



Informe Anual – Monitoreo Contenido de Humedad del Suelo 2015

---

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

**Región de Antofagasta**

preparado para SQM S.A.  
junio 2016

**geobiota**

## Contenido

1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	3
3.	OBJETIVOS.....	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
4.4.1.1	Determinación de peso húmedo (PH) de las muestras.....	9
4.4.1.2	Secado y determinación del peso seco (PS) de las muestras.....	9
4.4.1.3	Cálculo del contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	9
4.4.2	Profundidad de la napa subterránea.....	10
4.4.3	Estado vital de la vegetación.....	11
4.5	Materiales.....	12
4.5.1	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	12
4.5.2	Profundidad de la napa subterránea.....	12
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	Variación interanual del contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa... 16	16
5.3	Estado vital de la vegetación.....	28
5.3.1	Fenología.....	28
5.3.2	Vigor.....	30
5.3.3	Porcentaje de follaje verde.....	31
5.4	Variación interanual de la vitalidad de la vegetación.....	33
5.4.1	Atriplex atacamensis.....	33
5.4.2	Distichlis spicata.....	37
5.4.3	Nitrophilla atacamensis.....	40
5.4.4	Tessaria absinthioides.....	43
6.	DISCUSIONES.....	46
7.	CONCLUSIONES.....	48
8.	REFERENCIAS.....	49

## 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	12
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 2015.	14
Tabla 5-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de enero, durante el periodo 2008 a 2015.	17
Tabla 5-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de abril, durante el periodo 2007 a 2015.	18
Tabla 5-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2015.	19
Tabla 5-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2015.	20
Tabla 5-6. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Enero, durante el periodo 2008 a 2015.	23
Tabla 5-7. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Abril, durante el periodo 2008 a 2015.	24
Tabla 5-8. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2015.	25
Tabla 5-9. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2015.	26
Tabla 5-10. Especies vegetales presentes en las 18 parcelas de monitoreo. Campañas de enero, abril, julio y octubre de 2015.	28

## Figuras

Figura 4-1. Ubicación de parcelas de monitoreo	6
Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo	9
Figura 4-3. Esquema del proceso de medición en un pozo	10
Figura 4-4. Medición del estado vital de la vegetación	12
Figura 4-5. Pozómetro utilizado para la medición de profundidad de la napa	13
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 2015	15
Figura 5-2. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2015	16
Figura 5-3. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2015	21
Figura 5-4. Promedio del contenido de humedad de suelo para 2015 y su variación en las parcelas de monitoreo, respecto del monitoreo del año anterior (2014) y promedio histórico (2007-2014).	22

Figura 5-5. Variación de la profundidad de la napa, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2015.	27
Figura 5-6. Promedio de profundidad de la napa freática para 2015 y su variación en las parcela de monitoreo, respecto del monitoreo del año anterior (2014) y promedio histórico (2007-2014).	28
Figura 5-7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2015.	30
Figura 5-8. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2015.	31
Figura 5-9. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2015.	32
Figura 5-10. <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 2015.	35
Figura 5-11. <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 2015.	38
Figura 5-12. <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 2015.	41
Figura 5-13. <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 2015.	44

## Anexos

Anexo I. Estado vital de la vegetación

Anexo II. Registro de precipitaciones 2007-2015

Anexo III. Responsables y participantes Seguimiento Ambiental

Anexo IV. Certificados y/o calibraciones de los equipos

## 1. RESUMEN

El informe anual de monitoreo año 2015, 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 objeto de detectar cambios producidos por el bombeo de los pozos de agua del proyecto.

Para el seguimiento ambiental se establecieron 18 parcelas permanentes de monitoreo ubicadas adyacentes a los pozos de monitoreo de nivel freático. Las parcelas se muestran en los resultados de oeste a este de acuerdo a su ubicación.

El seguimiento del contenido de humedad del suelo indica que el promedio de las parcelas tendió a disminuir en dirección este, aunque los valores promedio más bajos no respondieron a una distribución espacial, sino que a las características del suelo.

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

Respecto de la variación histórica del contenido de humedad de suelo, las reducciones en el contenido de humedad son mínimas en comparación con los resultados promedio de los monitoreos de años anteriores y el año 2014, las mayores diferencias se dan en la parcelas L2-25 con diferencias cercanas a 0,3 (g/g) en comparación al año 2014 y de 0,07 g/g respecto al promedio general.

Respecto de la variación histórica de la profundidad de la napa freática, el año 2015 presenta valores levemente superiores al promedio general (2007-2015) y al año previo 2014, los aumentos más significativos se registraron en la parcela L2-28 y L2-26 con 0,3 m más respecto al año anterior y en la parcela L3-15 con un aumento de 0,5 m respecto al promedio histórico.

El estado vital de la vegetación muestra que de acuerdo a la fenología los ejemplares se encuentran generalmente en crecimiento vegetativo en los meses de enero, abril y octubre. En julio se encuentran mayoritariamente en un estado recesivo. El registro de vigor de los individuos indica que se encuentran ejemplares vigorosos (5 a 18%) en los monitoreos de enero y abril, prevaleciendo sin embargo los de crecimiento normal con un porcentaje cercano al 45%. Luego del periodo recesivo en julio empiezan a aumentar los individuos con crecimiento normal. Lo mismo ocurre con el porcentaje de follaje verde con porcentaje de follaje verde mayor a 75% que va aumentando de octubre a enero y empieza a disminuir nuevamente en abril.

El registro de la especie *Atriplex atacamensis* muestra que hay un aumento en los meses de enero y abril de los ejemplares con porcentaje de follaje verde mayor a 75%, una leve disminución de los individuos vigorosos y aumento de los ejemplares con crecimiento normal en el mismo periodo. Respecto a la fenología se presenta similar a los años anteriores con presencia de flores en el mes de enero y mayoritariamente crecimiento vegetativo durante los otros monitoreos.

Para la especie *Distichlis spicata* el número de individuos con follaje verde mayor a 75% aumento desde el año 2013, presentan generalmente un vigor normal en los monitoreos a excepción del mes de enero donde destaca la presencia de ejemplares vigorosos y una fenología mayoritariamente correspondiente a crecimiento normal.

El monitoreo de la especie *Nitrophilla atacamensis* indica que el follaje verde varía entre 25 a 100% en los meses de enero, abril y octubre, presentan un crecimiento normal a vigoroso en el mismo periodo y un estado fenológico de crecimiento vegetativo. Para el mes de julio los ejemplares se clasifican como senescentes.

Para la especie *Tessaria absinthioides* el monitoreo muestra una disminución de los ejemplares con porcentaje de follaje verde mayor a 75% y aumento de individuos sin follaje. Respecto al vigor se presentan individuos con crecimiento normal y vigoroso mayoritariamente. Sólo se presentan ejemplares con crecimiento vegetativo y senescente en todos los periodos excepto en enero donde además presenta ejemplares con floración.

## 2. INTRODUCCIÓN

El presente informe da cuenta los resultados del seguimiento ambiental del contenido de humedad del suelo en el Borde Este del Salar de Atacama, efectuado durante el año 2015. 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.

La medición del contenido de humedad del suelo, profundidad de la napa y vitalidad de la vegetación tiene por objeto detectar cambios, producidos por el bombeo de los pozos de agua del proyecto (Mullay 1, Allana, Camar 2, Socaire 5B y P2). Para tales efectos, el Plan de Seguimiento contempla la medición simultánea en 18 puntos de muestreo (Figura 4-1) ubicados en el área de influencia hidrogeológica del proyecto.

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 seis informes operacionales anuales (2009, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014), que compilan los monitoreos de los meses de Enero, Abril, Julio y Octubre. El presente informe corresponde a la séptima entrega del periodo operacional 2015.

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. El equipo de profesionales que elaboro y consolido el informe se presenta en el anexo N°3.

### 3. OBJETIVOS

El presente Plan de Seguimiento Ambiental tienen por objeto detectar los 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).



## 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 objeto del presente Plan de seguimiento ambiental.

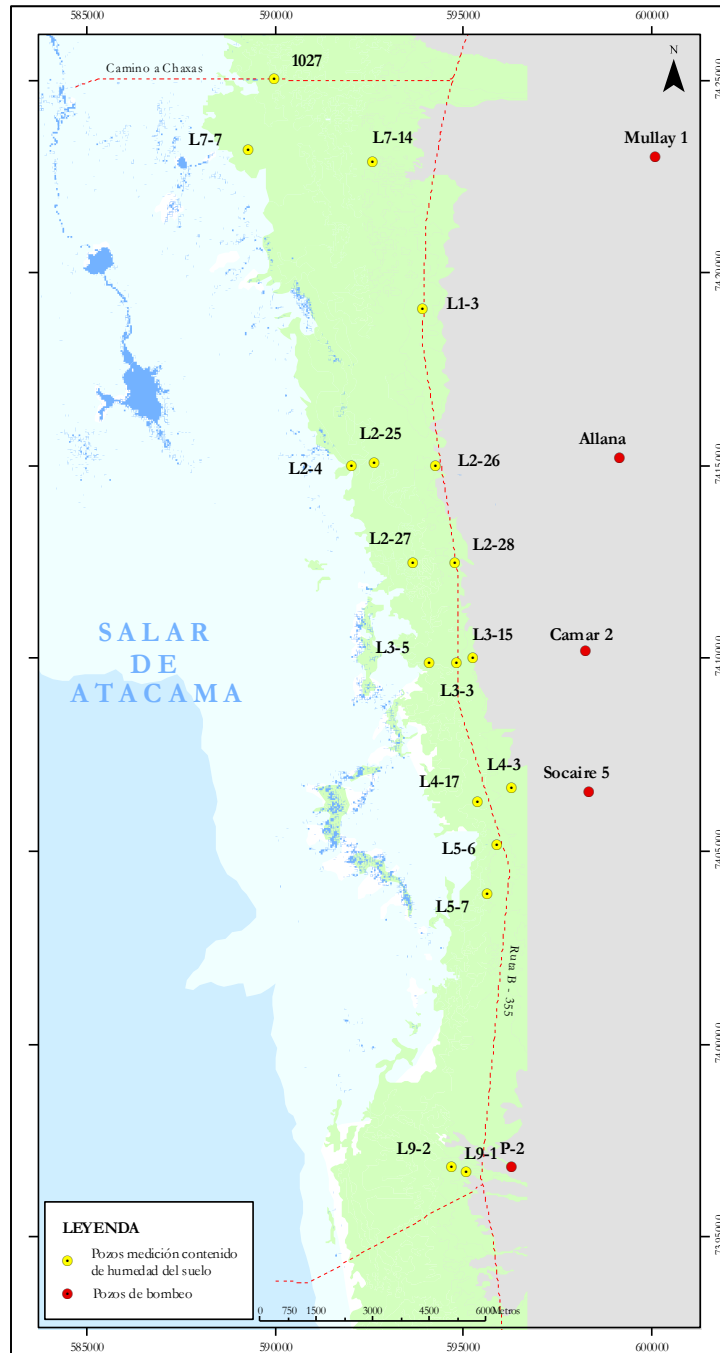
**Tabla 4-1. Coordenadas de los Vértices del Borde este del Salara de Atacama (UTM Datum WGS84 19S).**

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	7.372190
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.

Figura 4-1. Ubicación de parcelas de monitoreo



Fuente: Elaboración propia.



La Tabla 4-2 señala la ubicación exacta de las parcelas de monitoreo y las especies vegetales asociadas a cada punto.

**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)
		Este	Norte	
1	1027	7.424.651	589.830	<i>Distichlis spicata</i> , <i>Nitrophilla atacamensis</i>
2	L7-7	7.422.824	589.137	<i>Juncus balticus</i> , <i>Nitrophilla atacamensis</i>
3	L7-14	7.422.534	592.434	<i>Tessaria absinthioides</i>
4	L1-3	7.418.714	593.743	<i>Atriplex atacamensis</i>
5	L2-26	7.414.634	594.084	<i>Tessaria absinthioides</i>
6	L2-25	7.414.711	592.479	<i>Atriplex atacamensis</i> , <i>Distichlis spicata</i>
7	L2-4	7.414.618	591.865	<i>Atriplex atacamensis</i> , <i>Tessaria absinthioides</i>
8	L2-28	7.412.114	594.604	<i>Scirpus americanus</i> , <i>Tessaria absinthioides</i>
9	L2-27	7.412.114	593.504	<i>Distichlis spicata</i> , <i>Tessaria absinthioides</i>
10	L3-15	7.409.634	595.104	<i>Tessaria absinthioides</i>
11	L3-5	7.409.524	593.920	<i>Atriplex atacamensis</i> , <i>Distichlis spicata</i> , <i>Tessaria absinthioides</i>
12	L3-3	7.409.516	594.650	<i>Tessaria absinthioides</i>
13	L4-3	7.406.282	596.128	<i>Aloysia deserticola</i> <sup>1</sup>
14	L4-17	7.405.946	595.214	<i>Tessaria absinthioides</i>
15	L5-6*	7.404.824	595.737	<i>Tessaria absinthioides</i>
16	L5-7	7.403.544	595.487	<i>Tessaria absinthioides</i>
17	L9-2	7.396.434	594.518	<i>Atriplex atacamensis</i> , <i>Tessaria absinthioides</i>
18	L9-1	7.396.319	594.901	<i>Tessaria absinthioides</i>

\* El pozo L5-6 reemplaza al pozo L4-7, ya que este último se encontraba fuera de la formación vegetal matorral ralo Brea – Cachiyuyo

<sup>1</sup> 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*

Para su medición 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**

N°	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.

