

Informe Anual

Monitoreo Contenido de Humedad del Suelo 2014

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

SQM Salar S.A.

Preparado por Geobiota

SQM398

Marzo 2015

PROYECTO		Monitoreo Contenido de Humedad del Suelo 2014			SQM398 – Rev.0
REV	ID	EJECUTOR	REVISOR	APRUEBA	DESCRIPCIÓN
B	NOMBRE				
	FECHA				
0	NOMBRE	RC / FW	XA / PP	PP	
	FECHA	03-03-2015	05-03-2015	05-03-2015	

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	—	INTRODUCCIÓN	1
2	—	METODOLOGÍA	2
	2.1	— Diseño Muestral.....	2
	2.2	— Contenido de humedad gravimétrico del suelo	3
	2.2.1	— Determinación de peso húmedo (PH) de las muestras	4
	2.2.2	— Secado y determinación del peso seco (PS) de las muestras	5
	2.2.3	— Cálculo del contenido de humedad gravimétrico del suelo	5
	2.3	— Profundidad de la napa subterránea	6
	2.4	— Estado vital de la vegetación	7
3	—	RESULTADOS	9
	3.1	— Contenido de humedad del suelo y profundidad de la napa	9
	3.2	— Variación interanual del contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa ..	12
	3.3	— Estado vital de la vegetación	26
	3.3.1	— Fenología	27
	3.3.2	— Vigor.....	28
	3.3.3	— Porcentaje de follaje verde	30
	3.4	— Variación interanual de la vitalidad de la vegetación.....	32
	3.4.1	— <i>Atriplex atacamensis</i>	32
	3.4.2	— <i>Distichlis spicata</i>	36
	3.4.3	— <i>Nitrophilla atacamensis</i>	39
	3.4.4	— <i>Tessaria absinthioides</i>	42
4	—	CONCLUSIONES	45
	4.1	— Contenido de humedad y profundidad de la napa	45
	4.2	— Vitalidad de la vegetación	45
	4.2.1	— General	45
	4.2.2	— Análisis interanual	46
5	—	BIBLIOGRAFÍA.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Ubicación de las parcelas de monitoreo (UTM Datum PSAD 56) y especies vegetales presentes.....	3
Tabla 2-2. Profundidad del estrato con presencia de raíces	4
Tabla 2-3. Categorías de porcentaje de follaje verde	7
Tabla 2-4. Categorías de vigor	7
Tabla 2-5. Fases fenológicas	8
Tabla 3-1. 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 2014.....	9
Tabla 3-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de enero, durante el periodo 2008 a 2014.	13
Tabla 3-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Abril, durante el periodo 2007 a 2014.....	14
Tabla 3-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2014.....	15
Tabla 3-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2014.	16
Tabla 3-6. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Enero, durante el periodo 2008 a 2014.	21
Tabla 3-7. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Abril, durante el periodo 2008 a 2014.....	22
Tabla 3-8. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2014.....	23
Tabla 3-9. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2014.	24
Tabla 3-10. Especies vegetales presentes en las 18 parcelas de monitoreo. Campañas de enero, abril, julio y octubre de 2014.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Ubicación de parcelas de monitoreo	2
Figura 2-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo	5
Figura 2-3. Pozómetro utilizado para la medición de profundidad de la napa (A) y esquema del proceso de medición en un pozo (B).	6
Figura 2-4. Medición del estado vital de la vegetación.....	8
Figura 3-1. 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 2014	10
Figura 3-2. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2014.....	11
Figura 3-3. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2014.....	18

Figura 3-4. Promedio del contenido de humedad de suelo para 2014 y su variación en las parcelas de monitoreo, respecto del monitoreo del año anterior (2013) y promedio histórico (2007-2014).	19
Figura 3-5. Variación de la profundidad de la napa, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2014	25
Figura 3-6. Promedio de profundidad de la napa freática para 2014 y su variación en las parcela de monitoreo, respecto del monitoreo del año anterior (2013) y promedio histórico (2007-2014).	26
Figura 3-7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2014.....	27
Figura 3-8. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2014	29
Figura 3-9. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2014	31
Figura 3-10. <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 2014.	34
Figura 3-11. <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 2014.	37
Figura 3-12. <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 2014.	40
Figura 3-13. <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 2014.	43

ANEXOS

ANEXO I – Estado Vital de la Vegetación.

ANEXO II – Registro de Precipitaciones mensuales periodo 2007-20014.

1 — 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 2014. 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 Ambiente¹ 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 y Camar 2). Para tales efectos, el Plan de Seguimiento contempla la medición simultánea en 18 puntos de muestreo (Figura 2-1) 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 cinco informes operacionales anuales (2009, 2010, 2011, 2012 y 2013), que compilan los monitoreos de los meses de Enero, Abril, Julio y Octubre. El presente informe corresponde a la sexta entrega del periodo operacional.

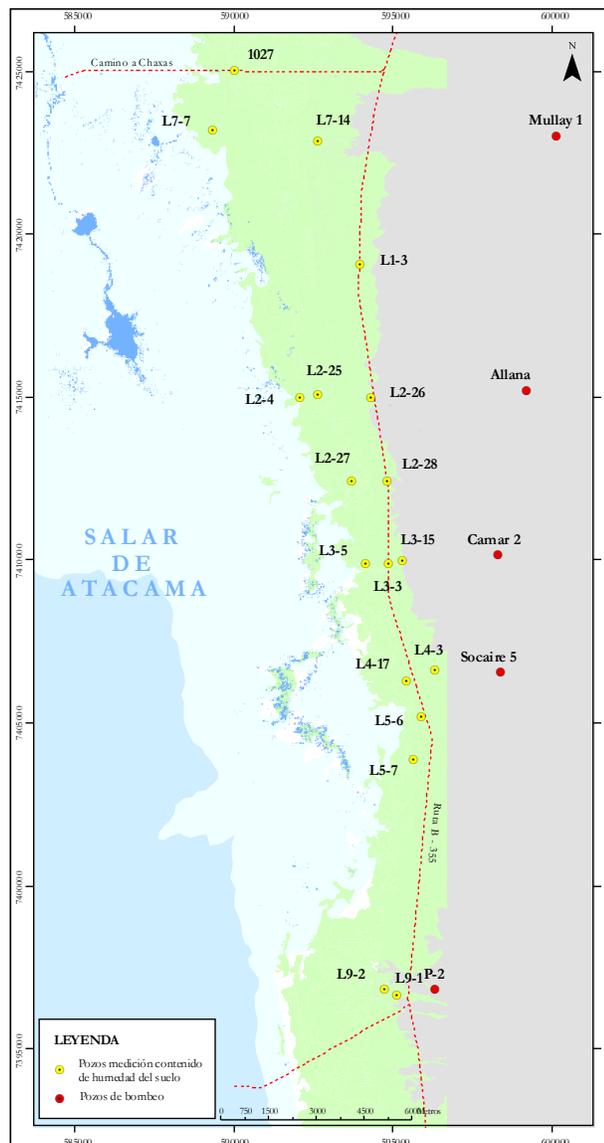
¹ Actualmente SEA

2 — METODOLOGÍA

2.1 — Diseño Muestral

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 (ver Figura 2-1). En cada parcela se realizan las mediciones de contenido de humedad del suelo, profundidad de la napa y monitoreo de vegetación.

Figura 2-1. Ubicación de parcelas de monitoreo



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2-1 señala la ubicación exacta de las parcelas de monitoreo y las especies vegetales asociadas a cada punto.

Tabla 2-1. Ubicación de las parcelas de monitoreo (UTM Datum PSAD 56) y especies vegetales presentes

Nº	Parcela	Coordenadas		Especies Vegetales Presentes (Abril 2007)
		Este	Norte	
1	1027	7.425.017	589.996	Distichlis spicata, Nitrophilla atacamensis
2	L7-7	7.423.190	589.303	Juncus balticus, Nitrophilla atacamensis
3	L7-14	7.422.900	592.600	Tessaria absinthioides
4	L1-3	7.419.080	593.909	Atriplex atacamensis
5	L2-26	7.415.000	594.250	Tessaria absinthioides
6	L2-25	7.415.077	592.645	Atriplex atacamensis, Distichlis spicata
7	L2-4	7.414.984	592.031	Atriplex atacamensis, Tessaria absinthioides
8	L2-28	7.412.480	594.770	Scirpus americanus, Tessaria absinthioides
9	L2-27	7.412.480	593.670	Distichlis spicata, Tessaria absinthioides
10	L3-15	7.410.000	595.270	Tessaria absinthioides
11	L3-5	7.409.890	594.086	Atriplex atacamensis, Distichlis spicata, Tessaria absinthioides
12	L3-3	7.409.882	594.816	Tessaria absinthioides
13	L4-3	7.406.648	596.294	Acantholippia deserticola
14	L4-17	7.406.312	595.380	Tessaria absinthioides
15	L5-6*	7.405.190	595.903	Tessaria absinthioides
16	L5-7	7.403.910	595.653	Tessaria absinthioides
17	L9-2	7.396.800	594.684	Atriplex atacamensis, Tessaria absinthioides
18	L9-1	7.396.685	595.067	Tessaria absinthioides

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

2.2 — Contenido de humedad gravimétrico del suelo

El monitoreo de esta propiedad se realiza de forma trimestral. 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 2-2.

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. Las

bolsas utilizadas son de polietileno transparente de 0,25 mm de espesor. La muestra extraída tiene un peso aproximado de 500 g (Figura 2-2).

