 (± 0,03)
L3-15	2,98	3,01	3,07	3,18	3,27	3,34	3,40	3,50	3,57	3,64	3,3 (± 0,23)
L4-17	1,77	1,82	1,84	1,90	1,92	1,92	1,93	1,98	1,95	2,00	1,9 (± 0,07)
L5-7	1,52	1,54	1,56	1,58	1,61	1,62	1,61	1,63	1,62	1,68	1,6 (± 0,05)
L5-6	1,74	1,85	1,90	1,98	2,02	2,05	2,07	2,13	2,14	2,20	2,01 (± 0,14)
L3-3	2,91	2,91	2,92	2,95	3,00	3,00	3,07	3,06	3,13	3,19	3,01 (± 0,1)
L4-3	16,09	15,99	16,05	16,16	16,26	16,31	16,42	16,07	15,63	15,03	16 (± 0,4)

¹Desviación estándar entre paréntesis ().

² En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-8. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de octubre, durante el periodo 2007 a 2016.

Parcela de monitoreo	Octubre										Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
L7-7	0,41	0,41	0,41	0,40	0,42	0,41	0,44	0,42	0,44	0,45	0,42 (± 0,02)
1027	0,39	0,37	0,40	0,39	0,39	0,41	0,43	0,43	0,43	0,45	0,41 (± 0,02)
L2-4	0,79	0,78	0,80	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,83	0,85	0,81 (± 0,02)
L2-25	0,56	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,53	0,52	0,53	0,53	0,53 (± 0,01)
L7-14	1,54	1,53	1,53	1,53	1,55	1,56	1,58	1,58	1,60	1,62	1,56 (± 0,03)
L2-27	0,85	0,84	0,83	0,83	0,85	0,84	0,85	0,84	0,84	0,85	0,84 (± 0,01)
L1-3 ²	6,53	6,54	6,54	6,59	6,63	6,98	7,02	7,09	7,15	7,22	6,83 (± 0,28)
L3-5	0,00	0,05	0,05	0,04	0,04	0,07	-0,01	-0,01	-0,04	-0,04	0,01 (± 0,04)
L2-26	3,52	3,51	3,52	3,55	3,60	3,65	3,71	3,78	3,84	3,90	3,66 (± 0,14)
L9-2	4,09	4,11	4,12	4,13	4,13	4,11	4,13	4,17	4,08	4,17	4,12 (± 0,03)
L2-28	2,72	2,71	2,73	2,78	2,84	2,90	2,94	3,01	3,08	3,15	2,89 (± 0,16)
L9-1	5,62	5,66	5,67	5,68	5,68	5,69	5,68	5,73	5,64	5,72	5,68 (± 0,03)
L3-15	2,98	3,02	3,09	3,19	3,27	3,36	3,43	3,51	3,58	3,62	3,3 (± 0,23)
L4-17	1,76	1,80	1,83	1,87	1,88	1,90	1,93	1,95	1,99	1,97	1,89 (± 0,08)
L5-7	1,48	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59	1,61	1,61	1,62	1,65	1,58 (± 0,05)
L5-6	1,70	1,83	1,88	1,95	1,99	2,04	2,07	2,13	2,14	2,19	1,99 (± 0,15)
L3-3	2,90	2,91	2,91	2,95	2,97	3,01	3,08	3,08	3,13	3,19	3,01 (± 0,1)
L4-3	15,99	16,01	16,11	16,20	16,24	16,34	16,40	16,01	15,52	14,83	15,97 (± 0,47)

¹Desviación estándar entre paréntesis.(.)

² En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido.

Fuente: Elaboración propia

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

Se aprecia en el pozo L1-3 que la profundidad de la napa ha aumentado desde el inicio de los monitoreos. La pendiente de la función lineal, indica que el descenso registrado corresponde a 0,09 m al año. Para el primer monitoreo (año 2007) la profundidad freática registrada correspondió a 6,53 m (± 0), actualmente el nivel es 7,20 ($\pm 0,20$), verificándose una diferencia de 0,67 entre los promedios de profundidad.