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 toman las muestras en terreno, son transportadas 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 medir el contenido de humedad gravimétrico de las muestras se detalla a continuación (Figura 4-2):

#### 4.4.1.1 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.

#### 4.4.1.2 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.

#### 4.4.1.3 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.

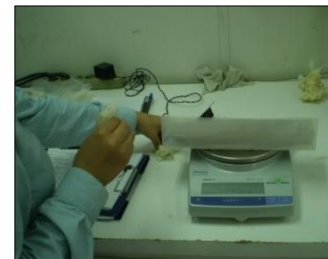
**Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo**



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

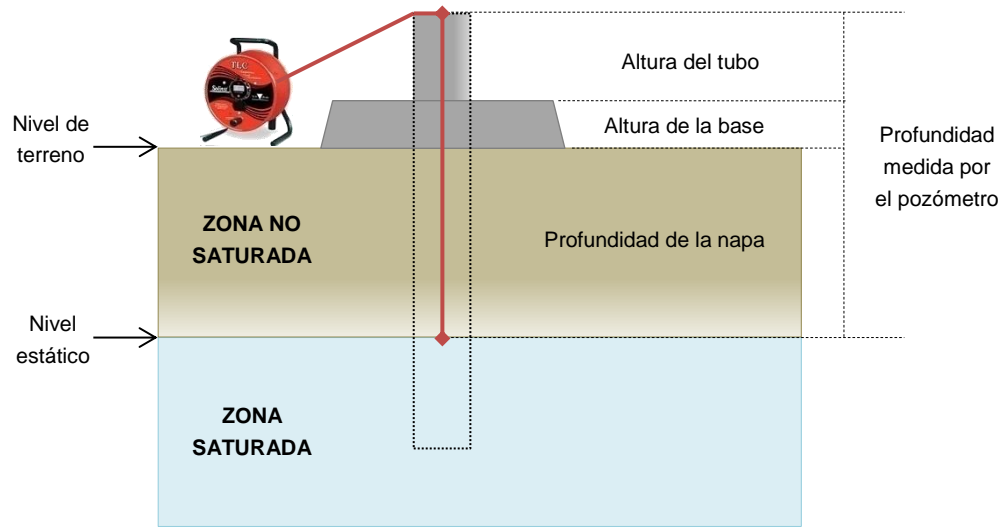
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2 **Profundidad de la napa subterránea**

Para estos efectos, cada punto de muestreo cuenta un pozo de monitoreo permanente. La medición de la profundidad de la napa subterránea se realizó con un pozómetro, que en uno de sus extremos tiene un sensor sonoro y lumínico que detecta la presencia del nivel de agua (Figura 4-3).

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

**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 con el fin de mejorar las observaciones del monitoreo. La evaluación se realizó en parcelas circulares permanentes de radio 5 m, que fueron establecidas en la primera campaña y son las mismas donde se realiza el monitoreo de contenido de humedad gravimétrico del suelo.

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

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

**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

Adicionalmente se efectuó un registro fotográfico de los ejemplares marcados.

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



A.- Individuos rotulado



B.- Medición de altura en un individuo

Fuente: Elaboración propia

## 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

### 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), que consiste en una cinta resistente y graduada con precisión milimétrica, que en uno de sus extremos tiene un sensor sonoro y lumínico que detecta la presencia del nivel de agua.



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



Fuente: Elaboración propia.

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

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

El monitoreo de esta propiedad se realiza de forma trimestral. Los muestreos fueron realizados los días 30 y 31 de enero, 24 y 25 de abril, 1 y 2 julio y 28 y 29 de octubre del año 2015. Las muestras son analizadas 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 2015.

### 4.6.3 *Estado vital de la vegetación*

El monitoreo de esta propiedad se realiza de forma trimestral. Los muestreos fueron realizados los días 30 y 31 de enero, 24 y 25 de abril, 1 y 2 julio y 28 y 29 de octubre del año 2015.

## 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 2015 (enero, abril, julio y octubre).

**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 2015.**

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g)				Profundidad napa (m)			
	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.
L7-7	0,550	0,551	0,594	0,529	0,548	1,287	0,434	0,438
1027	0,734	0,718	0,909	0,856	0,532	0,825	0,426	0,425
L2-4	0,549	0,628	0,638	0,748	0,916	1,409	0,834	0,832
L2-25	0,426	0,400	0,455	0,482	0,551	1,474	0,524	0,529
L7-14	0,316	0,331	0,337	0,331	1,655	1,553	1,604	1,596
L2-27	0,464	0,451	0,465	0,480	1,045	1,950	0,861	0,843
L1-3	0,029	0,027	0,029	0,025	7,110	7,605	7,137	7,149
L3-5	0,480	0,424	0,541	0,470	0,063	0,824	-0,016	-0,044
L2-26	0,114	0,114	0,119	0,133	3,839	4,845	3,835	3,837
L9-2	0,090	0,091	0,087	0,086	4,238	5,295	4,108	4,083
L2-28	0,122	0,143	0,128	0,140	3,142	4,199	3,092	3,075
L9-1	0,118	0,118	0,103	0,098	5,775	6,884	5,666	5,643
L3-15	0,057	0,054	0,052	0,048	4,027	4,530	4,021	4,032
L4-17	0,143	0,177	0,179	0,186	2,022	2,704	1,951	1,989
L5-7	0,329	0,242	0,318	0,258	1,795	2,531	1,622	1,615
L5-6	0,155	0,202	0,167	0,171	2,287	3,265	2,137	2,138
L3-3	0,092	0,157	0,144	0,151	3,283	3,379	3,128	3,130
L4-3	0,003	0,033	0,029	0,022	15,863	15,853	15,627	15,522

Fuente: Elaboración propia.

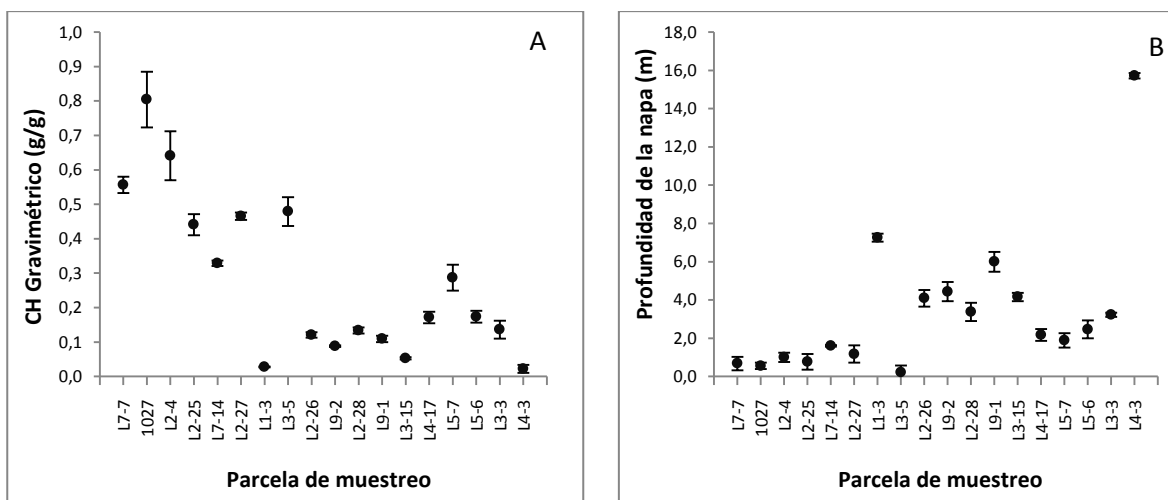
La Figura 5-1 (gráfico A) corresponde al comportamiento del contenido de humedad gravimétrico del suelo de los 18 puntos de medición evaluados en las cuatro campañas de monitoreo del año 2015. Los puntos de muestreo están distribuidos de oeste a este.

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 0,549 g/g a 0,909 g/g. El contenido de humedad tendió a disminuir en dirección este, aunque los valores promedio más bajos no respondieron a una distribución espacial, sino que a las características del suelo. Las parcelas de monitoreo L4-3, L1-3 y L3-15 presentaron los valores más bajos con un promedio anual de 0,022 g/g; 0,028 g/g y 0,053 g/g respectivamente.

Los valores promedio de contenido de humedad más bajos, han sido constantes históricamente en las parcelas, presentándose mayores antecedentes en el capítulo de análisis de la variación interanual del contenido de humedad (Sección 5.2 del presente informe).

El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos 1027 y L2-4 con desviaciones estándar de 0,081 y 0,071 g/g respectivamente. Mientras que la mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo, L1-3 y L9-2, cuyas desviaciones estándar fueron de 0,002 g/g.

**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 2015**



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

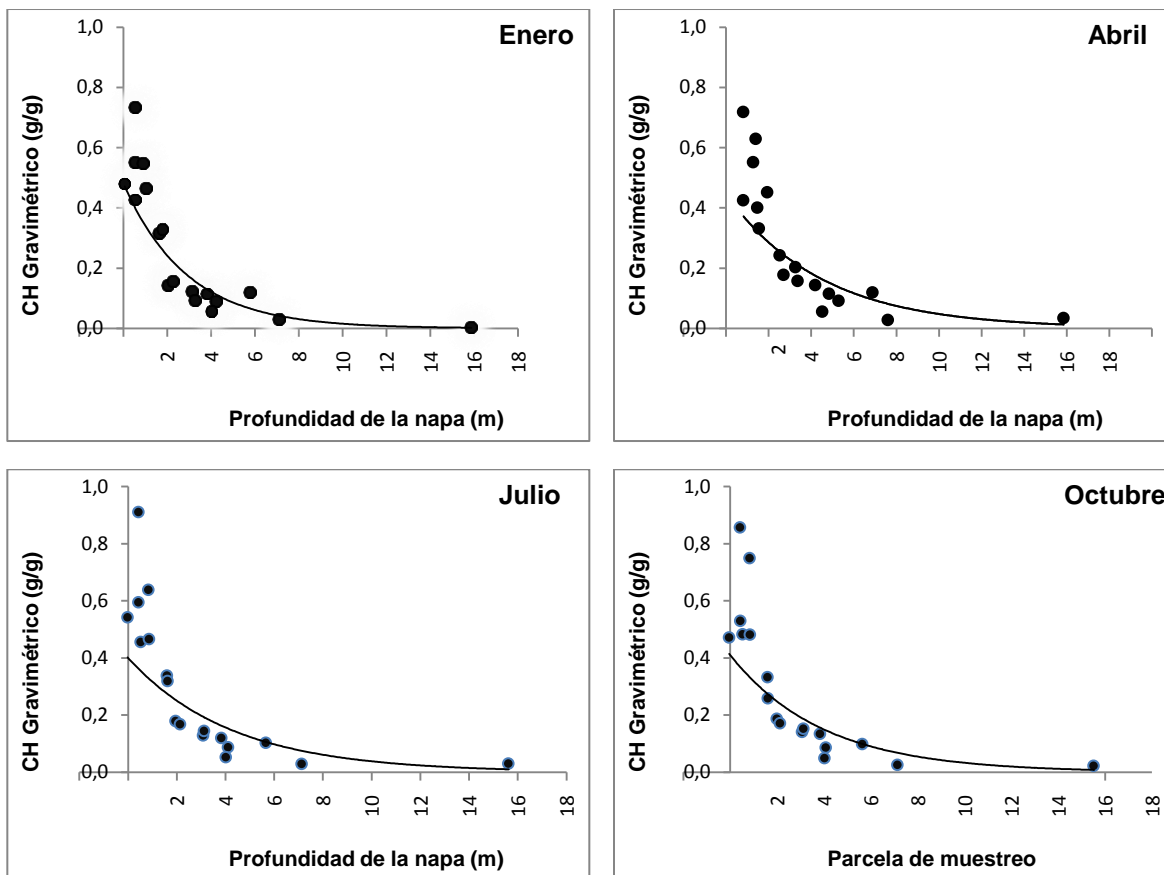
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-1 (gráfico B) se presenta la profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2015. Los resultados indican que la profundidad promedio de la napa de las parcelas ubicadas al oeste es menor; aunque, no es claro que exista una tendencia respecto a la distribución espacial, ya que en el centro del gráfico las parcelas de monitoreo L1-3, L2-26, L9-2, L2-28, L9-1 y L3-15 registran una profundidad promedio mayor que en ambos extremos salvo el punto L4-3, el cual registró la mayor profundidad de la napa.

Las parcelas de monitoreo que presentaron menor profundidad promedio de la napa fueron L3-5 (0,207 m  $\pm$  0,4 m), 1027 (0,552 m  $\pm$  0,2 m) y L7-7 (0,677 m  $\pm$  0,4 m). En contraposición, la mayor profundidad de napa se observó en el pozo L4-3 (15,716 m  $\pm$  0,147 m), seguido por los pozos L1-3 (7,250 m  $\pm$  0,205 m) y L9-1 (5,992 m  $\pm$  0,517 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 logarítmica decreciente entre ambas propiedades, indicando que para gran parte de las parcelas de monitoreo, la profundidad de la napa tiene un efecto significativo sobre el contenido de humedad gravimétrico del suelo. En las parcelas con profundidad de la napa, de hasta 5 m aproximadamente, se produce el acenso capilar del agua inducido por la textura del suelo y la reducción del potencial hídrico en superficie por la evaporación del agua causado por la radiación solar. En condiciones climáticas de altas temperaturas y sequía, el movimiento capilar toma importancia para abastecer de agua a las plantas (Brady y Weil, 2008). Mientras que para las parcelas con más de 5 m de profundidad de la napa, el contenido de humedad gravimétrico no tiene mayor relación, presentado mínimos cambios con las fluctuaciones de profundidad y estacionalidad.

Figura 5-2. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2015



Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Variación interanual del contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa

En las Tabla 5-2 a Tabla 5-5 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. Mientras que en las Tabla 5-6 a Tabla 5-9 se muestran los resultados de profundidad de la napa para cada monitoreo durante mismo periodo. Se aclara que el monitoreo inició una vez que los pozos fueron habilitados, comenzando en julio de 2007. Cabe destacar que para contenido de humedad promedio (g/g) y profundidad de la napa (m), se agrega entre paréntesis la desviación estándar.

Tabla 5-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de enero, durante el periodo 2008 a 2015.