Tabla 2-2. 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

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 2-2):

2.2.1 — 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.

2.2.2 — 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.

2.2.3 — 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 2-2. 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

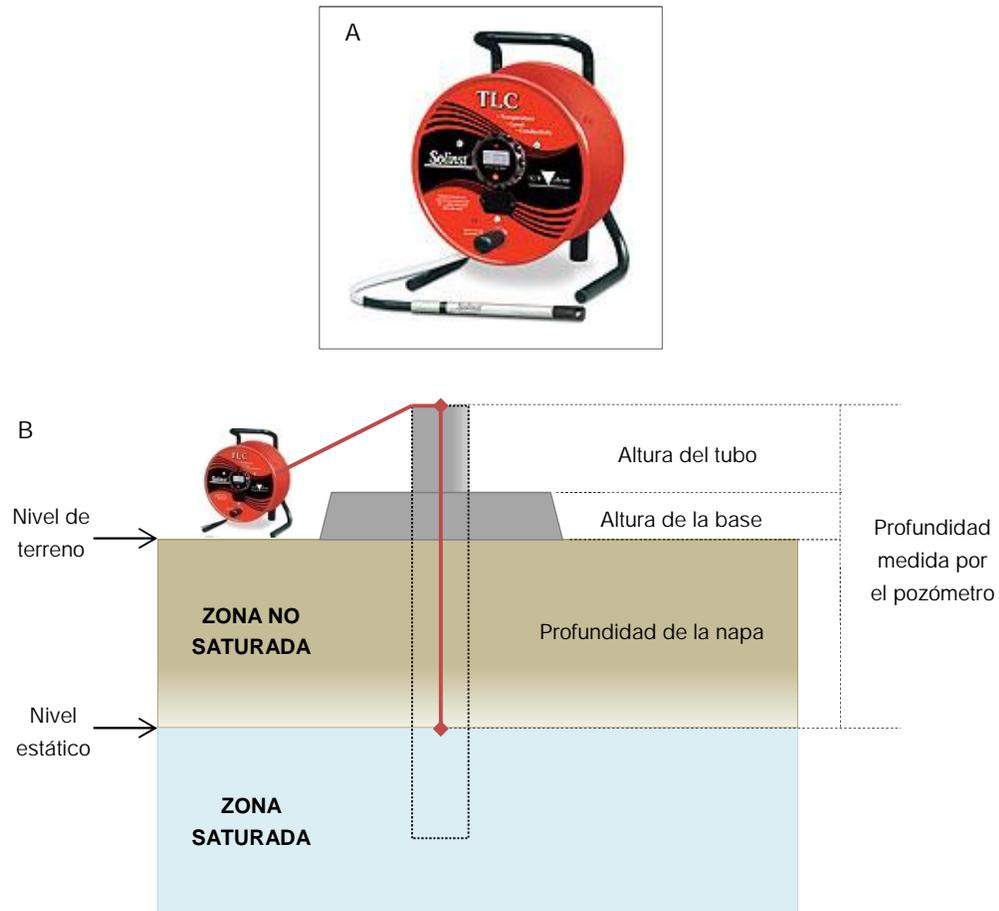
Fuente: Elaboración propia.

2.3 — Profundidad de la napa subterránea

Esta medición se realizó con una frecuencia trimestral. 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 (Figura 2-3 A), que consiste en una cinta resistente y graduada con precisión milimétrica, que en uno de sus extremos tiene un sensor sonoro y luminoso que detecta la presencia del nivel de agua (esquema Figura 2-3 B).

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

Figura 2-3. Pozómetro utilizado para la medición de profundidad de la napa (A) y esquema del proceso de medición en un pozo (B).



Fuente: Elaboración propia

2.4 — 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 2-4). 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 2-3. 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

- **Vigor:** Evalúa el estado fitosanitario de los individuos en función de su estado fisiológico.

Tabla 2-4. 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

- Estado Fenológico: Evalúa la formación de estructuras en la planta.

Tabla 2-5. 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 2-4. Medición del estado vital de la vegetación



A.-Individuos rotulado



B.- Medición de altura en un individuo

Fuente: Elaboración propia

3 — RESULTADOS

3.1 — Contenido de humedad del suelo y profundidad de la napa

La Tabla 3-1 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 2014 (enero, abril, julio y octubre).

Tabla 3-1. 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 2014.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g)				Profundidad napa (m)			
	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.	Ene.	Abr.	Jul.	Oct.
L7-7	0,512	0,548	0,563	0,632	0,577	0,688	0,516	0,420
1027	0,700	0,732	0,694	0,712	0,519	0,604	0,464	0,425
L2-4	0,631	0,475	0,551	0,526	0,883	0,896	0,829	0,836
L2-25	0,505	0,397	0,457	0,512	0,551	0,553	0,538	0,522
L7-14	0,300	0,344	0,337	0,321	1,620	1,644	1,617	1,584
L2-27	0,469	0,445	0,519	0,539	1,003	1,184	0,875	0,839
L1-3	0,030	0,037	0,033	0,039	7,032	7,069	7,090	7,085
L3-5	0,553	0,419	0,390	0,465	0,025	0,092	0,003	-0,013
L2-26	0,114	0,129	0,119	0,124	3,745	3,779	3,799	3,777
L9-2	0,065	(*)	0,071	0,075	4,172	4,228	4,206	4,165
L2-28	0,121	0,117	0,129	0,138	3,047	3,102	3,031	3,013
L9-1	0,087	0,210	0,090	0,040	5,717	5,765	5,749	5,732
L3-15	0,061	0,051	0,064	0,076	3,943	3,979	3,947	3,955
L4-17	0,162	0,190	0,183	0,170	1,992	2,025	1,975	1,946
L5-7	0,213	0,238	0,222	0,286	1,789	1,784	1,663	1,614
L5-6	0,163	0,162	0,178	0,163	2,252	2,254	2,132	2,115
L3-3	0,135	0,135	0,109	0,129	3,177	3,254	3,057	3,084
L4-3	0,005	0,007	0,005	0,005	16,390	16,218	16,073	16,012

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

Fuente: Elaboración propia.

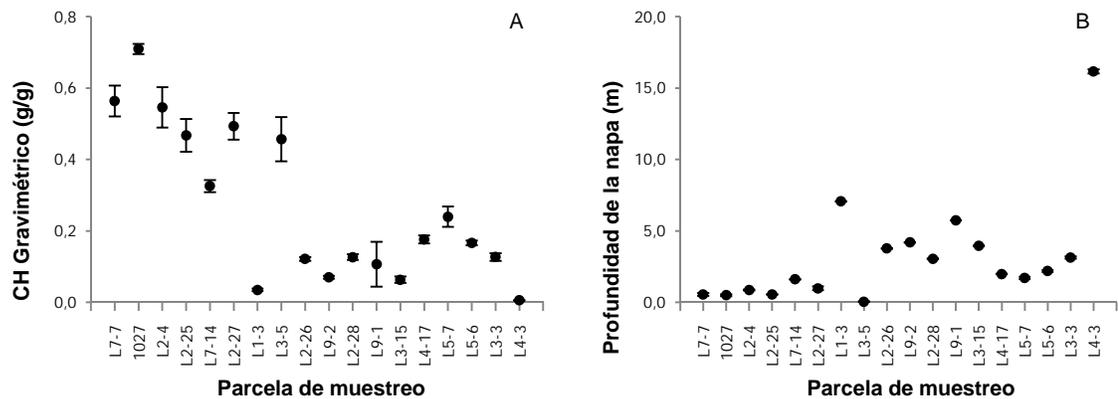
La Figura 3-1 (gráfico A) corresponde al comportamiento del contenido de humedad gravimétrico del suelo de los 18 puntos de medición evaluados en las cuatro campañas de monitoreo del año 2014. Los puntos de muestreo están distribuidos de oeste a este.

El gráfico muestra que el mayor contenido de humedad promedio se obtuvo en las parcelas ubicadas al oeste (1027, L7-7, y L2-4), registrando valores que variaron entre 0,710 g/g a 0,540 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 0,055 g/g; 0,035 g/g y 0,063 g/g respectivamente. En el estudio edafológico realizado durante la etapa pre-operacional, se determinó que la textura de las parcelas mencionadas era arenosa a franco arenosa, sin formación de estructura, lo que se traduce en perfiles con una baja capacidad de retener y mover agua.

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 3.2 del presente informe).

El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos L9-1 y L3-5 con desviaciones estándar de 0,063 y 0,062 g/g. Mientras que la mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo, L1-3 y L4-3, cuyas desviaciones estándar fueron de 0,003 g/g y 0,001 g/g.

Figura 3-1. 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 2014



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

En la Figura 3-1 (gráfico B) se presenta la profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2014. 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 (0,027 m \pm 0,04 m), 1027 (0,503 m \pm 0,067 m) y L7-7 (0,541 m \pm 0,124 m). En contraposición, la mayor profundidad de napa se observó en el pozo L4-3 (16,173 m \pm 0,146 m), seguido por los pozos L1-3 (7,069 m \pm 0,023 m) y L9-1 (5,741 m \pm 0,018 m). En la Figura 3-1 (gráfico B), es posible apreciar que la variación de la profundidad de la napa durante el año fue mínima.