En el pozo L3-15 se repite lo observado en el pozo anterior, identificando un aumento sostenido en la profundidad del nivel freático aproximado de 0,08 m al año. Actualmente se identifica en el pozo un aumento de 0,65 m, ya que durante el año 2007 registró una profundidad de 2,98 m ($\pm 0,0$) y actualmente el nivel se encuentra en 3,63 m ($\pm 0,03$).

El tercer pozo con mayor variación de sus niveles corresponde a L4-3. En este pozo la variabilidad de sus niveles está determinada por el registro de descensos e incrementos freáticos. Entre los años 2006 (16,04 m $\pm 0,07$) y 2013 (16,39 m $\pm 0,03$) se registró el descenso del nivel. Sin embargo, desde el año 2013 a la fecha, el nivel ha aumentado hasta llegar a una profundidad de 15,13 m ($\pm 0,25$).

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

Figura 6-4. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2016

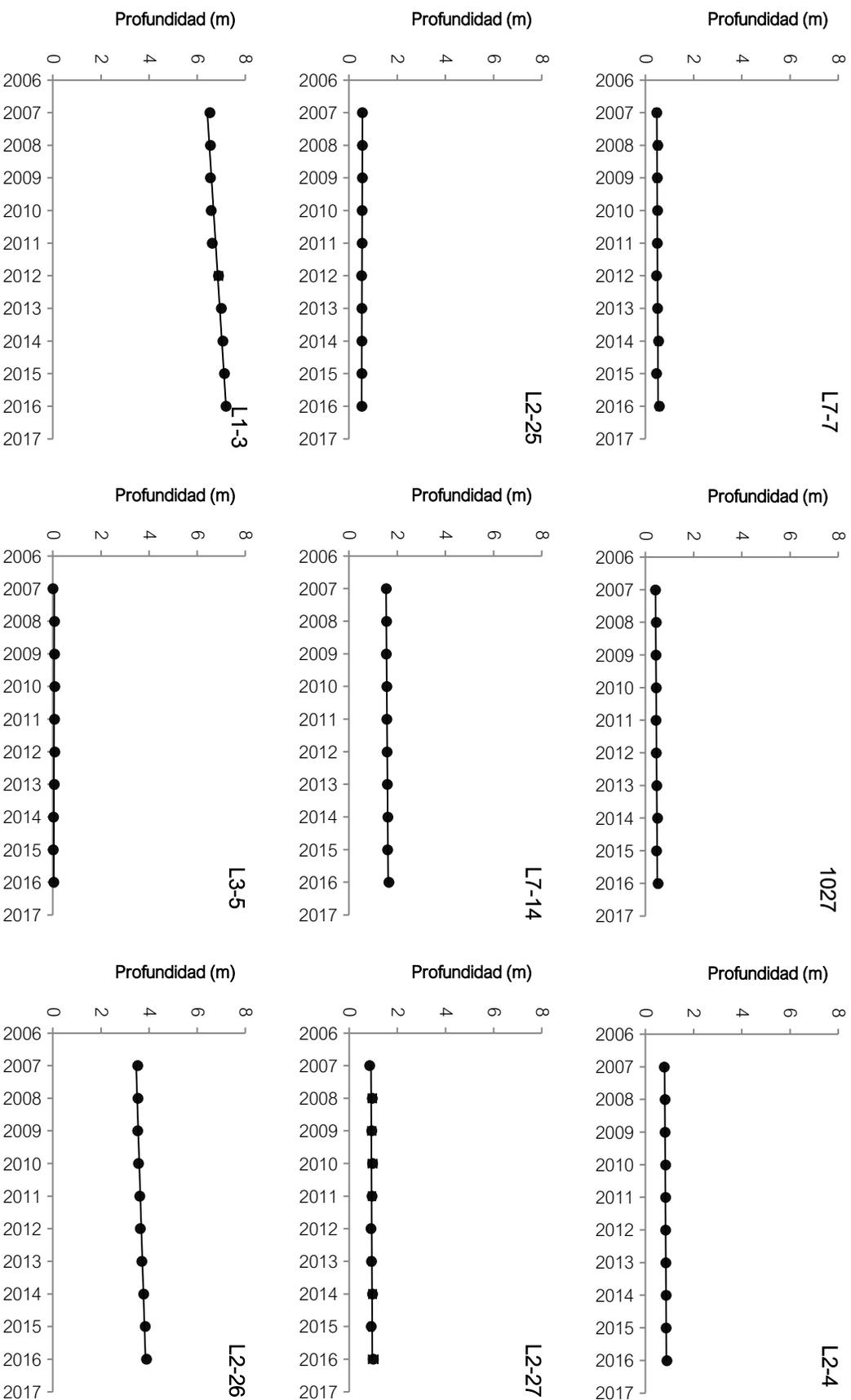
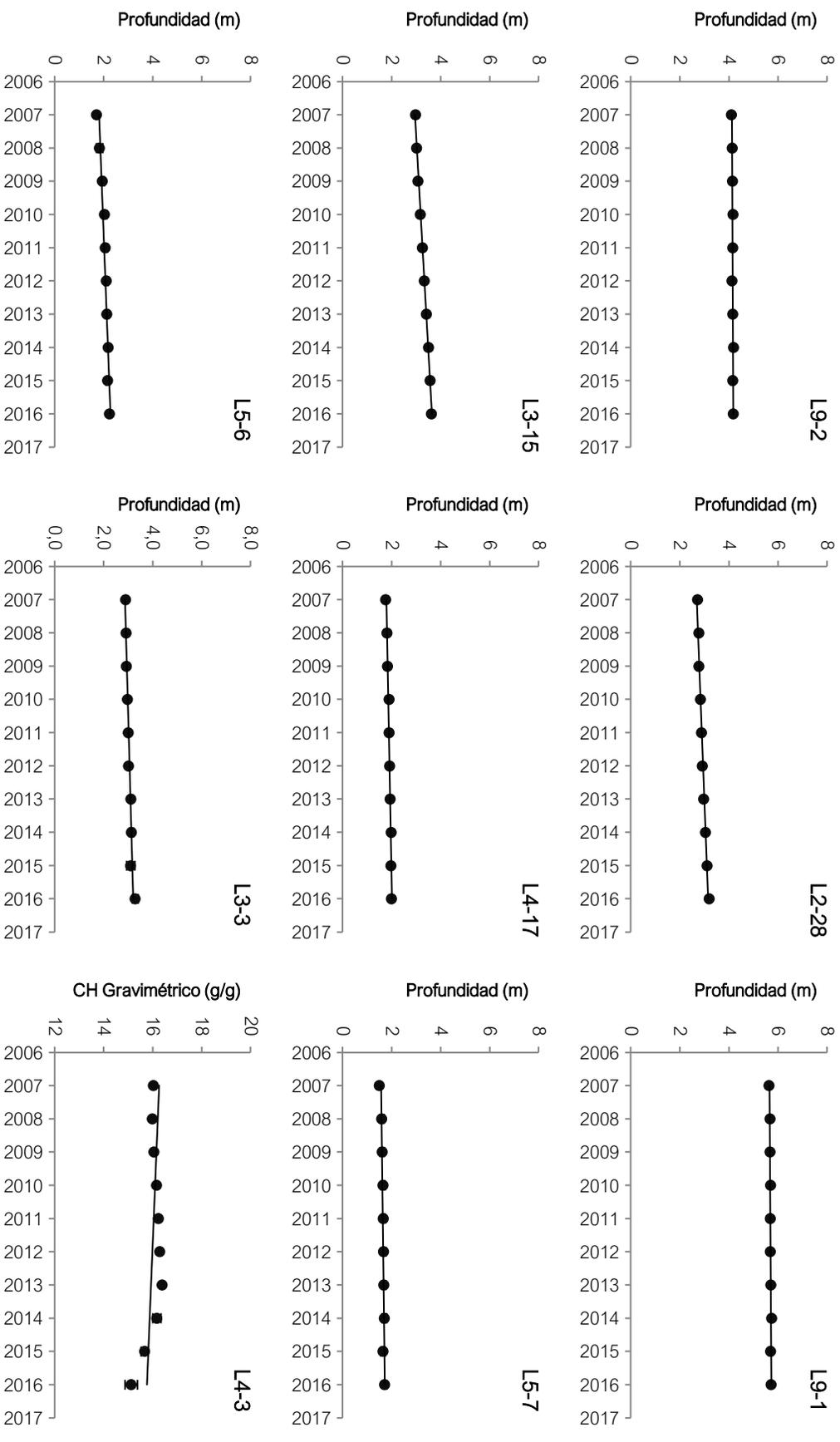


Figura 6-4. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2016



Fuente: Elaboración propia.