Parcela de Monitoreo	Enero									Contenido de humedad promedio (g/g)	Tasa de variación
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015			
L7-7	0,798	0,723	0,499	0,487	0,537	0,559	0,512	0,550	0,583 (± 0,107)	0,038	
1027	0,894	0,908	0,731	0,798	0,780	0,876	0,700	0,734	0,803 (± 0,076)	0,034	
L2-4	0,614	0,524	0,997	0,769	0,461	0,622	0,631	0,549	0,646 (± 0,158)	-0,082	
L2-25	0,935	0,707	0,625	0,828	0,397	0,792	0,505	0,426	0,652 (± 0,184)	-0,079	
L7-14	0,247	0,263	0,384	0,354	0,353	0,364	0,300	0,316	0,323 (± 0,460)	0,016	
L2-27	0,480	0,501	0,622	0,578	0,487	0,555	0,469	0,464	0,520 (± 0,055)	-0,005	
L1-3	0,013	0,007	0,024	0,022	0,021	0,033	0,030	0,029	0,022 (± 0,008)	-0,001	
L3-5	0,381	0,385	0,603	0,554	0,418	0,56	0,553	0,480	0,492 (± 0,082)	-0,073	
L2-26	0,127	0,104	0,202	0,184	0,119	0,105	0,114	0,114	0,134 (± 0,035)	0,000	
L9-2	0,072	0,069	0,092	0,044	0,041	0,085	0,065	0,090	0,070 (± 0,018)	0,025	
L2-28	0,149	0,151	0,177	0,146	0,148	0,085	0,121	0,122	0,137 (± 0,026)	0,001	
L9-1	0,105	0,031	0,170	0,096	0,049	0,114	0,087	0,118	0,096 (± 0,040)	0,031	
L3-15	0,031	0,014	0,023	0,043	0,055	0,085	0,061	0,057	0,046 (± 0,022)	-0,004	
L4-17	0,224	0,209	0,225	0,208	0,19	0,225	0,162	0,143	0,198 (± 0,029)	-0,019	
L5-7	0,233	0,230	0,356	0,299	0,239	0,339	0,213	0,329	0,280 (± 0,053)	0,116	
L5-6	0,170	0,166	0,16	0,162	0,158	0,163	0,163	0,155	0,162 (± 0,004)	-0,008	
L3-3	0,103	0,063	0,116	0,122	0,128	0,112	0,135	0,092	0,109 (± 0,022)	-0,043	
L4-3	0,005	0,003	0,008	0,003	0,001	0,044	0,005	0,003	0,009 (± 0,013)	-0,002	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de abril, durante el periodo 2007 a 2015.

Parcela de monitoreo	Abril									Contenido de humedad promedio (g/g)	Tasa de variación anual
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
L7-7	0,453	0,644	0,872	0,623	0,533	0,560	0,533	0,548	0,551	0,591 (± 0,112)	0,003
1027	0,753	0,798	0,666	0,849	0,858	0,840	0,831	0,732	0,718	0,783 (± 0,064)	-0,014
L2-4	0,838	0,795	0,929	0,845	0,529	0,707	0,618	0,475	0,628	0,707 (± 0,146)	0,153
L2-25	1,079 <sup>2</sup>	0,817	1,017	0,600	0,554	0,641	0,463	0,397	0,400	0,611 (± 0,201)	0,003
L7-14	0,217	0,258	0,362	0,381	0,491	0,379	0,327	0,344	0,331	0,343 (± 0,073)	-0,013
L2-27	0,496	0,509	0,766	0,552	0,502	0,582	0,458	0,445	0,451	0,529 (± 0,094)	0,006
L1-3	0,04	0,029	0,019	0,086	0,017	0,035	0,028	0,037	0,027	0,035 (± 0,019)	-0,01
L3-5	0,524	0,403	0,628	0,540	0,626	0,502	0,443	0,419	0,424	0,501 (± 0,081)	0,005
L2-26	0,183	0,131	0,156	0,171	0,104	0,138	0,128	0,129	0,114	0,139 (± 0,024)	-0,015
L9-2	0,097	0,107	0,068	0,058	0,037	0,088	0,066	(*) <sup>3</sup>	0,091	0,077 (± 0,022)	-
L2-28	0,183	0,157	0,167	0,137	0,104	0,166	0,106	0,117	0,143	0,142 (± 0,027)	0,026
L9-1	0,115	0,056	0,178	0,147	0,051	0,086	0,128	0,210	0,118	0,121 (± 0,050)	-0,092
L3-15	0,066	0,052	0,039	0,052	0,067	0,096	0,084	0,051	0,054	0,062 (± 0,017)	0,003
L4-17	0,242	0,211	0,263	0,238	0,163	0,197	0,162	0,190	0,177	0,205 (± 0,034)	-0,013
L5-7	0,338	0,259	0,244	0,448	0,238	0,280	0,313	0,238	0,242	0,289 (± 0,066)	0,004
L5-6	0,198	0,180	0,163	0,179	0,187	0,158	0,165	0,162	0,202	0,177 (± 0,015)	0,040
L3-3	0,133	0,132	0,121	0,111	0,106	0,168	0,124	0,135	0,157	0,132 (± 0,019)	0,022
L4-3	0,004	0,004	0,009	0,007	0,010	0,017	0,009	0,007	0,033	0,011 (± 0,009)	0,026

<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.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2015.

Parcela de monitoreo	Julio									Contenido de humedad Promedio (g/g) <sup>1</sup>	Tasa de variación anual
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
L7-7	S/I <sup>2</sup>	0,577	0,693	0,601	0,530	0,619	0,608	0,563	0,594	0,598 (± 0,045)	0,031
1027	0,806	0,913	0,857	0,767	0,802	0,799	0,925	0,694	0,909	0,830 (± 0,073)	0,215
L2-4	0,759	0,484	0,868	0,864	0,534	0,673	0,617	0,551	0,638	0,665 (± 0,132)	0,087
L2-25	0,987	0,583	0,642	0,740	0,446	0,545	0,458	0,457	0,455	0,590 (± 0,170)	-0,002
L7-14	0,237	0,279	0,332	0,365	0,230	0,383	0,334	0,337	0,337	0,315 (± 0,051)	0,000
L2-27	0,568	0,509	0,546	0,637	0,490	N/M <sup>3</sup>	0,697	0,519	0,465	0,554 (± 0,073)	-0,054
L1-3	0,024	0,031	0,022	0,024	0,022	0,026	0,038	0,033	0,029	0,029 (± 0,005)	-0,004
L3-5	S/I <sup>2</sup>	0,410	0,304	0,691	0,419	0,519	0,549	0,390	0,541	0,478 (± 0,113)	0,151
L2-26	S/I <sup>2</sup>	0,160	0,156	0,190	0,122	0,136	0,133	0,119	0,119	0,142 (± 0,023)	0,000
L9-2	0,12	0,069	0,129	0,122	0,071	0,111	0,085	0,071	0,087	0,096 (± 0,023)	0,016
L2-28	S/I	0,159	0,168	0,149	0,14	0,164	0,137	0,129	0,128	0,147 (± 0,015)	-0,001
L9-1	0,094	0,093	0,228	0,169	0,138	0,112	0,139	0,090	0,103	0,130 (± 0,043)	0,013
L3-15	S/I <sup>2</sup>	0,050	0,031	0,044	0,031	0,091	0,077	0,064	0,052	0,055 (± 0,020)	-0,012
L4-17	S/I <sup>2</sup>	0,208	0,202	0,262	0,25	0,213	0,214	0,183	0,179	0,214 (± 0,027)	-0,004
L5-7	0,272	0,263	0,388	0,377	0,282	0,339	0,363	0,222	0,318	0,314 (± 0,054)	0,096
L5-6	0,183	0,175	0,177	0,186	0,185	0,098	0,171	0,178	0,167	0,169 (± 0,026)	-0,011
L3-3	0,097	0,109	0,142	0,150	0,102	0,146	0,106	0,109	0,144	0,123 (± 0,021)	0,035
L4-3	0,004	0,015	0,010	0,008	0,005	0,017	0,009	0,005	0,029	0,011 (± 0,008)	0,024

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

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

<sup>3</sup> Este punto ni pudo ser muestreado por encontrarse interrumpido el camino de acceso.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2015.

Parcela de monitoreo	Octubre									Contenido de humedad promedio (g/g)	Tasa de variación anual
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
L7-7	0,713	0,609	0,694	0,751	0,664	0,644	0,649	0,632	0,529	0,654 (± 0,060)	-0,103
1027	0,776	0,958	0,673	0,763	0,826	0,838	0,817	0,712	0,856	0,802 (± 0,079)	0,144
L2-4	0,731	0,648	0,878	0,547	0,527	0,611	0,534	0,526	0,748	0,639 (± 0,117)	0,222
L2-25	0,974	0,712	0,556	0,41	0,386	0,852	0,478	0,512	0,482	0,596 (± 0,193)	-0,030
L7-14	0,275	0,272	0,358	0,344	0,337	0,348	0,344	0,321	0,332	0,326 (± 0,030)	0,011
L2-27	0,515	0,520	0,545	0,512	0,540	0,610	0,578	0,539	0,481	0,538 (± 0,036)	-0,058
L1-3	0,012	0,024	0,03	0,02	0,018	0,031	0,042	0,039	0,025	0,027 (± 0,009)	-0,014
L3-5	0,525	0,348	0,681	0,481	0,498	0,527	0,49	0,465	0,471	0,498 (± 0,081)	0,006
L2-26	0,142	0,134	0,153	0,169	0,146	0,123	0,115	0,124	0,134	0,138 (± 0,016)	0,010
L9-2	0,141	0,126	0,102	0,06	0,053	0,101	0,078	0,075	0,086	0,091 (± 0,027)	0,011
L2-28	0,131	0,165	0,178	0,124	0,134	0,151	0,138	0,138	0,140	0,144 (± 0,016)	0,002
L9-1	0,075	0,093	0,224	0,102	0,124	0,113	0,136	0,040	0,098	0,112 (± 0,048)	0,058
L3-15	0,078	0,031	0,043	0,040	0,035	0,059	0,06	0,076	0,048	0,052 (± 0,016)	-0,028
L4-17	0,208	0,225	0,241	0,203	0,222	0,212	0,186	0,170	0,186	0,206 (± 0,021)	0,016
L5-7	0,349	0,239	0,416	0,260	0,251	0,290	0,252	0,286	0,258	0,289 (± 0,055)	-0,028
L5-6	0,215	0,195	0,159	0,088	0,183	0,175	0,161	0,163	0,171	0,168 (± 0,033)	0,008
L3-3	0,166	0,134	0,138	0,136	0,098	0,132	0,128	0,129	0,151	0,135 (± 0,017)	0,022
L4-3	0,005	0,003	0,006	0,007	0,003	0,011	0,008	0,005	0,022	0,008 (± 0,006)	0,017

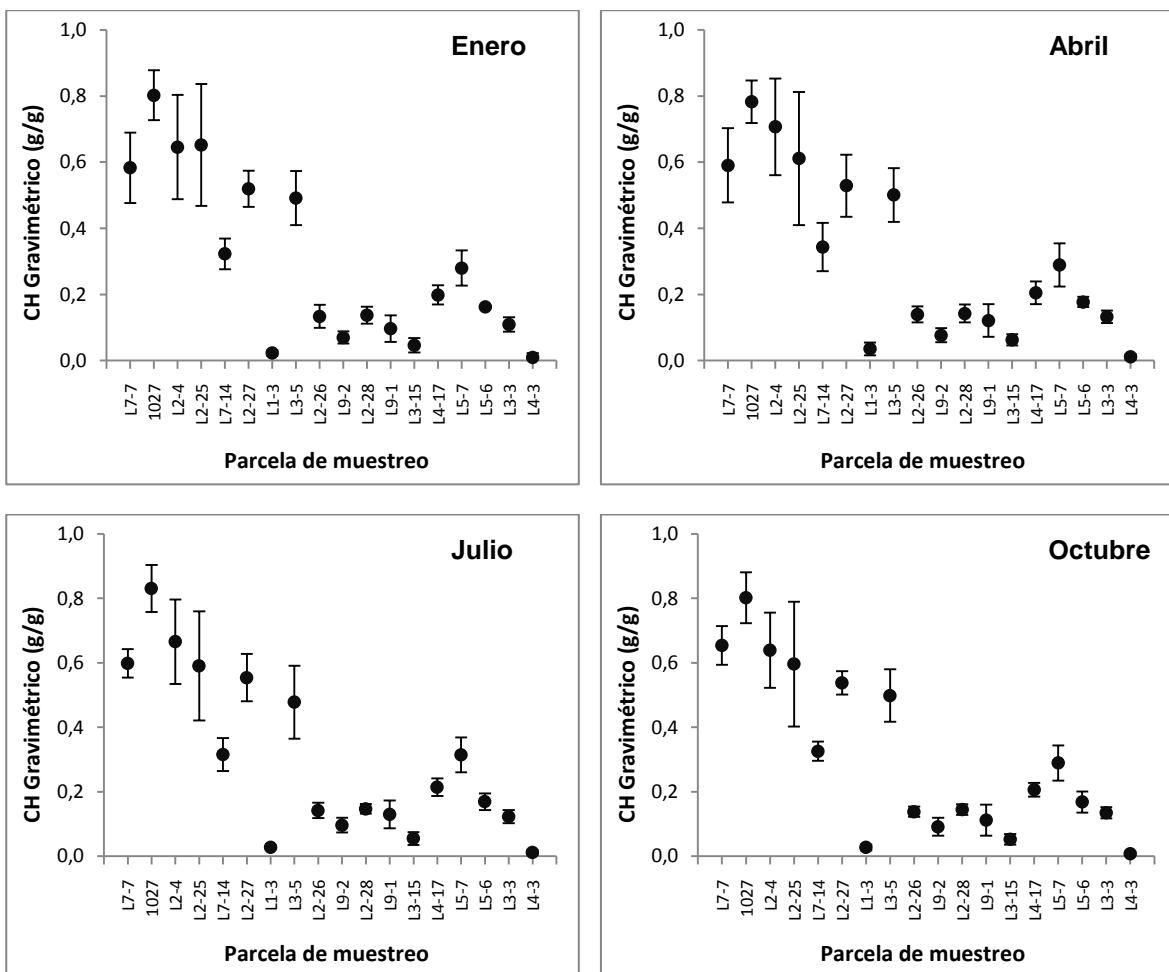
<sup>1</sup> Desviación estándar entre paréntesis. Fuente: Elaboración propia



Las parcelas y pozos de monitoreo se encuentran ubicadas en las zonas marginal y aluvial. La zona marginal se caracteriza por un comportamiento estacional de la napa, influenciado principalmente por el efecto de la evaporación en verano y el aumento de flujos subsuperficiales y subterráneos en época invernal causada por las precipitaciones. Los pozos que están ubicados en las zonas aluviales no tienen este comportamiento en la napa, correspondiendo su variación principalmente a los efectos de bombeo, en esta condición se ubican las parcelas de monitoreo L1-3 y L4-3 se ubican en la zona aluvial.

En la Figura 5-3 se muestra el comportamiento interanual de las mediciones de contenido de humedad gravimétrico por parcela de monitoreo.