La Figura 3-2 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 ascenso 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 3-2. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2014

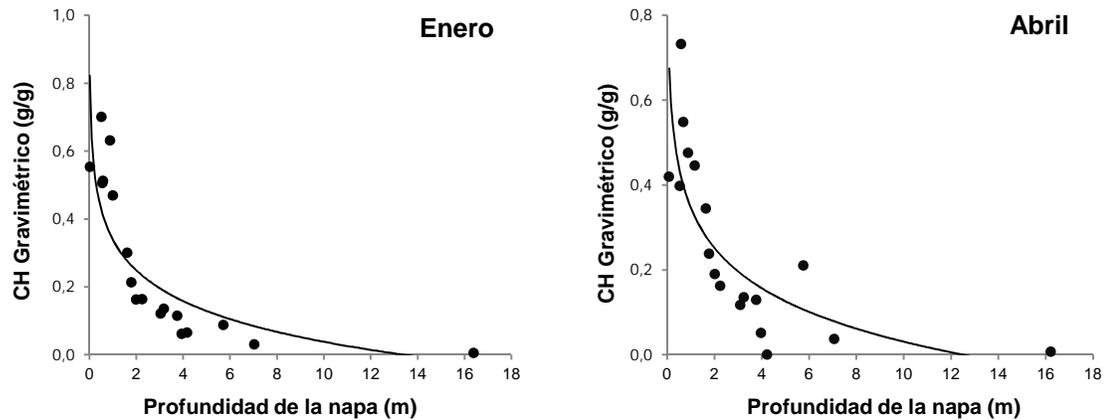
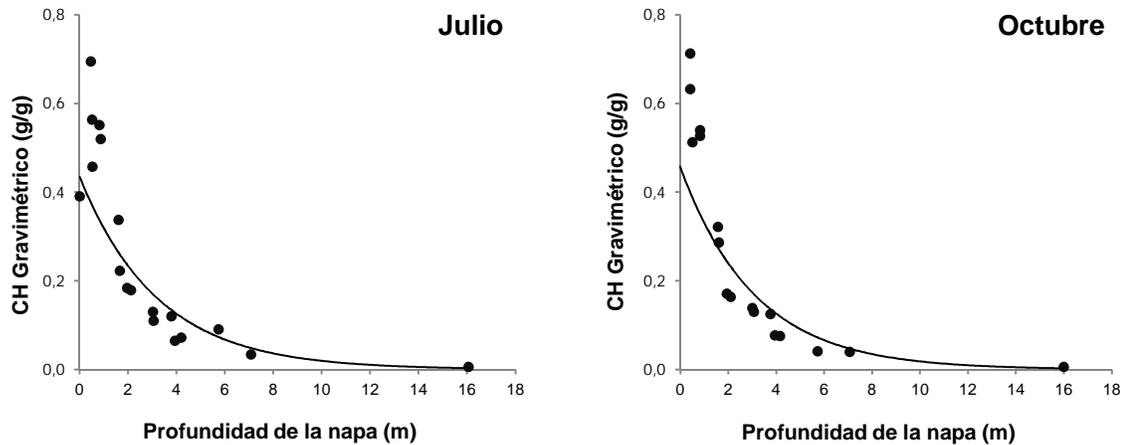


Figura 3-2. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2014



Fuente: Elaboración propia

3.2 — Variación interanual del contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa

En las Tabla 3-2 a Tabla 3-5 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 3-6 a Tabla 3-9, 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 3-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de enero, durante el periodo 2008 a 2014.

Parcela de Monitoreo	Enero							Contenido de humedad promedio (g/g)	Tasa de variación
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L7-7	0,798	0,723	0,499	0,487	0,537	0,559	0,512	0,588 (± 0,113)	-0,047
1027	0,894	0,908	0,731	0,798	0,780	0,876	0,700	0,812 (± 0,076)	-0,176
L2-4	0,614	0,524	0,997	0,769	0,461	0,622	0,631	0,660 (± 0,164)	0,009
L2-25	0,935	0,707	0,625	0,828	0,397	0,792	0,505	0,684 (± 0,175)	-0,287
L7-14	0,247	0,263	0,384	0,354	0,353	0,364	0,300	0,324 (± 0,050)	-0,064
L2-27	0,48	0,501	0,622	0,578	0,487	0,555	0,469	0,527 (± 0,054)	-0,086
L1-3	0,013	0,007	0,024	0,022	0,021	0,033	0,030	0,021 (± 0,008)	-0,003
L3-5	0,381	0,385	0,603	0,554	0,418	0,56	0,553	0,493 (± 0,088)	-0,007
L2-26	0,127	0,104	0,202	0,184	0,119	0,105	0,114	0,136 (± 0,037)	0,009
L9-2	0,072	0,069	0,092	0,044	0,041	0,085	0,065	0,067 (± 0,018)	-0,02
L2-28	0,149	0,151	0,177	0,146	0,148	0,085	0,121	0,140 (± 0,027)	0,036
L9-1	0,105	0,031	0,170	0,096	0,049	0,114	0,087	0,093 (± 0,042)	-0,027
L3-15	0,031	0,014	0,023	0,043	0,055	0,085	0,061	0,045 (± 0,023)	-0,024
L4-17	0,224	0,209	0,225	0,208	0,19	0,225	0,162	0,206 (± 0,022)	-0,063
L5-7	0,233	0,23	0,356	0,299	0,239	0,339	0,213	0,273 (± 0,054)	-0,126
L5-6	0,170	0,166	0,16	0,162	0,158	0,163	0,163	0,163 (± 0,004)	0
L3-3	0,103	0,063	0,116	0,122	0,128	0,112	0,135	0,111 (± 0,022)	0,023

Tabla 3-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de enero, durante el periodo 2008 a 2014.

Parcela de Monitoreo	Enero							Contenido de humedad promedio (g/g)	Tasa de variación
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L4-3	0,005	0,003	0,008	0,003	0,001	0,044	0,005	0,010 (± 0,014)	-0,039

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Abril, durante el periodo 2007 a 2014.

Parcela de monitoreo	Abril								Contenido de humedad promedio (g/g)	Tasa de variación anual
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L7-7	0,453	0,644	0,872	0,623	0,533	0,560	0,533	0,548	0,596 (± 0,118) ¹	0,015
1027	0,753	0,798	0,666	0,849	0,858	0,840	0,831	0,732	0,791 (± 0,064)	-0,099
L2-4	0,838	0,795	0,929	0,845	0,529	0,707	0,618	0,475	0,717 (± 0,152)	-0,143
L2-25	1,079 ²	0,817	1,017	0,600	0,554	0,641	0,463	0,397	0,641 (± 0,197)	-0,066
L7-14	0,217	0,258	0,362	0,381	0,491	0,379	0,327	0,344	0,345 (± 0,078)	0,017
L2-27	0,496	0,509	0,766	0,552	0,502	0,582	0,458	0,445	0,539 (± 0,096)	-0,013
L1-3	0,04	0,029	0,019	0,086	0,017	0,035	0,028	0,037	0,036 (± 0,020)	0,009
L3-5	0,524	0,403	0,628	0,540	0,626	0,502	0,443	0,419	0,511 (± 0,081)	-0,024
L2-26	0,183	0,131	0,156	0,171	0,104	0,138	0,128	0,129	0,143 (± 0,024)	0,001
L9-2	0,097	0,107	0,068	0,058	0,037	0,088	0,066	(*) ³	0,074 (± 0,022)	-
L2-28	0,183	0,157	0,167	0,137	0,104	0,166	0,106	0,117	0,142 (± 0,028)	0,011
L9-1	0,115	0,056	0,178	0,147	0,051	0,086	0,128	0,210	0,121 (± 0,053)	0,082
L3-15	0,066	0,052	0,039	0,052	0,067	0,096	0,084	0,051	0,063 (± 0,018)	-0,033
L4-17	0,242	0,211	0,263	0,238	0,163	0,197	0,162	0,19	0,208 (± 0,035)	0,028
L5-7	0,338	0,259	0,244	0,448	0,238	0,280	0,313	0,238	0,295 (± 0,067)	-0,075
L5-6	0,198	0,180	0,163	0,179	0,187	0,158	0,165	0,162	0,174 (± 0,013)	-0,003

Tabla 3-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Abril, durante el periodo 2007 a 2014.

Parcela de monitoreo	Abril								Contenido de humedad promedio (g/g)	Tasa de variación anual
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L3-3	0,133	0,132	0,121	0,111	0,106	0,168	0,124	0,135	0,129 (± 0,018)	0,011
L4-3	0,004	0,004	0,009	0,007	0,010	0,017	0,009	0,007	0,008 (± 0,004)	-0,002

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 3-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2014.