6.3 Variación interanual de la vitalidad de la vegetación

6.3.1 *Atriplex atacamensis*

La Figura 6-5 (A) representa el comportamiento del follaje verde en *Atriplex atacamensis*. De la figura se destaca lo siguiente:

- Se aprecia que el número de ejemplares con cobertura de copa 0% ha variado entre un mínimo de 0 (años 2007 y 2008) a un máximo de 4 individuos (año 2010), a lo largo del monitoreo.
- El número de ejemplares en la categoría de copa verde 0% ha sido variable durante el monitoreo, descartándose alguna tendencia. En el año 2016, se registra que el valor varió entre 2 a 3.
- El mayor número de ejemplares con copa verde entre 75 a 100% se identifica en el mes de abril, los que tienden a reducirse en los meses posteriores (julio y octubre), correspondiendo al mes de enero al final del periodo recesivo o el inicio del periodo de crecimiento.

La Figura 6-5 (B) muestra el vigor de la especie registrado para todos los monitoreos. Al respecto se puede mencionar:

- Se identifica una tendencia general de los ejemplares a presentar estado de vigor crecimiento normal. A contar del monitoreo del mes de enero de 2012 comienzan a identificarse ejemplares en categoría vigoroso cuyo número máximo se ha identificado en enero de 2014 y octubre 2016.

La Figura 6-5 (C) presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares de *Atriplex atacamensis* monitoreados. De la figura se extrae:

- El mes de enero se identifica el periodo de mayor floración de las plantas, correspondiendo al monitoreo de abril el periodo de fructificación, el que se extiende hasta el mes de julio. En el mes de octubre se identifica el periodo recesivo de los ejemplares.

Figura 6-5. *Atriplex atacamensis*: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2016.



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



6.3.2 *Distichlis spicata*

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

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

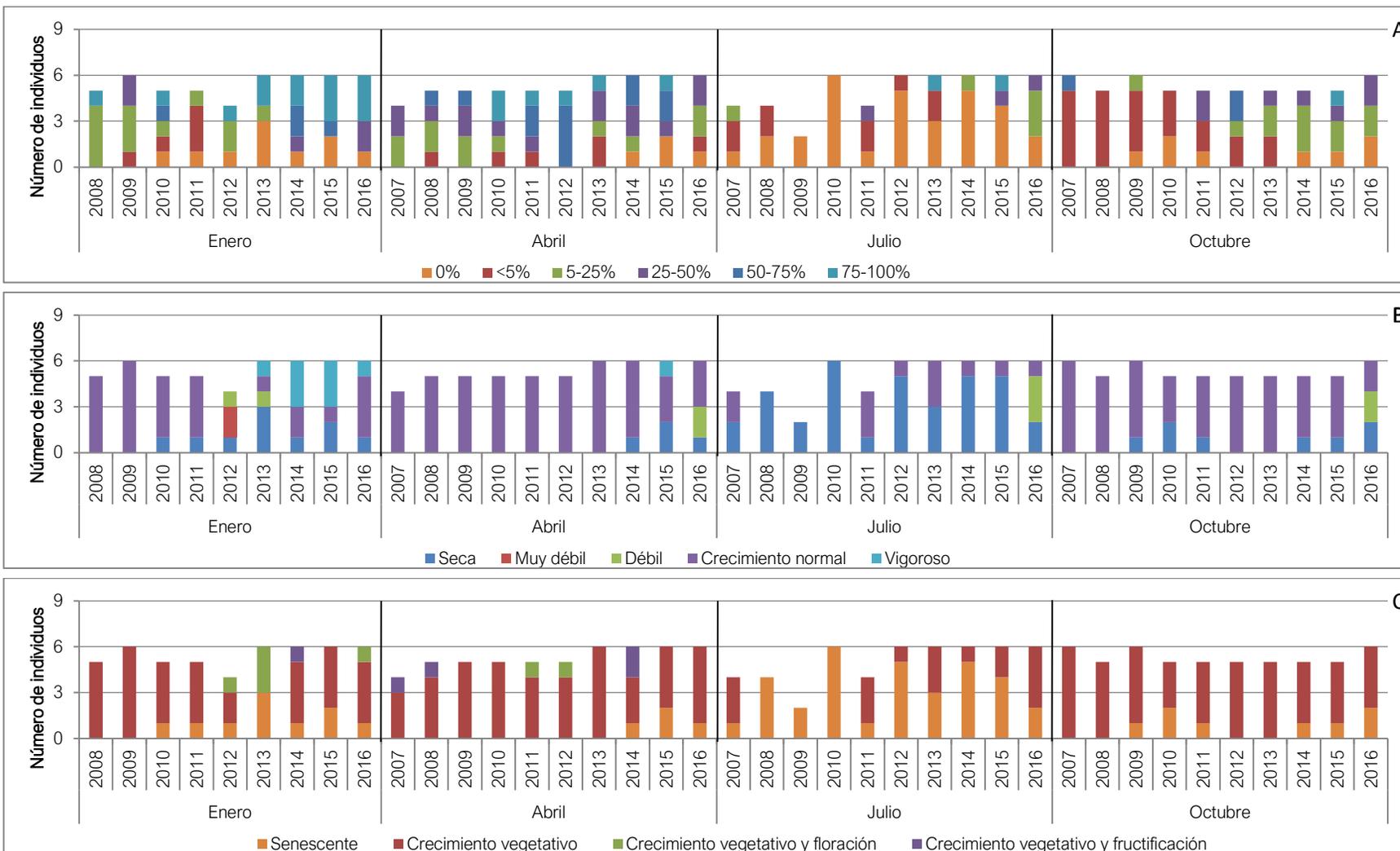
Respecto al vigor se observa en la Figura 6-6 (B) lo siguiente:

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

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

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

Figura 6-6. *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 2016.



Fuente: Elaboración propia



6.3.3 *Nitrophilla atacamensis*

La medición del estado vital de *Nitrophilla atacamensis* presenta variación en el número total de individuos dado que los ejemplares no se encuentran marcados (especie con hábito rastrero) y tienden a eliminar la biomasa aérea rebrotando en otro lugar a la temporada siguiente. Los resultados del monitoreo de follaje verde se presentan en la Figura 6-7 (A) y se comentan a continuación:

- Como patrón general se identifica el periodo recesivo invernal (julio), donde los ejemplares tienden a desecar toda su biomasa aérea. El proceso de rebrote es menor, relacionado a su vez con el menor tamaño de las plantas, apreciando en el mes de octubre ejemplares con el 100% de su copa verde, alcanzando la máxima expresión en el mes de enero y manteniéndose hasta el monitoreo de enero, disminuyendo a la categoría 50-75% en el mes de abril.
- El número de ejemplares en la categoría de copa verde 0% ha sido variable durante el monitoreo, descartándose alguna tendencia.

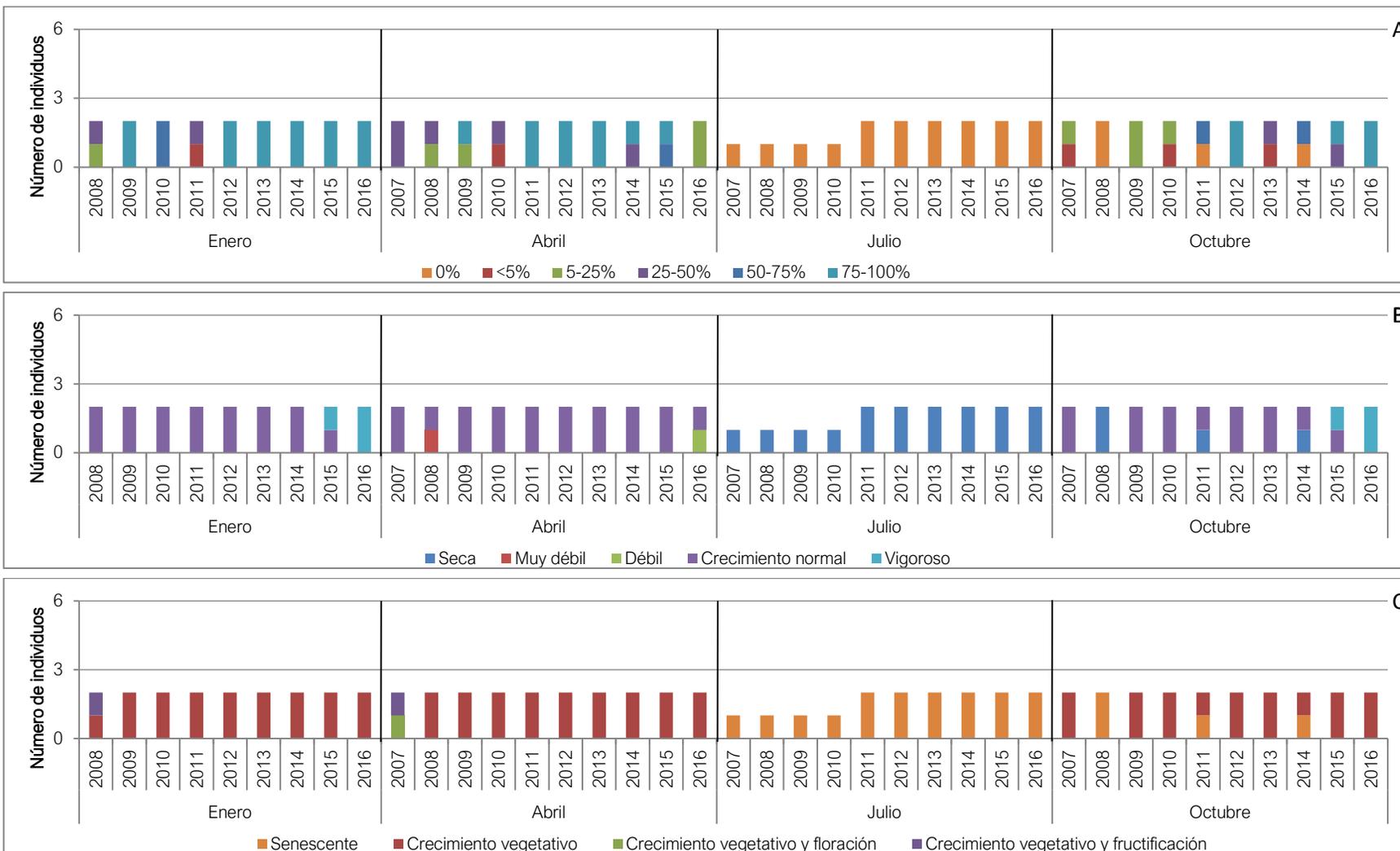
De los resultados del vigor de la especie que se muestran en la Figura 6-7 (B), se extrae:

- El vigor de los ejemplares monitoreados también obedece patrones estacionales. El estado de vigor común corresponde a la categoría normal, identificándose eventualmente en los meses de octubre y enero algunos ejemplares vigorosos.

Respecto a las observaciones del monitoreo de la fenología (Figura 6-7 C), se extrae lo siguiente:

- Se identifica como patrón la escasa producción de flores y semilla, lo cual no ha sido observado desde el año 2007, manteniéndose una condición de crecimiento vegetativo en la planta.

Figura 6-7. *Nitrophilla 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 2016.



Fuente: Elaboración propia



6.3.4 *Tessaria absinthioides*

La Figura 6-8 (A) representa el comportamiento del follaje verde de en *Tessaria absinthioides*. De la figura se destaca lo siguiente:

- *T. absinthioides* presenta un comportamiento cíclico anual respecto de su follaje, correspondiendo al mes de julio el periodo de recesión incrementando la copa verde en el transcurso de los monitoreos.
- La máxima expresión de copa verde se aprecia en los monitoreos de enero y abril.
- Al observar los meses de mayor expresión de copa verde, se aprecia un incremento en la cantidad de ejemplares con copa verde 0%.