**Figura 5-3. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2015**



Fuente: Elaboración propia.

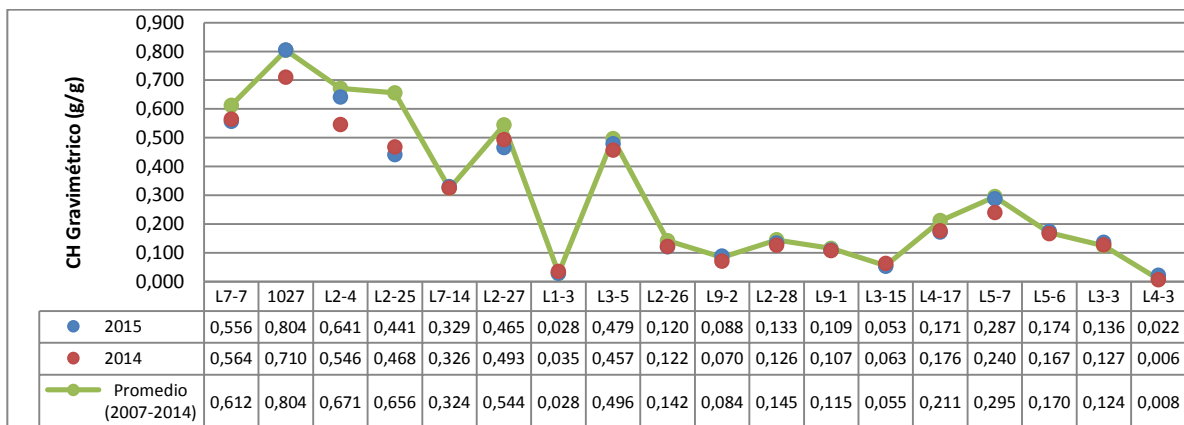
Se aprecia que las parcelas ubicadas al oeste (es decir, cercanas al eje de las coordenadas) son las que han tenido mayor variación en su contenido de humedad para todos los meses en los cuales se ha realizado la medición (Figura 5-4). Los datos presentados en las Tabla 5-2 a Tabla 5-5 y Figura 5-3 muestran que respecto del monitoreo del año anterior, las mediciones realizadas en enero de 2015, las parcelas con mayor reducción en el contenido de humedad gravimétrico fueron las parcelas: L2-4, L2-25 y L3-5 con reducciones en el contenido de humedad de 0,082 (g/g); 0,079 (g/g) y 0,073 (g/g), respectivamente. Las reducciones en



contenido de humedad más importantes durante abril se observaron en las parcelas: L2-4 y L9-1, con reducciones de 0,153 (g/g) y 0,092 (g/g) respectivamente. Respecto del año anterior, para las mediciones de julio de 2015, se registró una reducción importante en la parcela L2-27 y aumentos significativos en las parcelas 1027, y L 5-7 con 0.215 y 0,096 m respectivamente. En relación a las mediciones de octubre de 2015, respecto del año anterior las reducciones más significativas se registraron en las parcelas L2-4, 1027 y L7-7 donde la disminución en el contenido de humedad fue de 0,222 (g/g), 0,144 (g/g) y 0,103 (g/g), respectivamente. Cabe señalar que el contenido de humedad del suelo está influido por la textura de este, es así como suelos arenosos poseen baja capacidad de retención de agua y rápida infiltración lo que condiciona la disponibilidad de agua en el suelo para el establecimiento y desarrollo de las plantas. Por el contrario, suelo con mayor proporción de arcilla, otorga al suelo una mejor capacidad de retención de agua lo que aminora las fluctuaciones de humedad en el suelo.

Respecto de la variación histórica del contenido de humedad de suelo, la Figura 5-4 muestra la comparación del valor promedio anual de las mediciones de 2015 para cada pozo de monitoreo, en relación al valor promedio registrado en el monitoreo del año anterior (2014) y al promedio histórico (2007 a 2014). Los resultados muestran que respecto del año anterior las reducciones fueron mínimas registrándose los valores máximos en la parcelas L2-27 y L2-25 con diferencias en el contenido de humedad de 0,028 (g/g) y 0,027 (g/g) respectivamente. Respecto del valor histórico (2007-2014), el promedio obtenido en 2015 presentó las mayores reducciones de contenido de humedad en las parcelas L2-25 y L2-27, donde la disminución en el contenido de humedad fue de 0,215 (g/g) y 0,079 (g/g) respectivamente. Para el resto de las parcelas de monitoreo, las mediciones realizadas en 2015 muestran una situación muy similar a la registrada el año anterior (2014) y en relación al promedio obtenido para el período 2007 a 2014.

**Figura 5-4. Promedio del contenido de humedad de suelo para 2015 y su variación en las parcelas de monitoreo, respecto del monitoreo del año anterior (2014) y promedio histórico (2007-2014).**



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de profundidad de la napa (Tabla 5-6, Tabla 5-8 y Tabla 5-9) demuestran que el nivel ha sido poco variable durante los meses de seguimiento. En la Figura 5-5 se muestra el comportamiento interanual de las mediciones de la profundidad de la napa realizadas en enero, abril, julio y octubre de 2015, los resultados obtenidos son muy similares a los registrados en año de monitoreo anterior (2014) y al promedio de los registros históricos de mediciones mensuales de 2007 a 2014.



Tabla 5-6. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Enero, durante el periodo 2008 a 2015.

Parcela de monitoreo	Enero								Profundidad promedio (m)	Tasa de variación (m/año)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
L7-7	0,521	0,459	0,536	0,491	0,490	0,590	0,577	0,548	0,527 (± 0,042)	-0,029
1027	0,479	0,445	0,499	0,461	0,490	0,523	0,519	0,532	0,494 (± 0,029)	0,013
L2-4	0,855	0,829	0,884	0,868	0,887	0,888	0,883	0,916	0,876 (± 0,024)	0,033
L2-25	0,575	0,551	0,564	0,549	0,551	0,549	0,551	0,551	0,555 (± 0,009)	0,000
L7-14	1,556	1,542	1,576	1,567	1,589	1,619	1,620	1,655	1,591 (± 0,036)	0,035
L2-27	0,972	0,891	0,978	0,948	0,966	0,962	1,003	1,045	0,971 (± 0,041)	0,042
L1-3 <sup>2</sup>	6,525	6,538	6,553	6,600	6,647	7,000	7,032	7,11	6,751 (± 0,234)	0,078
L3-5	0,063	0,058	0,096	0,069	0,083	0,131	0,025	0,063	0,074 (± 0,029)	0,038
L2-26	3,515	3,495	3,548	3,580	3,633	3,686	3,745	3,839	3,630 (± 0,112)	0,094
L9-2	4,103	4,104	4,151	4,122	4,169	4,166	4,172	4,238	4,153 (± 0,042)	0,066
L2-28	2,771	2,730	2,842	2,863	2,942	2,981	3,047	3,142	2,915(± 0,131)	0,095
L9-1	5,639	5,652	5,687	5,657	5,715	5,723	5,717	5,775	5,696(± 0,043)	0,058
L3-15	3,017	3,040	3,602	3,691	3,779	3,867	3,943	4,027	3,621(± 0,364)	0,084
L4-17	1,804	1,820	1,894	1,888	1,943	1,954	1,992	2,022	1,915(± 0,073)	0,030
L5-7	1,646	1,611	1,741	1,716	1,754	1,763	1,789	1,795	1,727(± 0,062)	0,006
L5-6	1,679	1,966	2,124	2,135	2,179	2,210	2,252	2,287	2,104(± 0,185)	0,035
L3-3	2,944	2,948	3,006	3,030	3,074	3,152	3,177	3,283	3,077(± 0,112)	0,106
L4-3	16,022	16,009	16,138	16,254	16,258	16,387	16,39	15,863	16,165(± 0,178)	-0,527

<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. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-7. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Abril, durante el periodo 2008 a 2015.

Parcela de monitoreo	Abril								Profundidad promedio (m)	Tasa de variación
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
L7-7	0,663	0,628	0,62	0,601	0,516	0,57	0,688	1,287	0,697 (± 0,229) <sup>1</sup>	0,599
1027	0,527	0,510	0,514	0,504	0,494	0,518	0,604	0,825	0,562 (± 0,104)	0,221
L2-4	0,864	0,861	0,863	0,882	0,828	0,874	0,896	1,409	0,934 (± 0,180)	0,513
L2-25	0,584	0,621	0,560	0,551	0,522	0,539	0,553	1,474	0,676 (± 0,303)	0,921
L7-14	1,601	1,598	1,611	1,603	1,605	1,593	1,644	1,553	1,601 (± 0,023)	-0,091
L2-27	1,189	1,181	1,255	1,148	0,959	1,037	1,184	1,95	1,238 (± 0,283)	0,766
L1-3 <sup>2</sup>	6,441	6,554	6,579	6,608	6,945	6,981	7,069	7,605	6,848 (± 0,359)	0,536
L3-5	0,087	0,087	0,111	0,088	0,053	0,114	0,092	0,824	0,182 (± 0,243)	0,732
L2-26	3,562	3,554	3,563	3,599	3,594	3,695	3,779	4,845	3,774 (± 0,411)	1,066
L9-2	4,180	4,190	4,195	4,200	4,097	4,190	4,228	5,295	4,322 (± 0,369)	1,067
L2-28	2,865	2,89	2,914	2,937	2,910	3,006	3,102	4,199	3,103 (± 0,420)	1,097
L9-1	5,715	5,704	5,729	5,718	5,683	5,725	5,765	6,884	5,865(± 0,386)	1,119
L3-15	3,045	3,555	3,644	3,714	3,777	3,879	3,979	4,530	3,765 (± 0,391)	0,551
L4-17	1,845	1,866	1,927	1,937	1,941	1,973	2,025	2,704	2,027 (± 0,261)	0,679
L5-7	1,710	1,758	1,724	1,755	1,748	1,752	1,784	2,531	1,845 (± 0,260)	0,747
L5-6	1,994	2,066	2,102	2,141	2,172	2,188	2,254	3,265	2,273 (± 0,382)	1,011
L3-3	2,937	2,971	3,018	3,037	3,001	3,170	3,254	3,379	3,096 (± 0,146)	0,125
L4-3	15,982	16,055	16,154	16,221	16,299	16,347	16,218	15,853	16,141 (± 0,156)	-0,365

<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.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-8. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2015.

Parcela de monitoreo	Julio									Profundidad promedio (m)	Tasa de variación
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
L7-7	0,545	0,480	0,475	0,487	0,475	0,451	0,439	0,516	0,434	0,478 (± 0,034) <sup>1</sup>	-0,082
1027	0,442	0,420	0,416	0,420	0,424	0,416	0,421	0,464	0,426	0,428 (± 0,015)	-0,038
L2-4	0,798	0,784	0,798	0,819	0,819	0,809	0,809	0,829	0,834	0,811 (± 0,015)	0,005
L2-25	0,563	0,548	0,544	0,544	0,545	0,529	0,532	0,538	0,524	0,541 (± 0,011)	-0,014
L7-14	1,565	1,56	1,557	1,573	1,583	1,587	1,588	1,617	1,604	1,582 (± 0,019)	-0,013
L2-27	0,864	0,855	0,854	0,866	0,869	0,858	0,842	0,875	0,861	0,860 (± 0,009)	-0,014
L1-3 <sup>2</sup>	6,527	6,548	6,550	6,590	6,647	6,976	6,988	7,090	7,137	6,784 (± 0,243)	0,047
L3-5	0,013	0,056	0,052	0,058	0,058	0,097	-0,010	0,003	-0,016	0,035 (± 0,036)	-0,019
L2-26	3,517	3,524	3,509	3,562	3,635	3,656	3,694	3,799	3,835	3,637 (± 0,115)	0,036
L9-2	4,120	4,140	4,151	4,173	4,177	4,112	4,149	4,206	4,108	4,148 (± 0,031)	-0,098
L2-28	2,733	2,737	2,757	2,812	2,871	2,897	2,955	3,031	3,092	2,876 (± 0,123)	0,061
L9-1	5,645	5,678	5,689	5,708	5,709	5,685	5,702	5,749	5,666	5,692 (± 0,028)	-0,083
L3-15	2,980	3,013	3,520	3,632	3,722	3,787	3,851	3,947	4,021	3,608 (± 0,357)	0,074
L4-17	1,769	1,820	1,835	1,897	1,918	1,917	1,928	1,975	1,951	1,890 (± 0,064)	-0,024
L5-7	1,520	1,538	1,560	1,582	1,611	1,621	1,612	1,663	1,622	1,592 (± 0,043)	-0,041
L5-6	1,735	1,847	1,896	1,975	2,015	2,051	2,072	2,132	2,137	1,984 (± 0,128)	0,005
L3-3	2,910	2,913	2,921	2,953	2,996	3,001	3,068	3,057	3,128	2,994 (± 0,073)	0,071
L4-3	16,089	15,987	16,047	16,158	16,264	16,306	16,423	16,073	15,627	16,108 (± 0,215)	-0,446

<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.