Parcela de monitoreo	Julio								Contenido de humedad Promedio (g/g) ¹	Tasa de variación anual
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L7-7	S/I ²	0,577	0,693	0,601	0,530	0,619	0,608	0,563	0,599 (± 0,048) ¹	-0,045
1027	0,806	0,913	0,857	0,767	0,802	0,799	0,925	0,694	0,820 (± 0,071)	-0,231
L2-4	0,759	0,484	0,868	0,864	0,534	0,673	0,617	0,551	0,669 (± 0,139)	-0,066
L2-25	0,987	0,583	0,642	0,740	0,446	0,545	0,458	0,457	0,607 (± 0,173)	-0,001
L7-14	0,237	0,279	0,332	0,365	0,230	0,383	0,334	0,337	0,312 (± 0,053)	0,003
L2-27	0,568	0,509	0,546	0,637	0,490	N/M ³	0,697	0,519	0,567 (± 0,070)	-0,178
L1-3	0,024	0,031	0,022	0,024	0,022	0,026	0,038	0,033	0,028 (± 0,005)	-0,005
L3-5	S/I ²	0,410	0,304	0,691	0,419	0,519	0,549	0,390	0,469 (± 0,118)	-0,159
L2-26	S/I ²	0,160	0,156	0,19	0,122	0,136	0,133	0,119	0,145 (± 0,023)	-0,014
L9-2	0,12	0,069	0,129	0,122	0,071	0,111	0,085	0,071	0,097 (± 0,024)	-0,014
L2-28	S/I	0,159	0,168	0,149	0,14	0,164	0,137	0,129	0,149 (± 0,014)	-0,008
L9-1	0,094	0,093	0,228	0,169	0,138	0,112	0,139	0,090	0,133 (± 0,044)	-0,049

Tabla 3-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2014.

Parcela de monitoreo	Julio								Contenido de humedad Promedio (g/g) ¹	Tasa de variación anual
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L3-15	S/I ²	0,050	0,031	0,044	0,031	0,091	0,077	0,064	0,055 (± 0,021)	-0,013
L4-17	S/I ²	0,208	0,202	0,262	0,25	0,213	0,214	0,183	0,219 (± 0,026)	-0,031
L5-7	0,272	0,263	0,388	0,377	0,282	0,339	0,363	0,222	0,313 (± 0,057)	-0,141
L5-6	0,183	0,175	0,177	0,186	0,185	0,098	0,171	0,178	0,169 (± 0,027)	0,007
L3-3	0,097	0,109	0,142	0,150	0,102	0,146	0,106	0,109	0,120 (± 0,020)	0,003
L4-3	0,004	0,015	0,010	0,008	0,005	0,017	0,009	0,005	0,009 (± 0,004)	-0,004

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 ni pudo ser muestreado por encontrarse interrumpido el camino de acceso. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2014.

Parcela de monitoreo	Octubre								Contenido de humedad promedio (g/g)	Tasa de variación anual
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L7-7	0,713	0,609	0,694	0,751	0,664	0,644	0,649	0,632	0,670 (± 0,044)	-0,017
1027	0,776	0,958	0,673	0,763	0,826	0,838	0,817	0,712	0,795 (± 0,081)	-0,105
L2-4	0,731	0,648	0,878	0,547	0,527	0,611	0,534	0,526	0,625 (± 0,117)	-0,008
L2-25	0,974	0,712	0,556	0,41	0,386	0,852	0,478	0,512	0,610 (± 0,200)	0,034
L7-14	0,275	0,272	0,358	0,344	0,337	0,348	0,344	0,321	0,325 (± 0,031)	-0,023
L2-27	0,515	0,520	0,545	0,512	0,540	0,610	0,578	0,539	0,545 (± 0,032)	-0,039
L1-3	0,012	0,024	0,03	0,02	0,018	0,031	0,042	0,039	0,027 (± 0,010)	-0,003

Tabla 3-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2014.

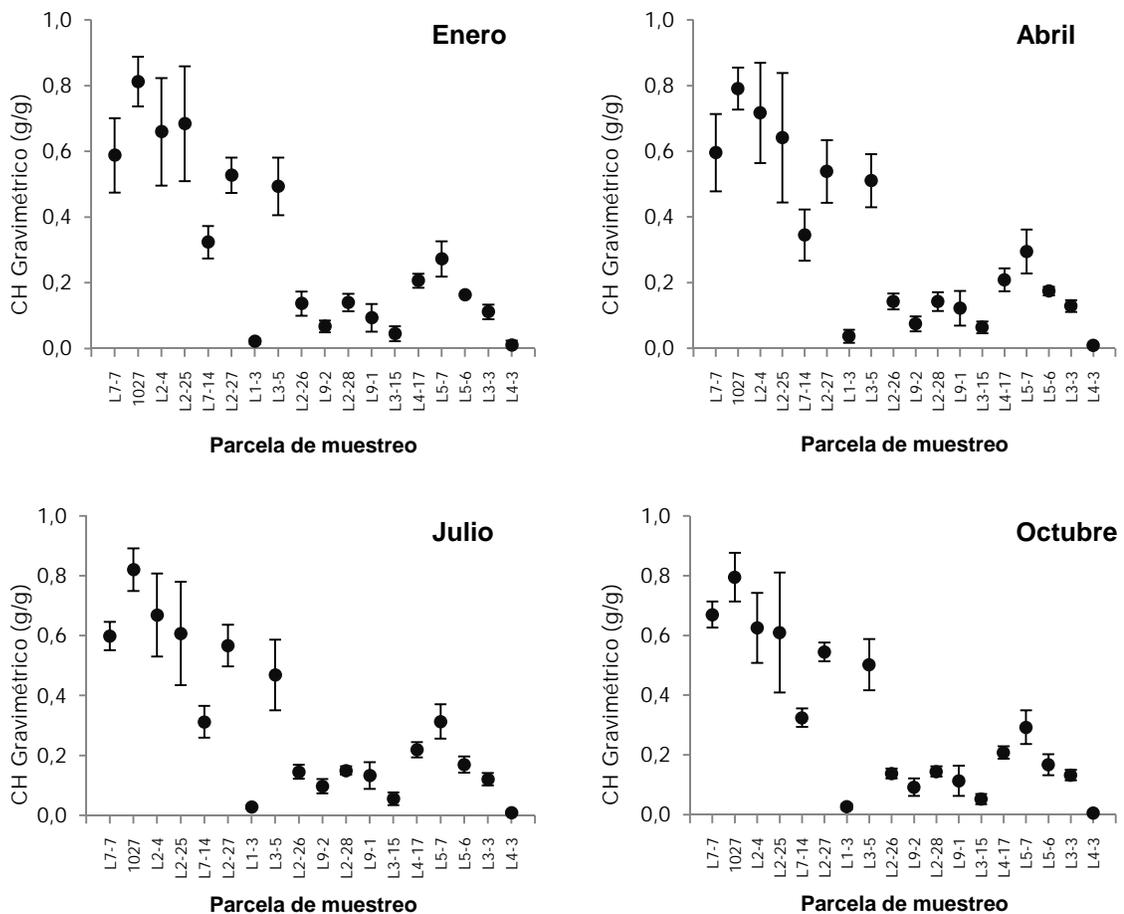
Parcela de monitoreo	Octubre								Contenido de humedad promedio (g/g)	Tasa de variación anual
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L3-5	0,525	0,348	0,681	0,481	0,498	0,527	0,49	0,465	0,502 (± 0,086)	-0,025
L2-26	0,142	0,134	0,153	0,169	0,146	0,123	0,115	0,124	0,138 (± 0,017)	0,009
L9-2	0,141	0,126	0,102	0,06	0,053	0,101	0,078	0,075	0,092 (± 0,029)	-0,003
L2-28	0,131	0,165	0,178	0,124	0,134	0,151	0,138	0,138	0,145 (± 0,017)	0
L9-1	0,075	0,093	0,224	0,102	0,124	0,113	0,136	0,040	0,113 (± 0,050)	-0,096
L3-15	0,078	0,031	0,043	0,040	0,035	0,059	0,06	0,076	0,053 (± 0,017)	0,016
L4-17	0,208	0,225	0,241	0,203	0,222	0,212	0,186	0,170	0,208 (± 0,021)	-0,016
L5-7	0,349	0,239	0,416	0,260	0,251	0,290	0,252	0,286	0,293 (± 0,057)	0,034
L5-6	0,215	0,195	0,159	0,088	0,183	0,175	0,161	0,163	0,167 (± 0,035)	0,002
L3-3	0,166	0,134	0,138	0,136	0,098	0,132	0,128	0,129	0,133 (± 0,017)	0,001
L4-3	0,005	0,003	0,006	0,007	0,003	0,011	0,008	0,005	0,006 (± 0,003)	-0,003

¹ 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 3-3 se muestra el comportamiento interanual de las mediciones de contenido de humedad gravimétrico por parcela de monitoreo.