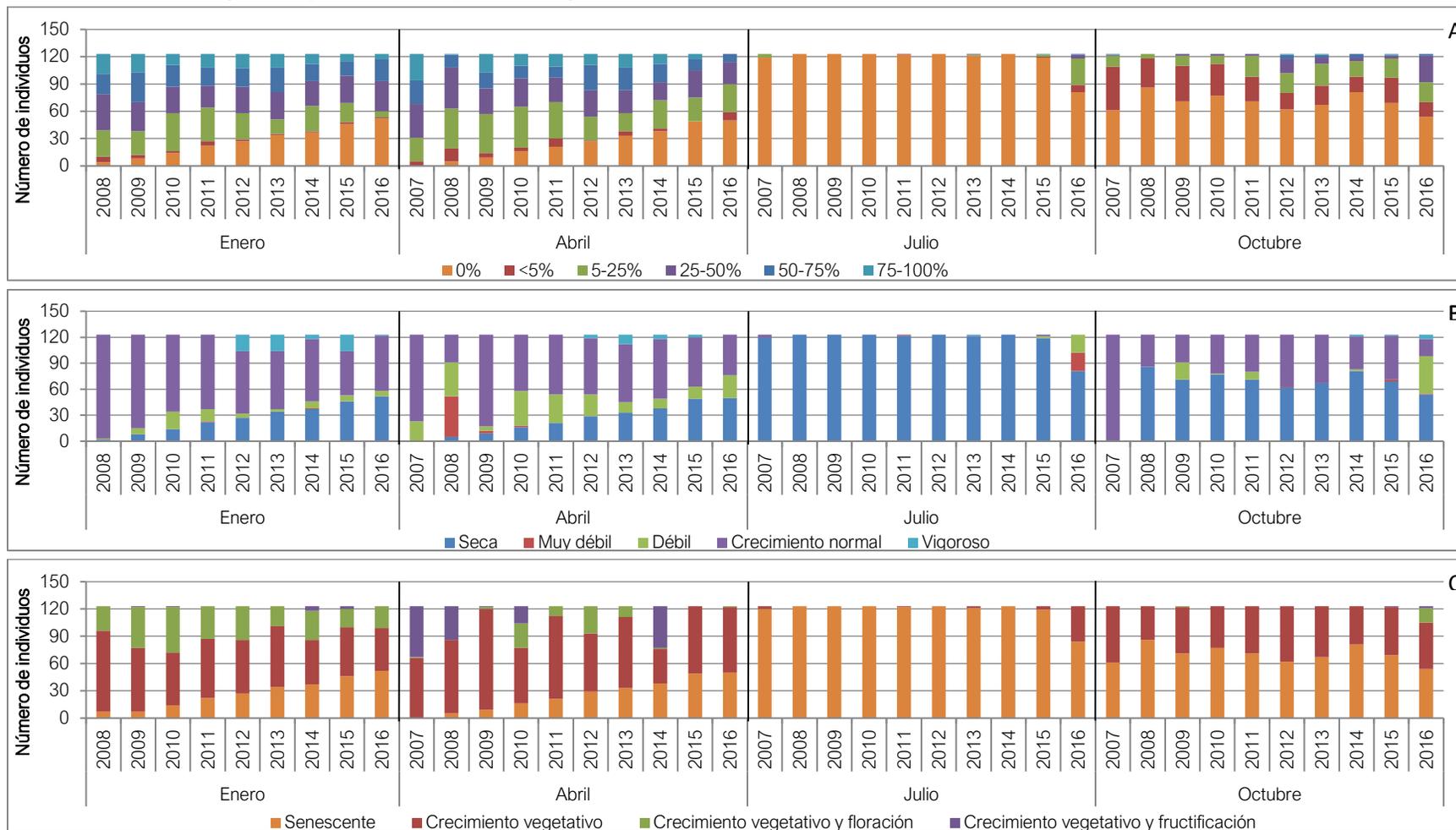
La Figura 6-8 (B) muestra el vigor de la especie para todos los monitoreos, de lo cual se extrae:

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

En la Figura 6-8 (C) presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares monitoreados. Al respecto:

- El periodo reproductivo de la vegetación se identifica entre los meses de enero y abril. En el año 2016 se aprecia una anticipación del periodo de floración el cual inició en octubre.

Figura 6-8. *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 2016.