Fuente: Elaboración propia

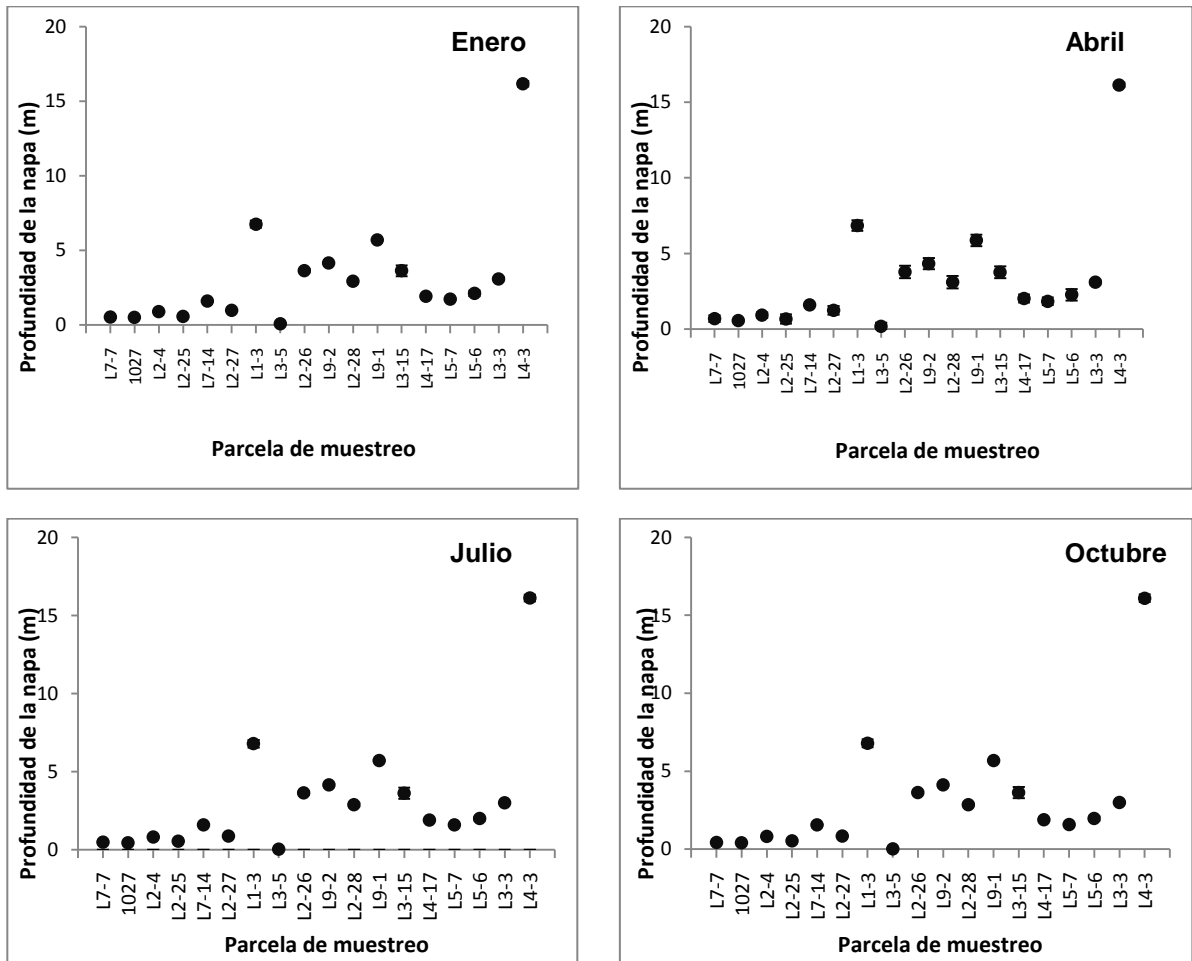
Tabla 5-9. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2015.

Parcela de monitoreo	Octubre									Profundidad promedio (m)	Tasa de variación
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
L7-7	0,405	0,408	0,408	0,404	0,419	0,414	0,441	0,420	0,438	0,417 (± 0,013) <sup>1</sup>	0,018
1027	0,394	0,371	0,395	0,385	0,394	0,407	0,428	0,425	0,425	0,403 (± 0,019)	0,000
L2-4	0,785	0,781	0,795	0,802	0,813	0,820	0,825	0,836	0,832	0,810 (± 0,019)	-0,004
L2-25	0,561	0,544	0,538	0,532	0,532	0,523	0,526	0,522	0,529	0,534 (± 0,012)	0,007
L7-14	1,540	1,527	1,526	1,534	1,545	1,564	1,580	1,584	1,596	1,551 (± 0,025)	0,012
L2-27	0,850	0,842	0,832	0,833	0,846	0,839	0,847	0,839	0,843	0,841 (± 0,006)	0,004
L1-3 <sup>2</sup>	6,525	6,543	6,541	6,594	6,634	6,976	7,021	7,085	7,149	6,785 (± 0,249)	0,064
L3-5	-0,001	0,052	0,052	0,036	0,037	0,070	-0,008	-0,013	-0,044	0,020 (± 0,036)	-0,031
L2-26	3,523	3,512	3,521	3,553	3,601	3,650	3,707	3,777	3,837	3,631 (± 0,113)	0,060
L9-2	4,087	4,111	4,117	4,131	4,127	4,113	4,126	4,165	4,083	4,118 (± 0,023)	-0,082
L2-28	2,715	2,707	2,729	2,784	2,838	2,895	2,944	3,013	3,075	2,856 (± 0,127)	0,062
L9-1	5,620	5,659	5,673	5,677	5,675	5,688	5,678	5,732	5,643	5,672(± 0,029)	-0,089
L3-15	2,980	3,019	3,544	3,638	3,719	3,807	3,883	3,955	4,032	3,620 (± 0,361)	0,077
L4-17	1,758	1,795	1,825	1,868	1,879	1,897	1,929	1,946	1,989	1,876 (± 0,070)	0,043
L5-7	1,479	1,522	1,538	1,557	1,582	1,593	1,614	1,614	1,615	1,568 (± 0,045)	0,001
L5-6	1,705	1,834	1,883	1,948	1,986	2,044	2,071	2,115	2,138	1,969 (± 0,134)	0,023
L3-3	2,895	2,909	2,914	2,949	2,973	3,011	3,076	3,084	3,13	2,993(± 0,081)	0,046
L4-3	15,992	15,989	16,113	16,197	16,237	16,342	16,398	16,012	15,522	16,089 (± 0,245)	-0,490

<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.

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-5. Variación de la profundidad de la napa, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2015.



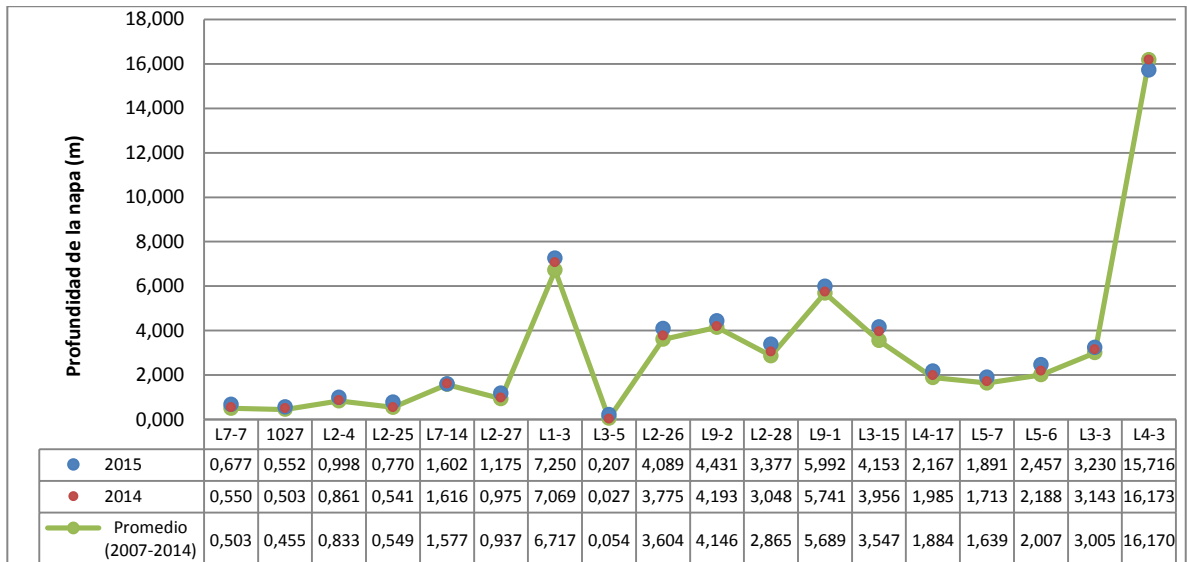
Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados expuestos en la Tabla 5-6 a Tabla 5-9 se desprende que para el mes de enero de 2015, sólo en las parcelas L4-3 y L7-7 se registró un descenso de la napa freática, los que alcanzaron 0,527 y 0,029 m respectivamente. Las mediciones de abril de 2015 mostraron que sólo en las parcelas L7-14 y L4-3 se registraron descensos de la napa, con valores de 0,365 m y 0,910 m. En julio de 2015 se presentaron las parcelas L9-2, L9-1 y L7-7, con una disminución significativa en la profundidad de la napa de 0,098 m, 0,083 m y 0,082 m, respectivamente. Para octubre de 2015, los principales descensos de la napa se observaron en las parcelas L4-3, L9-1 y L9-2, con valores de 0,490 m, 0,089 m y 0,082 m, respectivamente.

Respecto de la variación histórica de la profundidad de la napa freática, la Figura 5-6 muestra la comparación del valor promedio anual de las mediciones de 2015 para cada pozo de monitoreo, en relación al valor promedio registrado en el monitoreo del año anterior (2014) y al promedio histórico (2007 a 2014). Respecto del 2014, al aumento más importante en la profundidad de la napa se registró en las parcelas L2-26 y L2-28, con aumento de la napa de 0,314 y 0,329 m y el mayor descenso se registró en la parcela L4-3 con una disminución de 0,457 m. Respecto del valor promedio histórico (2007-2015), se registró un descenso significativo en la parcela L4-3 de 0,403 m y un aumento significativo en las parcelas L3-15 y L1-3, con crecidas de 0,606 m y 0,533 m, respectivamente. Para el resto de las parcelas de monitoreo, las mediciones realizadas en 2015 muestran una situación muy similar a la registrada el año anterior (2014) y en relación al promedio obtenido para el período 2007 a 2014.



**Figura 5-6. Promedio de profundidad de la napa freática para 2015 y su variación en las parcela de monitoreo, respecto del monitoreo del año anterior (2014) y promedio histórico (2007-2014).**



Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 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 Figura 5-10 muestra listado de especies monitoreadas.

**Tabla 5-10. Especies vegetales presentes en las 18 parcelas de monitoreo. Campañas de enero, abril, julio y octubre de 2015.**

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.

#### 5.3.1 Fenología

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

En el monitoreo realizado durante enero de 2015 se observó que un 44% de los individuos presentó sólo estado fenológico de crecimiento vegetativo; el 28,7% tuvo crecimiento vegetativo con floración; un 28,7% estaba en un estado fenológico senescente o recesivo; y un 4,2% presentó crecimiento vegetativo y fructificación.

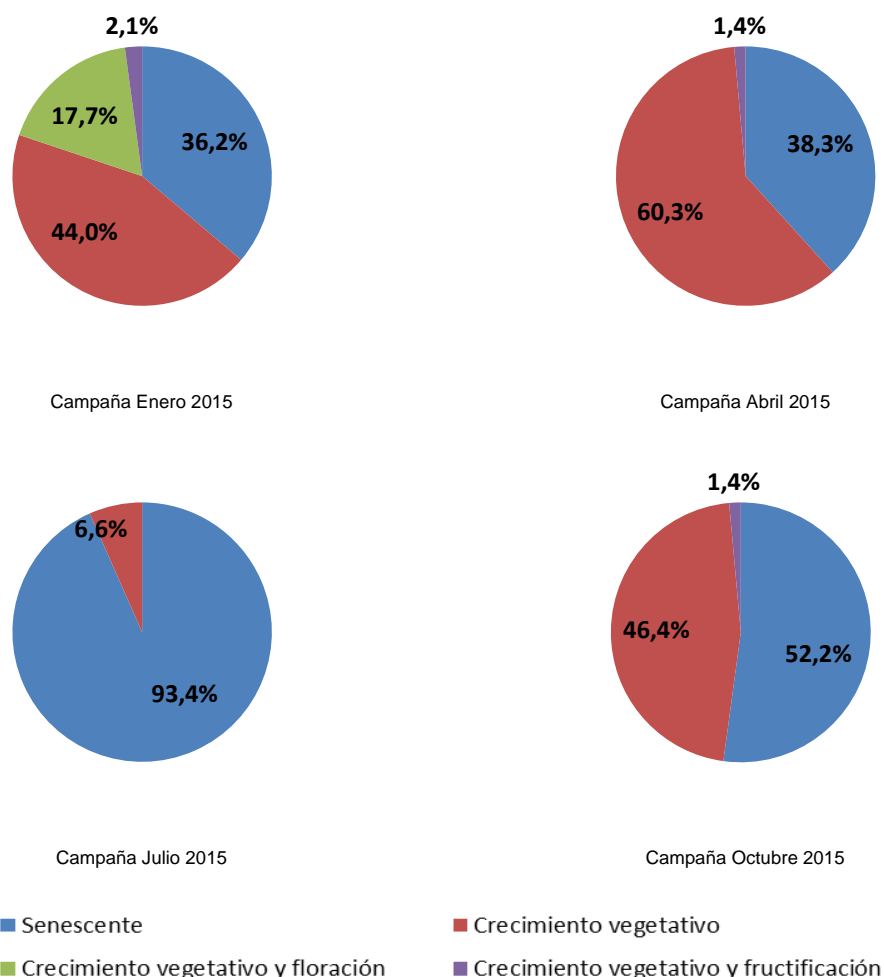


Para el mes de abril de 2015 la cantidad de individuos con crecimiento vegetativo aumento al 60,3%, disminuyeron los que se presentaron estado fenológico crecimiento vegetativo y fructificación a 1,4% y no se presentaron con estado fenológico en floración. Los individuos en estado recesivo o senescente se mantuvieron similares al monitoreo anterior con un 38,3%.

En el mes de julio de 2015 se aprecia un cambio en las proporciones de individuos por fase fenológica. Se aprecia que el 93,4% de los individuos ha iniciado la fase fenológica recesiva invernal o senescente; mientras que el 6,6 % de los ejemplares tuvo crecimiento vegetativo; no se registró presencia de flores ni frutos en esta fecha. El resultado indica que para los monitoreos de enero y abril ocurre la máxima expresión fenológica de los individuos, comenzando antes del monitoreo de junio la etapa senescente o recesiva de las plantas.

Para el mes de octubre de 2015, se inicia el crecimiento vegetativo de los ejemplares, reduciéndose la cantidad de individuos en estado fenológico en receso invernal o senescencia al 52,1%; aumentando a 46,4% la cantidad de individuos con crecimiento vegetativo. En este periodo se inicia la formación de nuevas estructuras, observando su máxima expresión en los monitoreos posteriores, presentándose sólo un 1,4 % de los individuos en crecimiento vegetativo y fructificación.

Figura 5-7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2015



Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2 Vigor

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

En el mes de enero de 2015 el 17,7% de los individuos fue clasificada como vigorosa y el 41,1% con crecimiento normal y sin signos de patógenos; mientras que, el 5,0% de las plantas se observó débil; y el 36,2% como plantas en un estado recesivo o senescente.