Figura 3-3. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2014



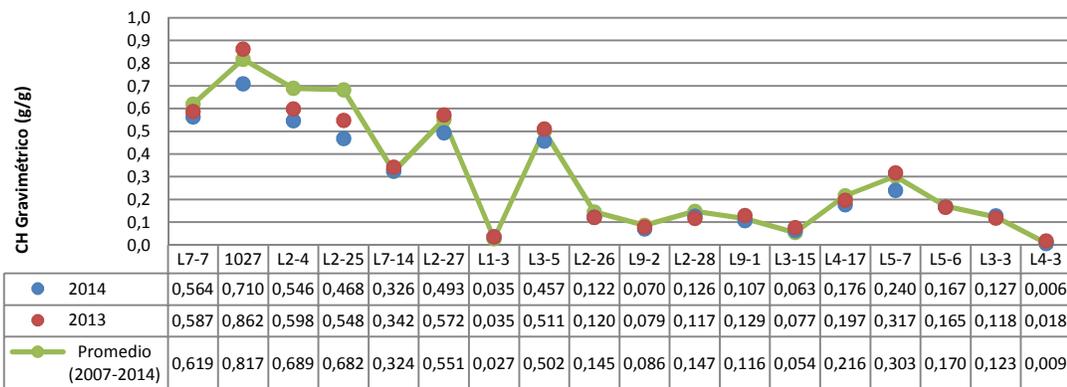
Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que las parcelas ubicadas al oeste (es decir, cercanas al eje de las ordenadas) 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 3-3). Los datos presentados en las Tabla 3-2 a Tabla 3-5 y Figura 3-3 muestran que respecto del monitoreo del año anterior, las mediciones realizadas en enero de 2014, las parcelas con mayor reducción en el contenido de humedad gravimétrico fueron las parcelas: L2-25, 1027

y L5-7 con reducciones en el contenido de humedad de 0,287 (g/g); 0,176 (g/g) y 0,126 (g/g), respectivamente. Las reducciones en contenido de humedad más importantes durante abril se observaron en las parcelas: L2-4, 1027 y L9-1, con reducciones de 0,143 (g/g), 0,099(g/g) y 0,082 (g/g) respectivamente. Respecto del año anterior, para las mediciones de julio de 2014, las reducciones más importante se registraron en las parcelas 1027, L2-27 y L3-5 con reducciones del contenido de humedad de: 0,231 (g/g), 0,178 (g/g) y 0,159 (g/g) respectivamente. En relación a las mediciones de octubre de 2014, respecto del año anterior las reducciones más significativas se registraron en las parcelas 1017, L9-1 y L2-7 donde las reducciones en contenido de humedad fueron de 0,105 (g/g), 0,096 (g/g) y 0,039 (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 3-4 muestra la comparación del valor promedio anual de las mediciones de 2014 para cada pozo de monitoreo, en relación al valor promedio registrado en el monitoreo del año anterior (2013) y al promedio histórico (2007 a 2014). Los resultados muestran que respecto del año anterior, las principales reducciones de contenido de humedad se registraron en las parcelas: 1027, L2-25, L2-27 y L5-7, donde las reducciones en el contenido de humedad de suelo alcanzaron: 0,153 (g/g), 0,080 (g/g), 0,079 (g/g) y 0,077 (g/g), respectivamente. Respecto del valor promedio histórico (2007-2014), el promedio obtenido en 2014 presentó las mayores reducciones de contenido de humedad en las parcelas L2-25, L2-4 y 1027, donde las reducciones en el contenido de humedad fueron de 0,215 (g/g), 0,144 (g/g) y 0,108 (g/g), respectivamente. Para el resto de las parcelas de monitoreo, las mediciones realizadas en 2014 muestran una situación muy similar a la registrada el año anterior (2013) y en relación al promedio obtenido para el período 2007 a 2014.,

Figura 3-4. Promedio del contenido de humedad de suelo para 2014 y su variación en las parcelas de monitoreo, respecto del monitoreo del año anterior (2013) y promedio histórico (2007-2014).



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de profundidad de la napa (Tabla 3-6, Tabla 3-7, Tabla 3-8, Tabla 3-9) demuestran que el nivel ha sido poco variable durante los meses de seguimiento. En la Figura 3-5 se muestra el comportamiento interanual de las mediciones de la profundidad de la napa realizadas en enero, abril, julio y octubre de 2014, los resultados obtenidos son muy similares a los registrados en año de monitoreo anterior (2013) y al promedio de los registros históricos de mediciones mensuales de 2007 a 2014.

Tabla 3-6. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Enero, durante el periodo 2008 a 2014.

Parcela de monitoreo	Enero							Profundidad promedio (m)	Tasa de variación (m/año)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L7-7	0,521	0,459	0,536	0,491	0,490	0,590	0,577	0,523 (± 0,044)	-0,013
1027	0,479	0,445	0,499	0,461	0,490	0,523	0,519	0,488 (± 0,027)	-0,004
L2-4	0,855	0,829	0,884	0,868	0,887	0,888	0,883	0,871 (± 0,020)	-0,005
L2-25	0,575	0,551	0,564	0,549	0,551	0,549	0,551	0,556 (± 0,009)	0,002
L7-14	1,556	1,542	1,576	1,567	1,589	1,619	1,620	1,581 (± 0,028)	0,001
L2-27	0,972	0,891	0,978	0,948	0,966	0,962	1,003	0,960 (± 0,032)	0,041
L1-3 ²	6,525	6,538	6,553	6,600	6,647	7,000	7,032	6,699 (± 0,204)	0,032
L3-5	0,063	0,058	0,096	0,069	0,083	0,131	0,025	0,075 (± 0,031)	-0,106
L2-26	3,515	3,495	3,548	3,580	3,633	3,686	3,745	3,600 (± 0,085)	0,059
L9-2	4,103	4,104	4,151	4,122	4,169	4,166	4,172	4,141 (± 0,028)	0,006
L2-28	2,771	2,730	2,842	2,863	2,942	2,981	3,047	2,882(± 0,106)	0,066
L9-1	5,639	5,652	5,687	5,657	5,715	5,723	5,717	5,684(± 0,032)	-0,006
L3-15	3,017	3,040	3,602	3,691	3,779	3,867	3,943	3,563(± 0,353)	0,076
L4-17	1,804	1,820	1,894	1,888	1,943	1,954	1,992	1,899(± 0,064)	0,038
L5-7	1,646	1,611	1,741	1,716	1,754	1,763	1,789	1,717(± 0,060)	0,026
L5-6	1,679	1,966	2,124	2,135	2,179	2,210	2,252	2,078(± 0,183)	0,042
L3-3	2,944	2,948	3,006	3,030	3,074	3,152	3,177	3,047(± 0,085)	0,025
L4-3	16,022	16,009	16,138	16,254	16,258	16,387	16,39	16,208(± 0,146)	0,003

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 3-7. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Abril, durante el periodo 2008 a 2014.

Parcela de monitoreo	Abril							Profundidad promedio (m)	Tasa de variación
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L7-7	0,663	0,628	0,62	0,601	0,516	0,57	0,688	0,612 (± 0,053) ¹	0,118
1027	0,527	0,510	0,514	0,504	0,494	0,518	0,604	0,524 (± 0,034)	0,086
L2-4	0,864	0,861	0,863	0,882	0,828	0,874	0,896	0,867 (± 0,020)	0,022
L2-25	0,584	0,621	0,560	0,551	0,522	0,539	0,553	0,561 (± 0,030)	0,014
L7-14	1,601	1,598	1,611	1,603	1,605	1,593	1,644	1,608 (± 0,016)	0,051
L2-27	1,189	1,181	1,255	1,148	0,959	1,037	1,184	1,136 (± 0,095)	0,147
L1-3 ²	6,441	6,554	6,579	6,608	6,945	6,981	7,069	6,740 (± 0,232)	0,088
L3-5	0,087	0,087	0,111	0,088	0,053	0,114	0,092	0,090 (± 0,019)	-0,022
L2-26	3,562	3,554	3,563	3,599	3,594	3,695	3,779	3,621 (± 0,078)	0,084
L9-2	4,180	4,190	4,195	4,200	4,097	4,190	4,228	4,183 (± 0,038)	0,038
L2-28	2,865	2,89	2,914	2,937	2,910	3,006	3,102	2,946 (± 0,076)	0,096
L9-1	5,715	5,704	5,729	5,718	5,683	5,725	5,765	5,720 (± 0,023)	0,040
L3-15	3,045	3,555	3,644	3,714	3,777	3,879	3,979	3,656 (± 0,282)	0,100
L4-17	1,845	1,866	1,927	1,937	1,941	1,973	2,025	1,931 (± 0,057)	0,052
L5-7	1,710	1,758	1,724	1,755	1,748	1,752	1,784	1,747 (± 0,022)	0,032
L5-6	1,994	2,066	2,102	2,141	2,172	2,188	2,254	2,131 (± 0,079)	0,066
L3-3	2,937	2,971	3,018	3,037	3,001	3,170	3,254	3,055 (± 0,106)	0,084
L4-3	15,982	16,055	16,154	16,221	16,299	16,347	16,218	16,182 (± 0,120)	-0,129

¹Desviación estándar entre paréntesis. ²En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-8. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Julio, durante el periodo 2007 a 2014.

Parcela de monitoreo	Julio								Profundidad promedio (m)	Tasa de variación
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L7-7	0,545	0,480	0,475	0,487	0,475	0,451	0,439	0,516	0,475 (± 0,023) ¹	0,077
1027	0,442	0,420	0,416	0,420	0,424	0,416	0,421	0,464	0,426 (± 0,016)	0,043
L2-4	0,798	0,784	0,798	0,819	0,819	0,809	0,809	0,829	0,810 (± 0,014)	0,02
L2-25	0,563	0,548	0,544	0,544	0,545	0,529	0,532	0,538	0,540 (± 0,007)	0,006
L7-14	1,565	1,56	1,557	1,573	1,583	1,587	1,588	1,617	1,581 (± 0,019)	0,029
L2-27	0,864	0,855	0,854	0,866	0,869	0,858	0,842	0,875	0,860 (± 0,010)	0,033
L1-3 ²	6,527	6,548	6,550	6,590	6,647	6,976	6,988	7,090	6,770 (± 0,220)	0,102
L3-5	0,013	0,056	0,052	0,058	0,058	0,097	-0,010	0,003	0,045 (± 0,034)	0,013
L2-26	3,517	3,524	3,509	3,562	3,635	3,656	3,694	3,799	3,626 (± 0,095)	0,105
L9-2	4,120	4,140	4,151	4,173	4,177	4,112	4,149	4,206	4,158 (± 0,028)	0,057
L2-28	2,733	2,737	2,757	2,812	2,871	2,897	2,955	3,031	2,866 (± 0,098)	0,076
L9-1	5,645	5,678	5,689	5,708	5,709	5,685	5,702	5,749	5,703 (± 0,022)	0,047
L3-15	2,980	3,013	3,520	3,632	3,722	3,787	3,851	3,947	3,639 (± 0,287)	0,096
L4-17	1,769	1,820	1,835	1,897	1,918	1,917	1,928	1,975	1,899 (± 0,050)	0,047
L5-7	1,520	1,538	1,560	1,582	1,611	1,621	1,612	1,663	1,598 (± 0,039)	0,051
L5-6	1,735	1,847	1,896	1,975	2,015	2,051	2,072	2,132	1,998 (± 0,093)	0,06
L3-3	2,910	2,913	2,921	2,953	2,996	3,001	3,068	3,057	2,987 (± 0,057)	-0,011
L4-3	16,089	15,987	16,047	16,158	16,264	16,306	16,423	16,073	16,180 (± 0,146)	-0,35