Fuente: Elaboración propia



7. CONCLUSIONES

El contenido de humedad del monitoreo realizado en el año 2016 varió entre 0,813 g/g, observado en la parcela de monitoreo 1027 a valores de 0,014 g/g observado en la parcela L4-3. El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos L2-28 y 1027 con desviaciones estándar de 0,168 y 0,080 g/g respectivamente. La mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo, L3-15 cuya desviación estándar fue de 0,001 g/g.

La profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2016 varió entre 0,815 m (L3-5) y 15,28 m (L4-3). La mayor variación de profundidad a lo largo del año se observó en el Pozo L4-3 con una desviación estándar de 0,22 m respectivamente, mientras que la mayor homogeneidad de la profundidad de la napa durante el año se presentó en la parcela de monitoreo L2-25 cuya desviación estándar fue de 0,01 m.

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

En el análisis histórico de contenido de humedad se ha identificado que las parcelas L7-7, L2-4, L2-25, L3-5, L2-27 y L2-28 son las que ha variado en mayor grado sus valores de contenido de humedad. Se identifica que las cinco primeras parcelas registran profundidades de napa menores o iguales a 1 m, lo cual significa que son altamente sensibles a cambios en el nivel freático. Cuando se observan los gráficos presentados en la Figura 6-2, análisis históricos de profundidad de la napa, se aprecia que la pendiente de la tendencia es escasa pero con un ligero aumento de la profundidad cada año.

Por otra parte, la parcela 2-28 registra una mayor profundidad de la napa, la que para el año 2016 fue en promedio de 3,20 m, implicando menor sensibilidad en la relación del contenido de humedad y la profundidad de la napa. Las variaciones en el contenido de humedad de esta parcela dependen de las precipitaciones que ocurran cada año.

Respecto a los pozos con mayor variación de su profundidad, se identifica que dos de ellos (L1-3 y L4-3) tienen profundidades superiores a 4 metros, por lo que sus cambios son escasamente reflejados en el contenido de humedad superficial, lo que se verifica en la Figura 6-4, con tendencias del contenido humedad casi horizontales. Por otra parte, el pozo L3-15, cuyo descenso ha sido entorno a los 0,65 m, no demuestra respuesta en los valores de contenido de humedad, apreciándose una tendencia horizontal. Esto tiene su causa en que la profundidad de la napa está cercana al punto de inflexión de la relación.

Respecto a la vegetación contenida en los pozos, en un análisis general, los ejemplares de *A. atacamensis* no demuestran un comportamiento lineal en términos de la variación de su actividad fisiológica representado por la producción de follaje verde, estructuras reproductivas o vigor. Un caso similar se aprecia con *D. spicata* y *N. atacamensis*, las que muestran una amplia variación de los parámetros evaluados. En el caso particular de estas especies, se aprecia una mayor variabilidad debido a lo reducido de su estructura aérea, lo que para efectos del presente monitoreo muestra gran sensibilidad. También influye en este resultado la medición de rebrotes que pueden ser o no los mismos todos los años, dificultando la interpretación de resultados.

En el caso de *T. absinthioides* el monitoreo de los ejemplares demuestran un progresivo aumento de ejemplares en la categoría más baja de vitalidad, los que actualmente alcanzan un número de 50

individuos (abril 2016). Las parcelas en las que se presentan los individuos afectados corresponden a L9-1, L9-2, L5-7, L4-17, L3-15, L5-6, L3-3, L3-5, L2-28, L2-26, L2-4, L2-27 y L7-14. La profundidad de la napa registrada en los pozos de monitoreo asociados a las parcelas, varía entre 0,03 a 5,72 m, con profundidades relativamente estables, cuyo incremento anual en el peor de los casos es 0,08 m/año (Pozo L3-15). Respecto al contenido de humedad se aprecia que en las parcelas de monitoreo varía entre 0,08 a 0,56 g/g.

Al considerar que la reducción de vitalidad se produce en parcelas donde el contenido de humedad ha tenido una baja variación, se puede concluir que no guarda relación con cambios en esta propiedad del suelo. Se considera que la reducción en vitalidad puede guardar relación con dinámicas naturales o procesos fisiológicos de las plantas. Muchos de los ejemplares marcados pueden estar en el fin de su ciclo de vida, descartándose la alteración de las condiciones para el desarrollo de las plantas, dada la presencia de regeneración en los sectores.

8. REFERENCIAS

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