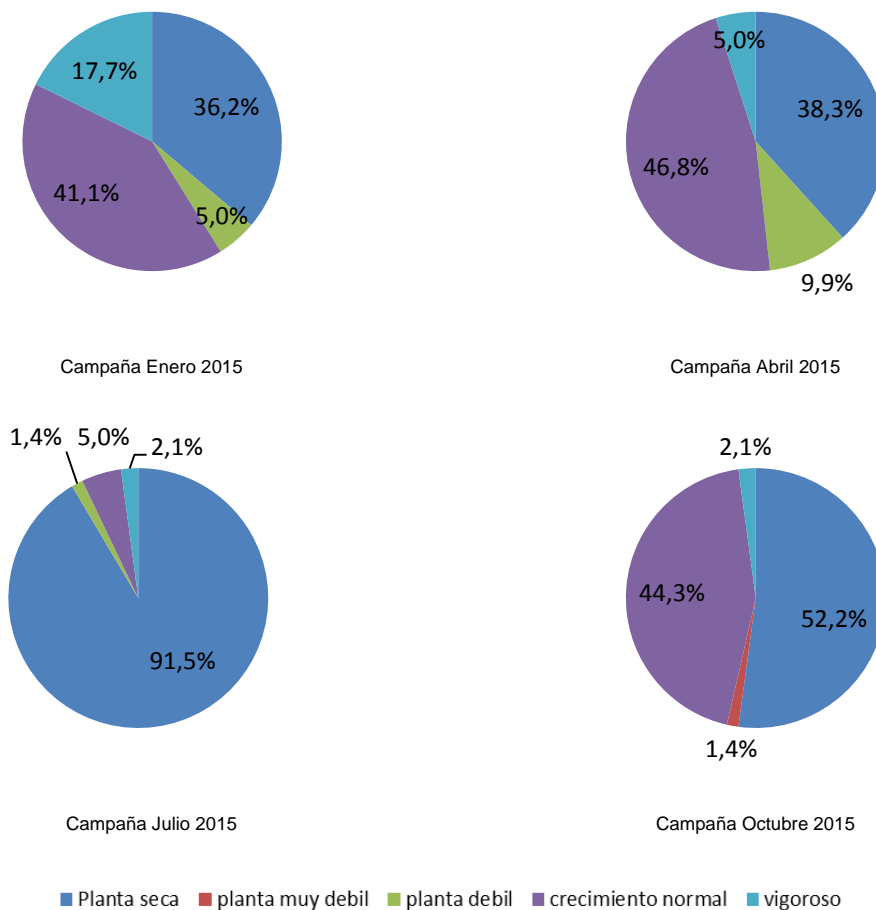
En abril de 2015 se observó que un 5% de los individuos estuvieron vigorosos; el 46,8% con crecimiento normal; el 9,9% se observó débil y el 38,3% fue clasificada en un estado recesivo o senescente.

En julio de 2015 sólo el 5% de los individuos presentan crecimiento normal. De los restantes el 91,4% de los ejemplares se clasificaron como recesivos o senescentes, un 1,4% fue clasificado como débil y un 2,1 % como vigoroso.



Para octubre de 2015 las plantas ya finalizaron el proceso de recesión invernal, observando un cambio en el vigor respecto del monitoreo anterior. Un 1% de los individuos presentó un estado vigoroso, el 45% crecimiento normal, el 53% fue clasificado en estado recesivo o senescente y un 1% fue clasificado como muy débil.

**Figura 5-8. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2015**



Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3 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 encuentra en el Anexo I Estado vital de la vegetación.

En enero de 2015 el 11,3% de los individuos presento entre el 75 a 100% de su follaje verde, el 13,5% entre el 50 a 75% y el 22,7% de los individuos entre el 25 a 50%. El 14,9% de los individuos tuvo entre el 5 a 25% de su follaje verde, y el 0,7% menos del 5% de follaje verde. Hubo un 29,1% de individuos sin follaje verde.

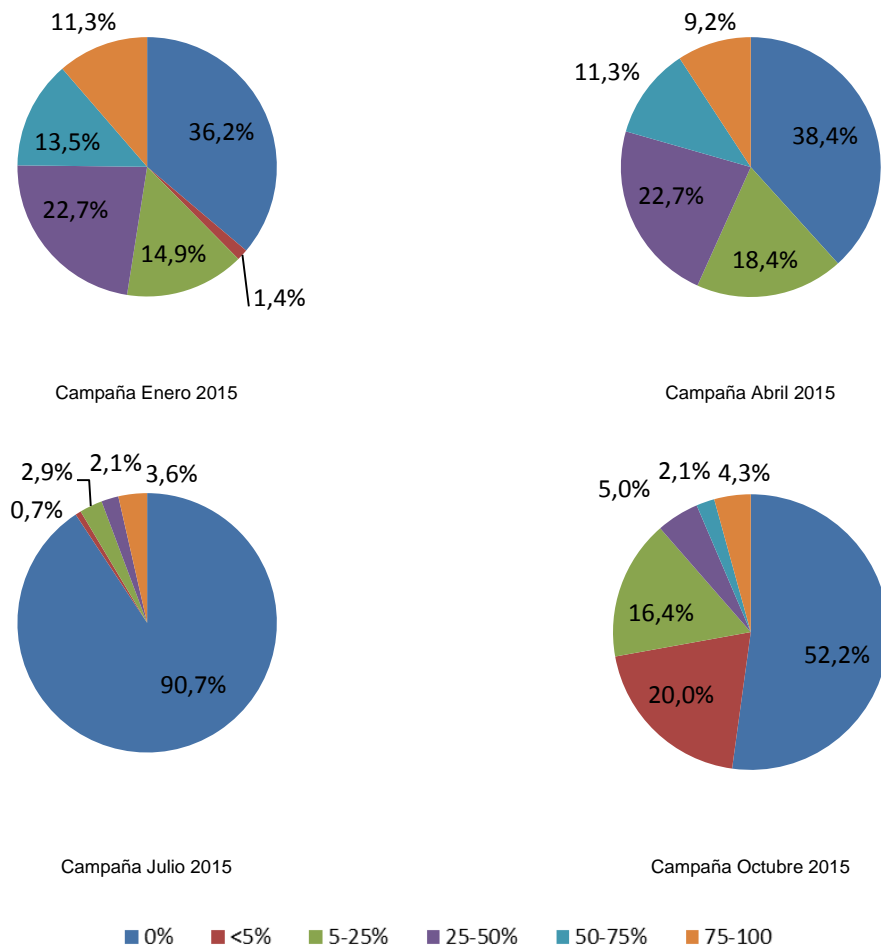
Para abril de 2015 el 9,2% de los individuos tuvo entre el 75 a 100% de su follaje verde, el 11,3% entre el 50 a 75% y el 22,7% de los individuos entre el 25 a 50%. El 18,4% de los individuos tuvo entre el 5 a 25% de su follaje verde. Hubo un 38,3% de individuos sin follaje verde.



Para la campaña de julio de 2015 un 3,6% presento entre un 75 a 100% de follaje verde, 2,1%, presento un 25 a 50% de su follaje verde, la categoría 5 a 25% de follaje verde está representada con un 2,9% de los individuos muestreados. La mayoría de los individuos muestreados un 90,7% y debido a que se encuentran en el periodo recesivo de invierno no presentan follaje verde.

Para la campaña de octubre de 2015, al igual que con los otros parámetros utilizados para evaluar el estado vital de la vegetación, se aprecia que la recesión invernal de las plantas va en retroceso y comienza el aumento del follaje verde. El 4% de los individuos tuvo un porcentaje de follaje verde que varió entre 75 a 100%; el 2% varió entre un 50 a 75% de follaje verde; el 5% entre 25 a 50%; el 17% entre 5 a 25% y el 20% fue menor a 5%. Un 52% de los individuos no presentaron follaje verde, ya sea por senescencia o receso invernal.

**Figura 5-9. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2015**



Fuente: Elaboración propia



## 5.4 Variación interanual de la vitalidad de la vegetación

### 5.4.1 *Atriplex atacamensis*

La Figura 5-10 (A) representa el comportamiento del follaje verde en *Atriplex atacamensis*. De la figura se destaca lo siguiente:

- Enero 2015: Se aprecia el aumento total de los individuos con un follaje verde en el rango 75 a 100% y una disminución en los individuos en las categorías 25 a 50% y 50 a 75%, respecto de al año anterior y se presenta similar a los años antecesores. Desde el año 2013 se mantiene la proporción de individuos sin desarrollo de hojas (0%)
- Abril 2015: Se aprecia aumento de los individuos con follaje verde en el rango 75 a 100%, disminuyendo fuertemente la proporción de individuos con follaje verde entre 50 a 75%. Se mantiene la cantidad de ejemplares sin desarrollo de hojas desde el año 2013.
- Julio 2015: Los monitoreos muestran que la especie tiende a perder estructuras verdes durante el invierno, observando una disminución de los ejemplares con follaje verde que van desde 25 a 50% hasta 75 a 100%. Aparecen en este monitoreo los individuos con follaje verde de 5-25%, que ha sido variable cada año y aparecen individuos sin desarrollo de hojas los que no se presentan en el año anterior 2014.
- Octubre 2015: Se mantiene la misma proporción de ejemplares con desarrollo de follaje verde que los años anteriores 2013 y 2014.

La Figura 5-10 (B) muestra el vigor de la especie registrado para todos los monitoreos. Al respecto se puede mencionar:

- Enero 2015: Al comparar los monitoreos se aprecia la disminución de los individuos vigorosos y aumentando los de crecimiento normal. Por otra parte, se mantiene la cantidad de individuos con follaje seco desde 2013.
- Abril 2015: Al igual que en el periodo anterior hay una disminución de los individuos con crecimiento vigoroso, aumentando la cantidad de individuos con crecimiento normal. A su vez, el número de individuos recesivos o secos se mantuvo respecto a los años anteriores 2013 y 2014.
- Julio 2015: Se identificaron individuos vigorosos en este monitoreo, lo que cambia la tendencia de los años 2010 a 2012. Se presentan en menor proporción individuos de crecimiento normal y plantas secas.
- Octubre 2015: Se presentan individuos con vigor normal lo que es habitual en los monitoreos anteriores y se mantiene la proporción de individuos secos respecto al 2014.

La Figura 5-10 (C) presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares de *Atriplex atacamensis* monitoreados. De la figura se extrae:

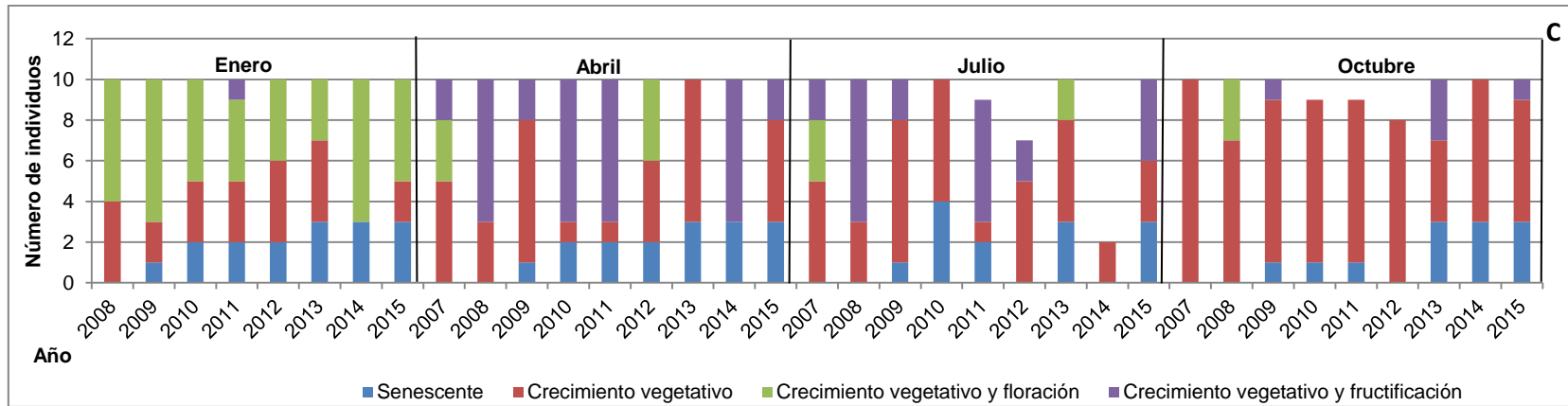
- Enero 2015: Se presentan individuos con fenología crecimiento vegetativo y floración, crecimiento vegetativo y senescente, como se presenta comúnmente en los años anteriores, sin embargo existe una clara disminución de los individuos con crecimiento vegetativo.
- Abril 2015: El año 2015 disminuye la cantidad de individuos con fructificación presentándose individuos sólo con crecimiento vegetativo. Se mantiene la cantidad de ejemplares senescentes de los años anteriores 2013 y 2014.
- Julio 2015: Se presentan individuos con fructificación a diferencia del año anterior pero como se presentaba habitualmente en los monitoreos desde el año 2007.

- Octubre 2015: Es común para este mes identificar solo ejemplares en crecimiento vegetativo y algunos senescentes, en contraste con el año 2014, se identificaron individuos en estado de fructificación.

Figura 5-10. *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 2015.



Figura 5-10. *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 2015.



Fuente: Elaboración propia



#### 5.4.2 *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 (ya que la mayoría no se encuentran marcados) durante las campañas de terreno. Dada la capacidad de rebrote desde su raíz rastrera, esta especie tiende eliminar la biomasa aérea en seguimiento, rebrotando en otro lugar a la temporada siguiente. El comportamiento del porcentaje de follaje verde de *D. spicata* se presenta en la Figura 5-11 (A), en la cual se aprecia:

- Enero 2015: El número de individuos con follaje verde entre 75 a 100% aumento desde el año 2013. Disminuyó el número de ejemplares con follaje verde entre 50 a 75% respecto al año 2014 y el porcentaje de individuos sin follaje se presentó mayor al promedio de años anteriores.
- Abril 2015: Se presenta una baja cantidad de individuos con follaje verde de 75 a 100% lo que es habitual respecto a lo monitoreado en años anteriores.
- Julio 2015: Se aprecia el fuerte receso invernal de la especie. En todos los años es frecuente observar que las plantas no presentan follaje verde. Sin embargo, en el monitoreo de 2013 se identificó a un ejemplar con una proporción de follaje verde entre 75 a 100%, algo similar ocurre con el monitoreo del 2015 presentándose un ejemplar con follaje verde de 75 a 100%.
- Octubre 2015: La especie sale del receso invernal, por lo cual se aprecian ejemplares con follaje verde de 75 a 100%, lo que no se aprecia en los años anteriores, la cantidad de ejemplares sin follaje se mantiene desde el año 2013.