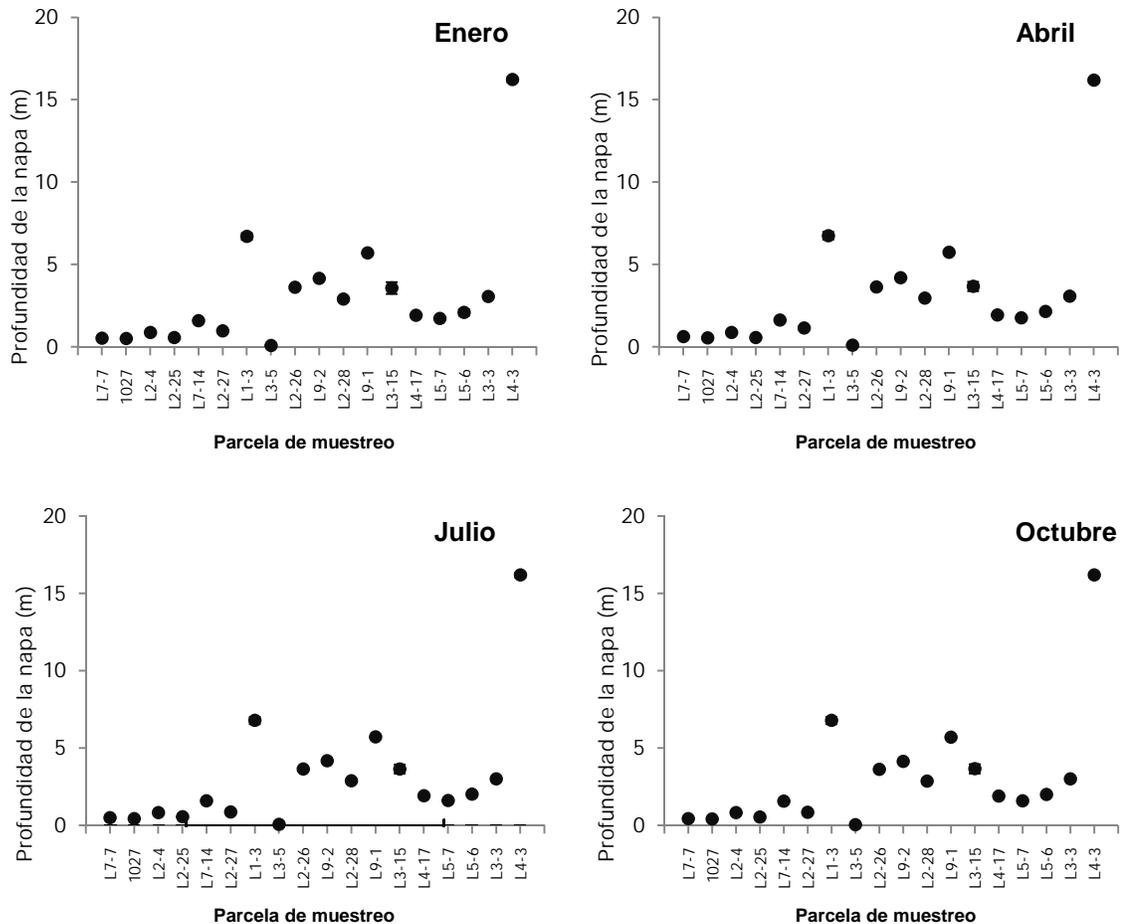
¹Desviación estándar entre paréntesis. ² En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-9. Profundidad de la napa (m) por parcela de monitoreo, para el mes de Octubre, durante el periodo 2007 a 2014.

Parcela de monitoreo	Octubre								Profundidad promedio (m)	Tasa de variación
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
L7-7	0,405	0,408	0,408	0,404	0,419	0,414	0,441	0,420	0,416 (± 0,011) ¹	-0,021
1027	0,394	0,371	0,395	0,385	0,394	0,407	0,428	0,425	0,401 (± 0,019)	-0,003
L2-4	0,785	0,781	0,795	0,802	0,813	0,820	0,825	0,836	0,810 (± 0,017)	0,011
L2-25	0,561	0,544	0,538	0,532	0,532	0,523	0,526	0,522	0,531 (± 0,007)	-0,004
L7-14	1,540	1,527	1,526	1,534	1,545	1,564	1,580	1,584	1,551 (± 0,023)	0,004
L2-27	0,850	0,842	0,832	0,833	0,846	0,839	0,847	0,839	0,840 (± 0,005)	-0,008
L1-3 ²	6,525	6,543	6,541	6,594	6,634	6,976	7,021	7,085	6,771 (± 0,226)	0,064
L3-5	-0,001	0,052	0,052	0,036	0,037	0,070	-0,008	-0,013	0,032 (± 0,029)	-0,005
L2-26	3,523	3,512	3,521	3,553	3,601	3,650	3,707	3,777	3,617 (± 0,092)	0,070
L9-2	4,087	4,111	4,117	4,131	4,127	4,113	4,126	4,165	4,127 (± 0,017)	0,039
L2-28	2,715	2,707	2,729	2,784	2,838	2,895	2,944	3,013	2,844 (± 0,105)	0,069
L9-1	5,620	5,659	5,673	5,677	5,675	5,688	5,678	5,732	5,683 (± 0,021)	0,054
L3-15	2,980	3,019	3,544	3,638	3,719	3,807	3,883	3,955	3,652 (± 0,289)	0,072
L4-17	1,758	1,795	1,825	1,868	1,879	1,897	1,929	1,946	1,877 (± 0,050)	0,017
L5-7	1,479	1,522	1,538	1,557	1,582	1,593	1,614	1,614	1,574 (± 0,034)	0,000
L5-6	1,705	1,834	1,883	1,948	1,986	2,044	2,071	2,115	1,983 (± 0,094)	0,044
L3-3	2,895	2,909	2,914	2,949	2,973	3,011	3,076	3,084	2,988 (± 0,066)	0,008
L4-3	15,992	15,989	16,113	16,197	16,237	16,342	16,398	16,012	16,184 (± 0,145)	-0,386

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

Figura 3-5. Variación de la profundidad de la napa, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2014



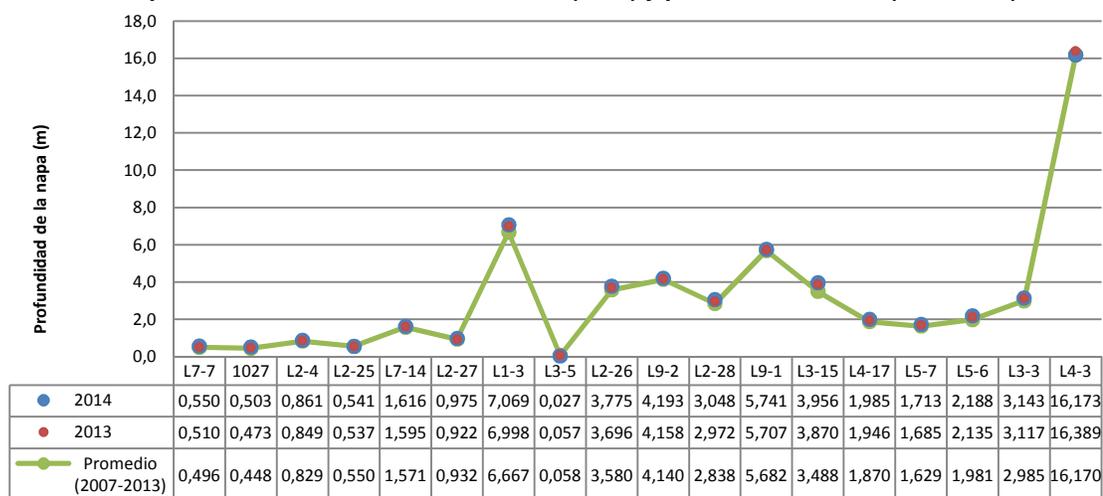
Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados expuestos en la Tabla 3-6 a Tabla 3-9 se desprende que para el mes de enero de 2014, la mayor variación del nivel freático se registró en las parcelas L3-15, L2-28 y L2-26 con descensos de la napa freática que alcanzaron 0,076 m, 0,066 m y 0,050 m, respectivamente. Las mediciones de abril de 2014 mostraron que los principales descensos de la napa se registraron en las parcelas L2-27, L7-7 y L-3-15, con valores de 0,147 m, 0,118 m y 0,1 m respectivamente. Los descensos de la napa más significativos registrados en julio de 2014 se presentaron en las parcelas L2-26, L1-3 y L3-15, con aumentos en la profundidad de la napa de 0.105 m, 0,102 m y 0,096 m, respectivamente. Para octubre de 2014, los principales descensos de la napa se observaron en las parcelas L3-15, L2-26 y L2-28, con valores de 0,072 m, 0,070 m y 0,069 m, respectivamente.