Respecto al vigor se observa en la Figura 5-11 (B) lo siguiente:

- Enero 2015: En los monitoreos realizados los ejemplares siempre han mostrado un vigor clasificado como normal. Desde el año 2013 se prestan individuos vigorosos tendencia que se mantiene el año 2015 sobrepasando la cantidad de individuos con crecimiento normal.
- Abril 2015: Lo habitual en años anteriores era la presencia exclusiva de individuos con crecimiento normal, sin embargo desde el año 2014 se presentan ejemplares en estado senescente.
- Julio 2015: Para este monitoreo es habitual que la especie entre en un periodo de recesión invernal, eliminando su estructura aérea. En el monitoreo se identificó, al igual que 2012 y 2014 un individuo con crecimiento normal.
- Octubre 2015: Los individuos registran un crecimiento normal generalmente presentándose los dos últimos años de monitoreo un individuo senescente.

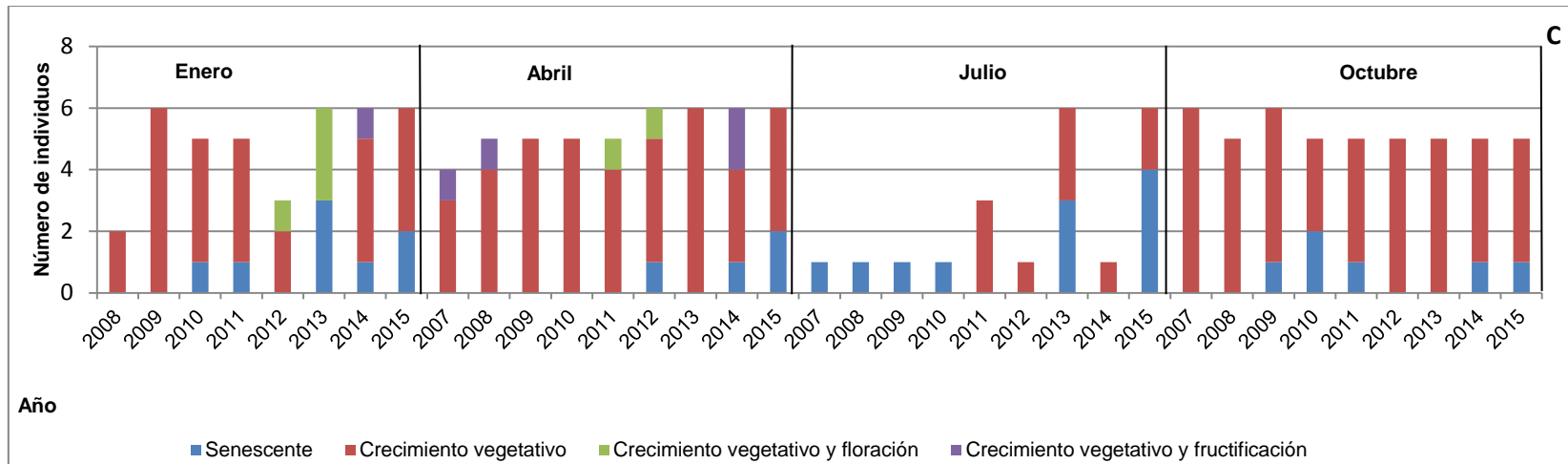
La fenología de *D. spicata* se presenta en la Figura 5-11 (C).

- Enero 2015: Se presentó la misma tendencia de los años 2008 a 2011, con la mayoría de los ejemplares en crecimiento vegetativo.
- Abril 2015: Se presenta como es la tendencia en los monitoreos anteriores un gran porcentaje de los ejemplares con crecimiento vegetativo.
- Julio 2015: Como es lo habitual en este mes de receso invernal la mayoría de los ejemplares estaba en el estado fenológico recesivo o senescente, sin embargo como se presenta desde el año 2011 se registra también la presencia de ejemplares con crecimiento vegetativo.
- Octubre 2015: En este monitoreo al igual que el de años anteriores la mayor cantidad de los individuos monitoreados se presentaban en crecimiento vegetativo.

Figura 5-11. *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 2015.



Figura 5-11. *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 2015.



Fuente: Elaboración propia

### 5.4.3 *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 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 5-12 (A) y se comentan a continuación:

- Enero 2015: El follaje verde de los individuos monitoreados varía entre 75 a 100%, similar a lo observado desde el año 2012.
- Abril 2015: Desde el año 2011 se ha registrado que el follaje verde de los individuos varía entre 75 a 100%, para el año 2014 se observa que uno de los individuos monitoreados se encuentra en la categoría de entre 25 a 50% de follaje verde, esto mejora el presente monitoreo presentándose un individuo con follaje verde de 50-75%.
- Julio 2015: En esta época la especie se encuentra en un estado recesivo eliminando las estructuras verdes.
- Octubre 2015: Se aprecia un buen porcentaje de follaje verde en los ejemplares pasado el periodo recesivo, condición que similar al año 2012.

De los resultados del vigor de la especie que se muestran en la Figura 5-12 (B), se extrae:

- Enero 2015: La tendencia en los monitoreo anteriores es el estado crecimiento normal de los ejemplares, sin embargo en este año se presenta un individuo vigoroso.
- Abril 2015: Como es lo habitual los ejemplares monitoreados se presentan con crecimiento normal.
- Julio 2015: En julio los individuos comienzan con su periodo recesivo, por lo cual se han registrado como secos.
- Octubre 2015: Al igual que en el mes de enero en este monitoreo pasado el periodo recesivo se presenta un ejemplar vigoroso.
- 

Respecto a las observaciones del monitoreo de la fenología (Figura 5-12 (C)), se comenta lo siguiente:

- Los ejemplares monitoreados presentaron un crecimiento vegetativo en los meses de enero, abril y octubre, y un estado recesivo o senescente en el mes de julio. Todos los estados fenológicos coinciden con lo observado en años anteriores.

Figura 5-12. *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 2015.

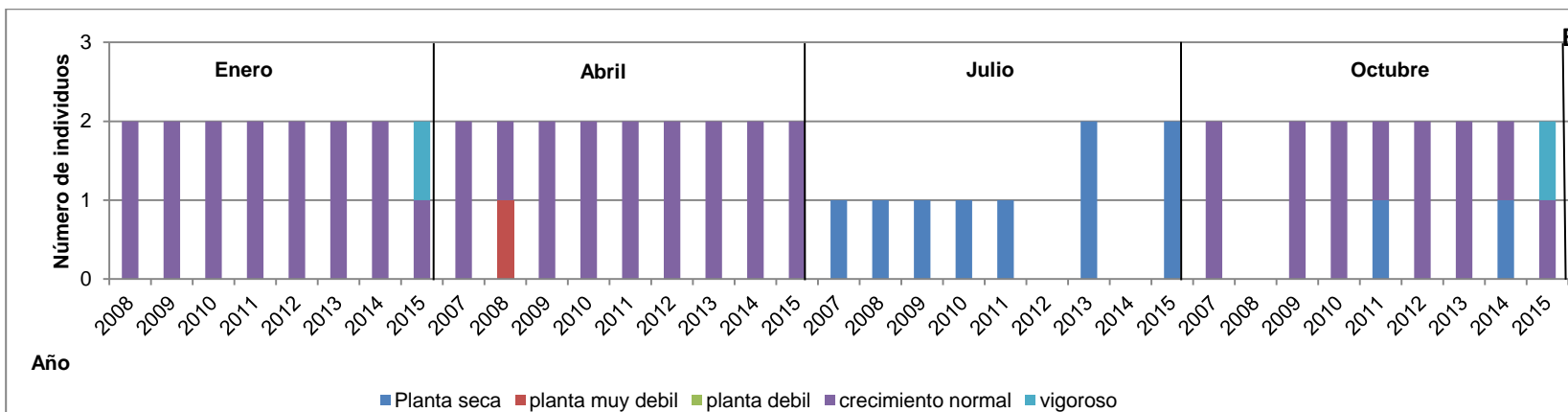
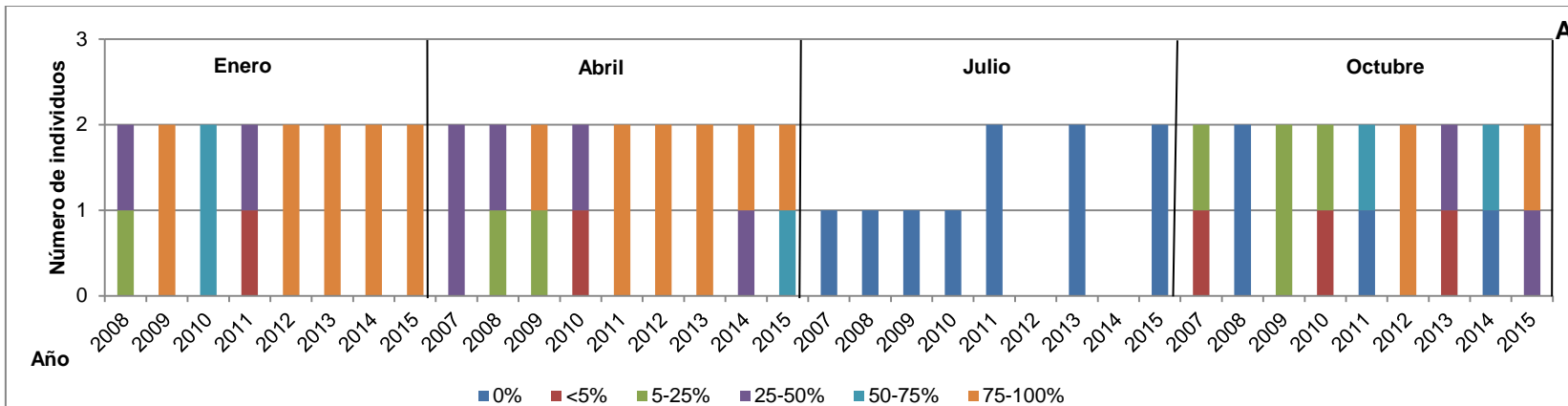
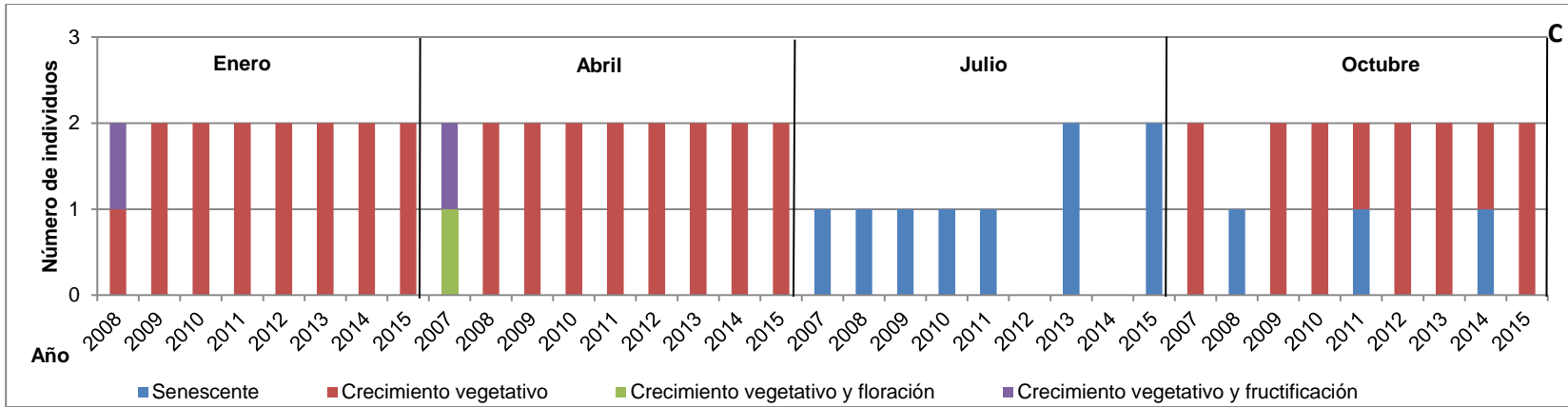


Figura 5-12. *Nitrophilla atacamensis*: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2015.



Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.4 *Tessaria absinthioides*

La Figura 5-13 (A) representa el comportamiento del follaje verde de en *Tessaria absinthioides*. De la figura se destaca lo siguiente:

- Enero 2015: Respecto a los monitoreos anteriores el follaje verde de las categorías mayores a 50%, han disminuido levemente, incrementándose el número de ejemplares con menor a 5% de follaje verde y sin follaje.
- Abril 2015: El monitoreo 2015 presenta resultados que varían respecto al año anterior, donde la mayor parte de los individuos presenta una proporción de follaje verde inferior al 25%. Al comparar con el año 2007, se aprecia que han aumentado los ejemplares en estado recesivo o sin follaje verde.
- Julio 2015: Al igual que en los monitoreos anteriores los ejemplares en su mayoría se encuentran en estado recesivo.
- Octubre 2015: Los ejemplares finalizan el periodo recesivo y se muestra una escasa formación de estructuras verdes. En todos los monitoreos se observa una concentración de los individuos entre los estados recesivo o con proporciones de follaje verde inferiores al 25%.

La Figura 5-13(B) muestra el vigor de la especie para todos los monitoreos, de lo cual se extrae:

- Enero 2015: En general las plantas presentan un crecimiento normal, aunque en los últimos años se ha visto que algunas de las plantas monitoreadas, presentan un estado vigoroso. El grupo de plantas en estado recesivo o seco, ha aumentado desde el año 2008.
- Abril 2015: Disminuye la presencia de ejemplares vigorosos y aumenta el número de ejemplares clasificados como planta seca o recesivo.
- Julio 2015: Los ejemplares se encuentran en receso invernal.
- Octubre 2015: Los ejemplares finalizan su periodo recesivo invernal, iniciando la formación de nuevas estructuras. En casi todos los años hay un gran número de ejemplares calificados como recesivos o secos.