Respecto de la variación histórica de la profundidad de la napa freática, la Figura 3-6 muestra la comparación del valor promedio anual de las mediciones de 2014 para cada pozo de monitoreo, en relación al valor promedio registrado en el monitoreo del año anterior (2013) y al promedio histórico (2007 a 2014). Respecto de 2013, al aumento más importante en la profundidad de la napa se registró en las parcelas L3-15, L2-28 y L1-3, con descensos de la napa de 0,086 m, 0,077 y 0,071 m, respectivamente.

Respecto del valor promedio histórico (2007-2014), los descensos más significativos de la napa se registraron en las parcelas L3-15, L1-3 y L2-28, con aumentos de la profundidad de la napa de 0,468 m, 0,402 m y 0,210 m, respectivamente. Para el resto de las parcelas de monitoreo, las mediciones realizadas en 2014 muestran una situación muy similar a la registrada el año anterior (2013) y en relación al promedio obtenido para el período 2007 a 2014.

Figura 3-6. Promedio de profundidad de la napa freática para 2014 y su variación en las parcela de monitoreo, respecto del monitoreo del año anterior (2013) y promedio histórico (2007-2014).



Fuente: Elaboración propia.

3.3 — 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 Tabla 3-10 muestra listado de especies monitoreadas.

Tabla 3-10. Especies vegetales presentes en las 18 parcelas de monitoreo. Campañas de enero, abril, julio y octubre de 2014.

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>)

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.

3.3.1 — 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.

En el monitoreo realizado durante enero de 2014 se observó que un 38,5% 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 2014 la cantidad de individuos con crecimiento vegetativo disminuyó al 30,5%, correspondiendo en parte a individuos que comenzaron la producción de flores y frutos, por lo que para el mes de abril se redujeron al 0,7%. Los individuos en estado recesivo o senescente aumentaron a un 29,8% y los individuos con desarrollo de frutos se incrementaron a un 39%.

En el mes de julio de 2014 se aprecia un cambio en las proporciones de individuos por fase fenológica. Se aprecia que el 97,6% de los individuos ha iniciado la fase fenológica recesiva invernal o senescente; mientras que sólo el 2,4% 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 2014, se inicia el crecimiento vegetativo de los ejemplares, reduciéndose la cantidad de individuos en estado fenológico en receso invernal o senescencia al 61,4%; aumentando a 38,6% 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.

Figura 3-7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2014

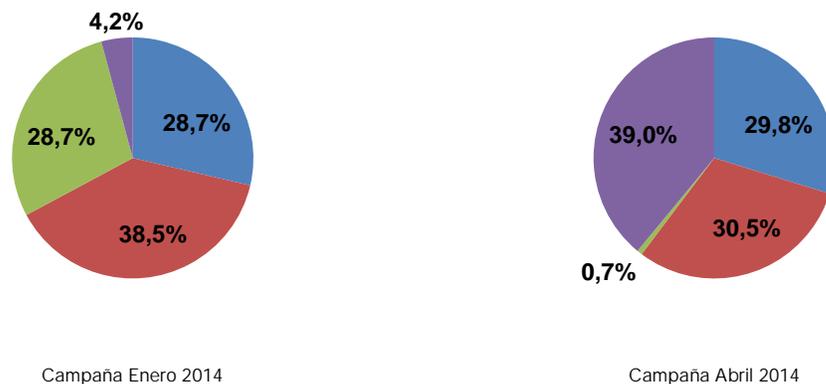
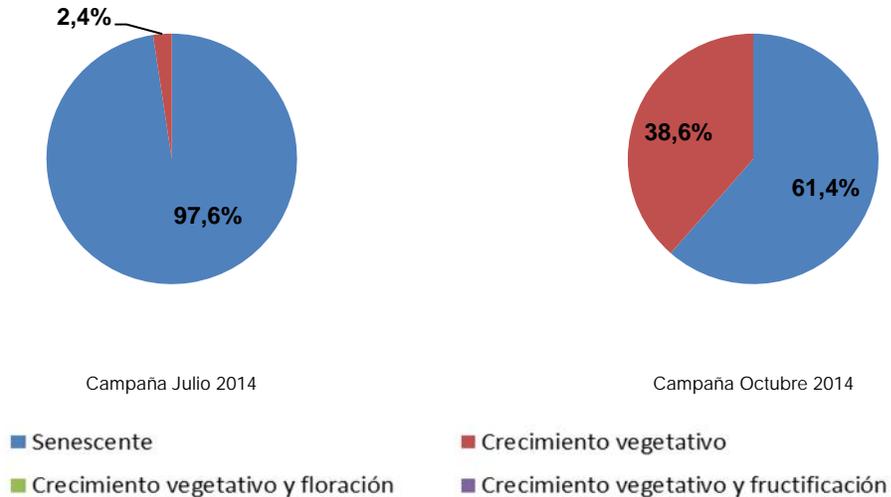


Figura 3-7. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2014



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 — 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.

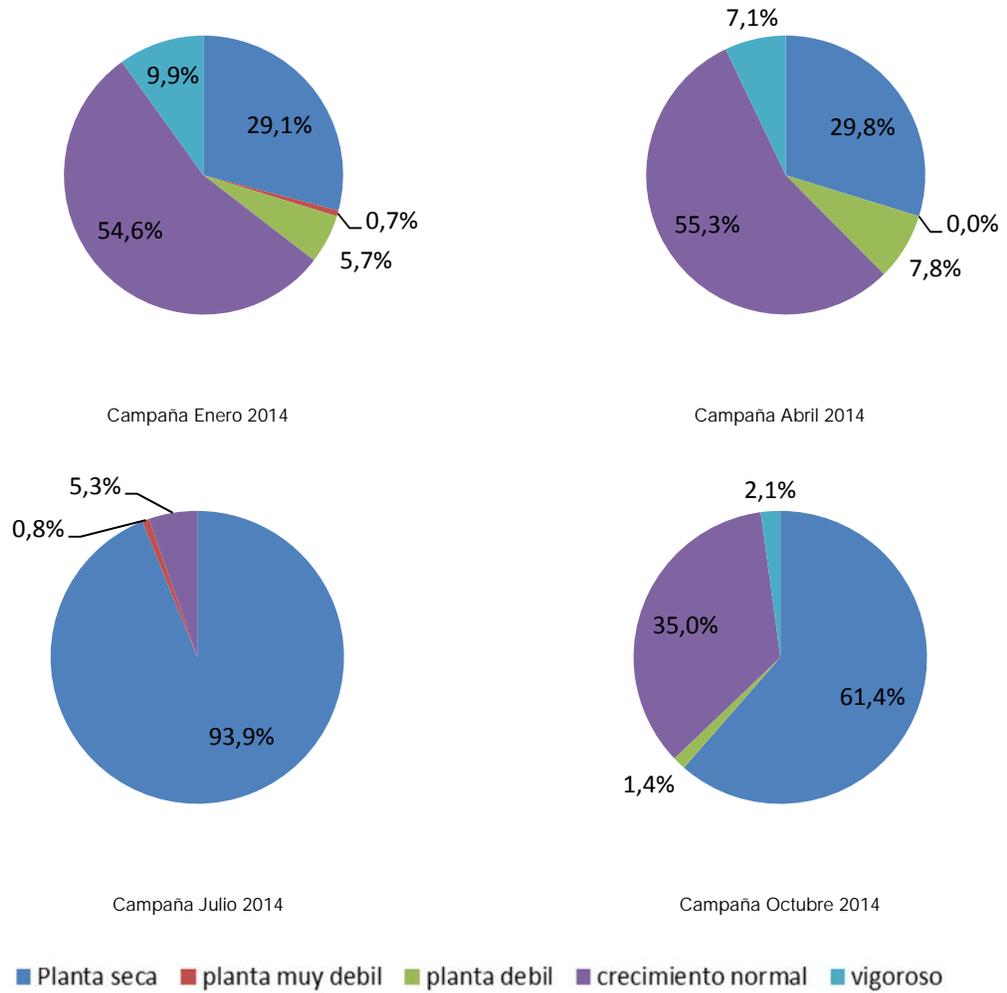
En el mes de enero de 2014 el 9,9% de los individuos fue clasificada como vigorosa y el 54,6% con crecimiento normal y sin signos de patógenos; mientras que, el 6,4% de las plantas se observó débil y/o muy débil; el 29,1% como plantas en un estado recesivo o senescente.

En abril de 2014 se observó que un 7,1% de los individuos estuvieron vigorosos; el 55,3% con crecimiento normal; el 7,8% se observó débil y el 29,8% fue clasificada en un estado recesivo o senescente.

En julio de 2014 sólo el 5,3% de los individuos con crecimiento normal. El restante 93,9% de los ejemplares se clasificaron como recesivos o senescentes y un 0,8% fue clasificado como muy débil, situación normal en esta época del año.