En la Figura 5-13 (C) presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares monitoreados. Al respecto:

- Enero 2015: Durante este monitoreo es frecuente observar a algunos ejemplares en estado de floración y otros en crecimiento normal. Los ejemplares en estado de recesión o senescencia han aumentado en los últimos años.
- Abril 2015: En este periodo los ejemplares se encuentran en su mayoría en crecimiento vegetativo, sin embargo ha ido en aumento la presencia de individuos senescente desde el año 2008.
- Julio 2015: Los ejemplares se encuentran en receso invernal.
- Octubre 2015: Los ejemplares salen de su periodo recesivo y comienzan con el crecimiento vegetativo.

Figura 5-13. *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 2015.

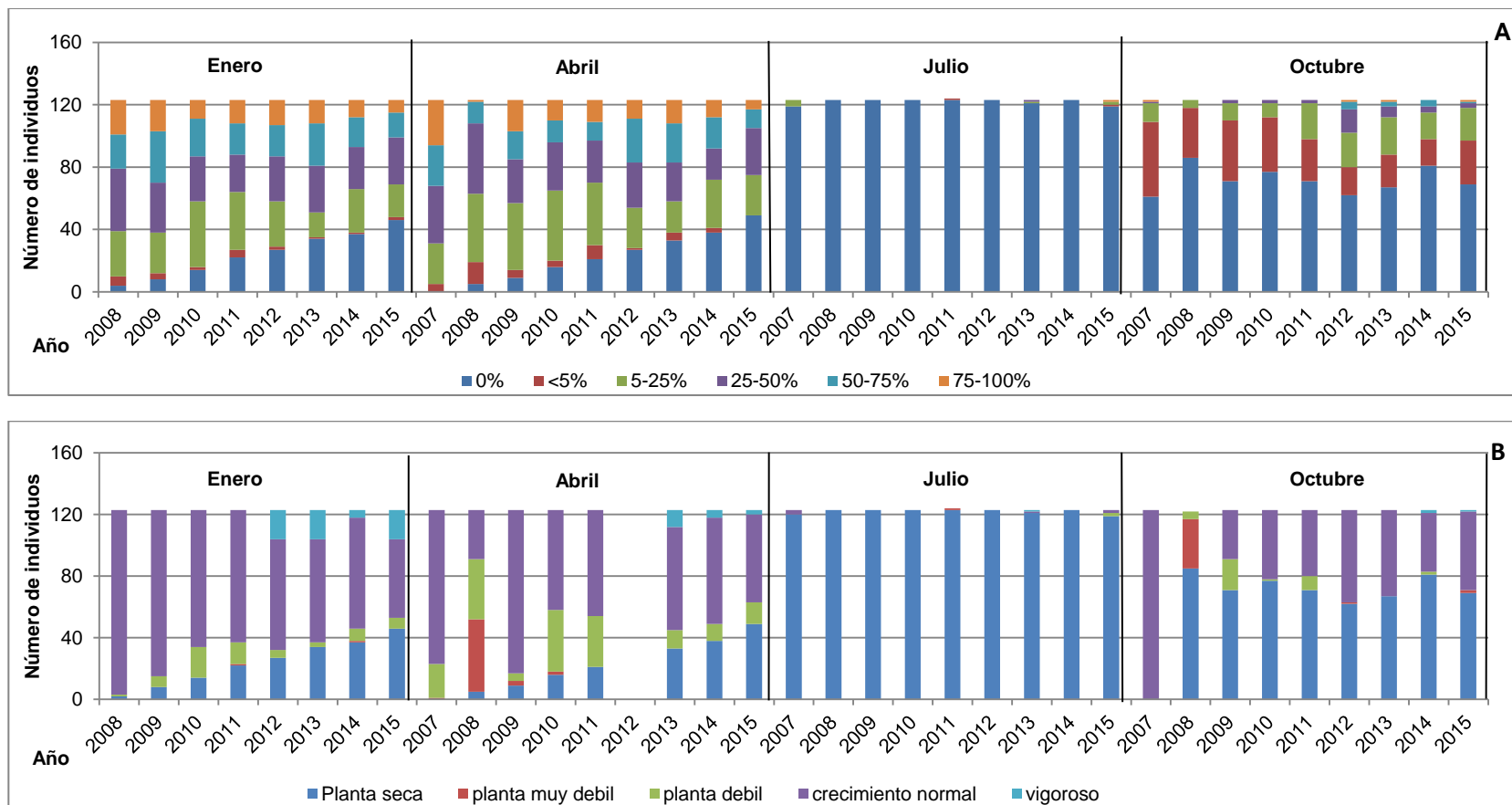
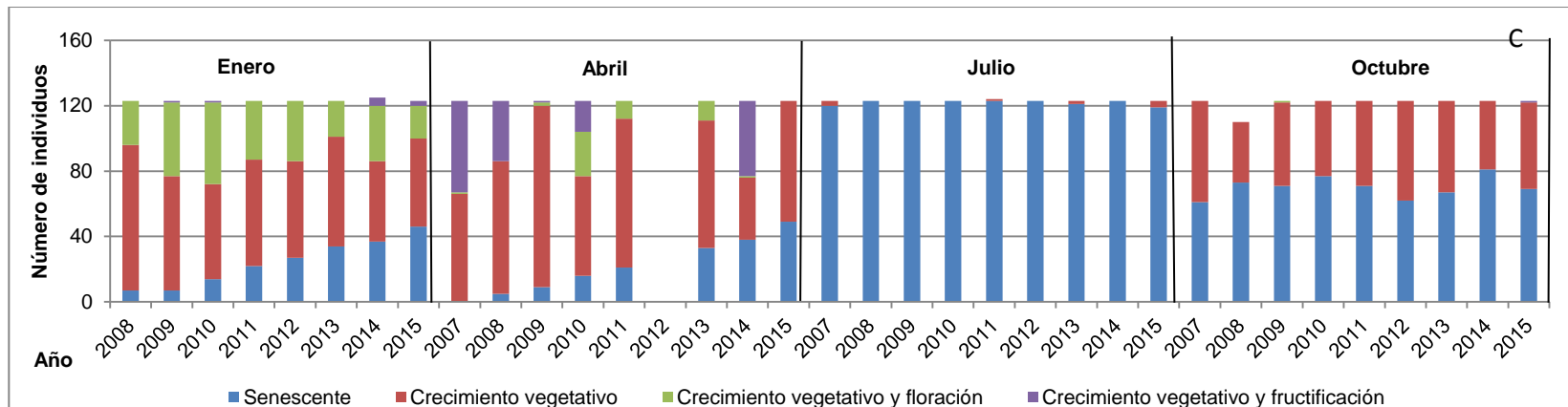




Figura 5-13. *Tessaria absinthioides*: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2015.



Fuente: Elaboración propia

## 6. DISCUSIONES

En el monitoreo del año 2015, la mayoría de las parcelas registró un aumento en el contenido de humedad en los meses de monitoreo correspondientes a abril y julio.

De acuerdo a su distribución espacial las parcelas ubicadas al oeste y más cercanas al núcleo del salar presentan un mayor contenido de humedad con valores que bordean los 0,5 g/g y las parcelas ubicadas hacia el este en general presentan valores menores a 0,1 g/g. Lo anterior obedece a la estructura del suelo más que a su ubicación, dado que un estudio edafológico realizado durante la etapa pre-operacional, determinó que la textura de las parcelas ubicadas al este, era arenosa a franco arenosa, sin formación de estructura, lo que se traduce en perfiles con una baja capacidad de retener y mover agua.

La profundidad de la napa durante el año 2015 tuvo una variación mínima en todas las parcelas monitoreadas. La profundidad promedio de la napa en las parcelas ubicadas al oeste se presenta alrededor de los 0,9 metros siendo menor a las presentadas al este, donde se registra alrededor de los 2,7 metros de profundidad.

En general la variabilidad interanual del contenido de humedad y profundidad de la napa ha sido baja a través de los años de monitoreo, mostrando un leve aumento de los valores de contenido de humedad y profundidad de la napa el año 2015 respecto a lo presentado para el año 2014.

El monitoreo a la fenología de la vegetación indica que en enero, abril y octubre del año 2015 ocurre el máximo de crecimiento vegetativo. En esos meses, alrededor del 50% de la vegetación presentó sólo crecimiento vegetativo. Por otra parte, en Enero se observó la máxima floración con un 18% de los individuos en aquel estado.

Respecto al vigor, los ejemplares logran su mayor expresión entre los monitoreos de enero y abril, donde se observa un grupo de ejemplares (5 a 18%) con apariencia vigorosa y otro con crecimiento normal (42 a 47%). En julio, se aprecia un amplio número de plantas en la categoría más baja de vigor (91,4%), lo cual está relacionado con el ingreso a la etapa de receso invernal.

Coincidente con el vigor, la mayor cantidad de individuos en las categorías superiores de follaje verde se observan en los meses de enero y abril. En julio, durante el periodo recesivo, las plantas caducas pierden follaje, el cual se comienza a recuperar para la campaña de octubre. De los ejemplares monitoreados, hay un grupo de especies perenne, por lo que no tiene pérdida de follaje.

Los resultados del monitoreo a *Atriplex atacamensis* muestran que los ejemplares bajo monitoreo con follaje verde en la categoría 75 a 100% se han mantenido en los distintos años de monitoreo, y se ha observado la aparición y leve aumento de los ejemplares sin follaje verde desde el año 2013. Respecto al vigor de los ejemplares en los últimos años de monitoreo se han registrado individuos vigorosos a diferencia de los primeros años. La fenología muestra un aumento de individuos con crecimiento vegetativo y fructificación y floración incluso en el periodo recesivo.

Del seguimiento a ejemplares de *Distichlis spicata* se extrae que el follaje verde de los ejemplares alcanza su máximo desarrollo en los meses de enero y abril. En julio, la especie comienza su receso vegetativo eliminando hojas y aparentando estar seca. En octubre se inicia nuevamente la producción de biomasa. El vigor de los ejemplares monitoreados es normal a vigoroso durante todo el año, excepto en el monitoreo de julio que es cuando la especie entra en su periodo recesivo. Es habitual observar la especie en el estado fenológico de crecimiento vegetativo.

El seguimiento a la especie *Nitrophilla atacamensis* muestra que la mayor proporción de follaje verde se aprecia entre enero y abril; mientras que, en julio se pierde por el ingreso a la fase recesiva de la planta y

se observa la formación de nuevas estructuras octubre. El crecimiento de los ejemplares monitoreados es normal y vigoroso, excepto durante el periodo de recesivo. Durante los últimos años de monitoreo, la especie sólo ha registrado crecimiento vegetativo en los monitoreos de enero, abril y octubre.

Por último, para *Tessaria absinthioides*, ejemplares logran su mayor proporción de follaje verde en los meses de enero y abril. En esos meses, también se aprecia que a partir de 2008, hay un incremento de ejemplares que no desarrollan follaje verde. En el mes de julio ocurre la recesión o senescencia de los ejemplares, los cuales comienzan a formar nuevamente sus estructuras en el mes de octubre. El vigor de los ejemplares monitoreados es de crecimiento normal, con presencia de escasos ejemplares vigorosos. En cuanto a la fenología, durante el mes de enero se está produciendo la floración de la especie. Históricamente era en abril cuando se detectaba la formación de frutos en la especie, cosa que actualmente no se ha registrado.

El monitoreo sobre las especies arbustivas, en particular sobre individuos de *Tessaria absinthioides*, indican en los últimos años de monitoreo un aumento en la presencia de individuos senescentes y sin desarrollo de estructuras reproductivas, sin embargo las observaciones de terreno indican que las parcelas monitoreadas en general presentan una gran proporción de individuos con brotes verdes. Por lo tanto, lo anterior podría responder a que los individuos marcados para propósitos del monitoreo ya han cumplido su ciclo vital, el que para la especie *Tessaria absinthioides* se establece alrededor de los 10 a 15 años<sup>1</sup>, reflejando así que el aumento de individuos senescentes no responde a una variación en el contenido de humedad del suelo, si no más bien al fin del ciclo natural de los individuos monitoreados.

<sup>1</sup> <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/shrub/bacpil/all.html>

## 7. CONCLUSIONES

Los resultados del contenido de humedad documentados en los cuatro monitoreos realizados el año 2015 muestran que el mayor contenido de humedad se registra en general en las parcelas que se encuentran ubicadas al oeste y más cercanas al núcleo del salar. En relación al periodo de monitoreo se observa una cierta tendencia a un aumento del contenido de humedad en los meses de abril y julio.

Las parcelas ubicadas al oeste presentan una mayor variación a lo largo del año, siendo las parcelas ubicadas en el centro las que presentan un contenido de humedad más regular.

Respecto a la profundidad de la napa durante el año 2015 los mayores valores de profundidad se presentaron frecuentemente en el mes de abril. Respecto a su ubicación espacial no queda claro que exista una tendencia siendo las parcelas ubicadas al centro las que en su mayoría presentan mayor profundidad de la napa.

Existe una relación logarítmica decreciente entre el contenido de humedad y la profundidad de la napa por mes de monitoreo, indicando que para gran parte de las parcelas de monitoreo, la profundidad de la napa tiene un efecto significativo sobre el contenido de humedad gravimétrico del suelo.

Respecto a la variación interanual del contenido de humedad las parcelas que están ubicadas al oeste son las que presentan mayor contenido de humedad y también una mayor variabilidad a través de los años. Sin embargo más que por su ubicación los contenidos de humedad están influenciados por la textura del suelo, siendo los suelos arcillosos los que poseen una mejor capacidad para retener el agua. Los resultados del año 2015 en general presentan mayor contenido de humedad que el año 2014, pero menor contenido de humedad que el promedio del año 2007 a 2015.

En general la vitalidad de la vegetación presenta mayores porcentajes de follaje verde, plantas más vigorosas y presencia de estructuras reproductivas los meses de monitoreo correspondientes a enero y octubre, previo y posterior al periodo recesivo invernal.

Respecto al análisis interanual de la vitalidad de la vegetación destaca por un leve aumento de la presencia de ejemplares senescentes respecto a los años anteriores.

## 8. REFERENCIAS

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