Para octubre de 2014 las plantas ya finalizaron el proceso de recesión invernal, observando un cambio en el vigor respecto del monitoreo anterior. Un 2,1% de los individuos presentó un estado vigoroso, el 35% crecimiento normal y el 61,4% restante fue clasificado en estado recesivo o senescente y un 1,4% fue clasificado como débil.

Figura 3-8. Vigor de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2014



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 — 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.

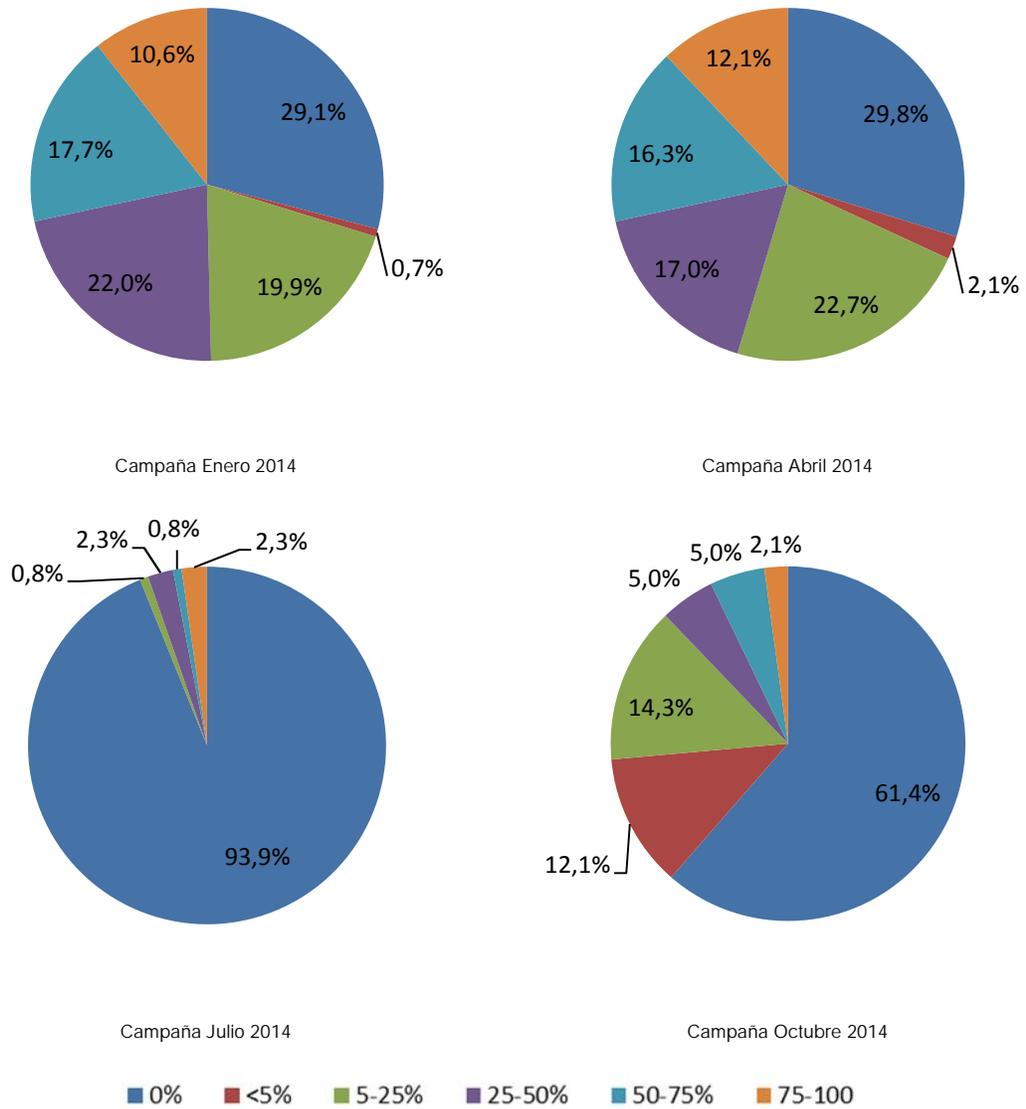
En enero de 2014 el 10,6% de los individuos tuvo entre el 75 a 100% de su follaje verde, el 17,7% entre el 50 a 75% y el 22% de los individuos tuvo entre el 25 a 50%. El 19,9% de los individuos tuvo entre el 5 a 25% de su follaje verde, y el 0,7% menos del 5% de follaje verde. Hubo un 29,1% de individuos sin follaje verde.

Para abril de 2014 el 12,1% de los individuos tuvo entre el 75 a 100% de su follaje verde, el 16,3% entre el 50 a 75% y el 17% de los individuos tuvo entre el 25 a 50%. El 22,7% de los individuos tuvo entre el 5 a 25% de su follaje verde, el 2,1% menos del 5% de follaje verde. Hubo un 29,8% de individuos sin follaje verde.

Para la campaña de julio de 2014 el 93,9% de los individuos muestreados no presenta follaje verde, debido al receso invernal. De los ejemplares restantes, un 2,3% tuvo entre un 75 a 100% de follaje verde y el 0,8% entre 5 a 25%. La categoría 50 a 75% está representada con tan solo un 0.8%, 25 a 50% con un 2,3% de representatividad, la categoría menor a 5% no incluyó individuos que la representaran.

Para la campaña de octubre de 2014, 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 acaba y comienzan demostrado por el aumento en el follaje verde. El 2,1% de los individuos tuvo un porcentaje de follaje verde que varió entre 75 a 100%; el 5% varió entre un 50 a 75% de follaje verde; el 5% entre 25 a 50%; el 14,3% entre 5 a 25% y el 12,1% fue menor a 5%. Un 61,4% de los individuos no presentaron follaje verde, ya sea por senescencia o receso invernal.

Figura 3-9. Porcentaje de follaje verde de los individuos monitoreados en las campañas de enero, abril, julio y octubre de 2014



Fuente: Elaboración propia

3.4 — Variación interanual de la vitalidad de la vegetación

3.4.1 — *Atriplex atacamensis*

La Figura 3-10 (A) representa el comportamiento del follaje verde en *Atriplex atacamensis*. De la figura se destaca lo siguiente:

- Enero: Se aprecia la disminución total de los individuos con un follaje verde en el rango 75 a 100% y un aumento similar en los individuos en las categorías 25 a 50% y 50 a 75%, respecto de los años anteriores. Desde el año 2013 se mantiene la proporción de individuos sin desarrollo de hojas (0%)
- Abril: Se aprecia aumento considerable 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: Los monitoreos muestran que la especie tiende a perder estructuras verdes durante el invierno, observando ejemplares con follaje verde que van desde 25 a 50% hasta 75 a 100%. Cabe mencionar que este monitoreo se registró tres individuos sin follaje verde, variación respecto del año 2013, en el cual no hubo. Por otra parte, entre los años 2009 y 2011 sí se registró individuos sin estructuras fotosintéticas para este monitoreo, lo cual podría indicar un comportamiento estacional de pérdida de follaje.
- Octubre 2013: La cantidad de individuos con follaje verde en la categoría 75 a 100% se mantiene respecto del año anterior; aunque aumentan los individuos en la categoría 25 a 50 y 50 a 75%. Los ejemplares sin follaje verde han aumentado desde 2009.

La Figura 3-10 (B) muestra el vigor de la especie registrado para todos los monitoreos. Al respecto se puede mencionar:

- Enero 2014: Al comparar los monitoreos se aprecia la disminución de los individuos con crecimiento normal, y el aumento de los ejemplares en estado vigoroso tendencia que se mantiene desde 2012. Por otra parte, se mantiene la cantidad de individuos con follaje seco desde 2013.
- Abril 2014: Predominan los individuos con crecimiento vigoroso desde el año 2013, habiendo una fuerte disminución de la cantidad de individuos con crecimiento normal. A su vez, el número de individuos recesivos o secos se mantuvo respecto del año anterior.
- Julio 2014: No se identificaron individuos vigorosos en este monitoreo, lo que mantiene la tendencia de los años 2010 a 2012, siendo el año 2013 la primera vez que se registró ejemplares vigorosos en julio. Se registró la presencia de un ejemplar en estado muy débil.
- Octubre 2014: El vigor de los individuos para este monitoreo, habitualmente es normal. Para el año 2014 hubo presencia de ejemplares vigorosos y otros en estado recesivo o seco, siguiendo la tendencia del año 2013.

La Figura 3-10 presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares de *Atriplex atacamensis* monitoreados. De la figura se extrae:

- Enero 2014: En el monitoreo 2014 y en contraste con lo observado en los otros años, se ha identificado que los ejemplares se encuentran en un estado fenológico, crecimiento vegetativo y floración, habiendo individuos en estado senescente.
- Abril 2014: En el monitoreo del año 2013 se observó que los ejemplares sólo tuvieron crecimiento vegetativo. Sin embargo, manteniendo la tendencia de los años anteriores, el monitoreo de 2014 muestra una fuerte alza en la fructificación en esta época.
- Julio 2014: La mayor parte de los individuos perdieron estructuras fotosintéticas en este monitoreo, encontrándose solo ejemplares en estado de crecimiento vegetativo. En años anteriores se aprecia que para este monitoreo es frecuente la fructificación.
- Octubre 2014: Es común para este mes identificar solo ejemplares en crecimiento vegetativo y algunos senescentes, en contraste con el año 2013, no se identificaron individuos en estado de fructificación.

Figura 3-10. *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 2014.

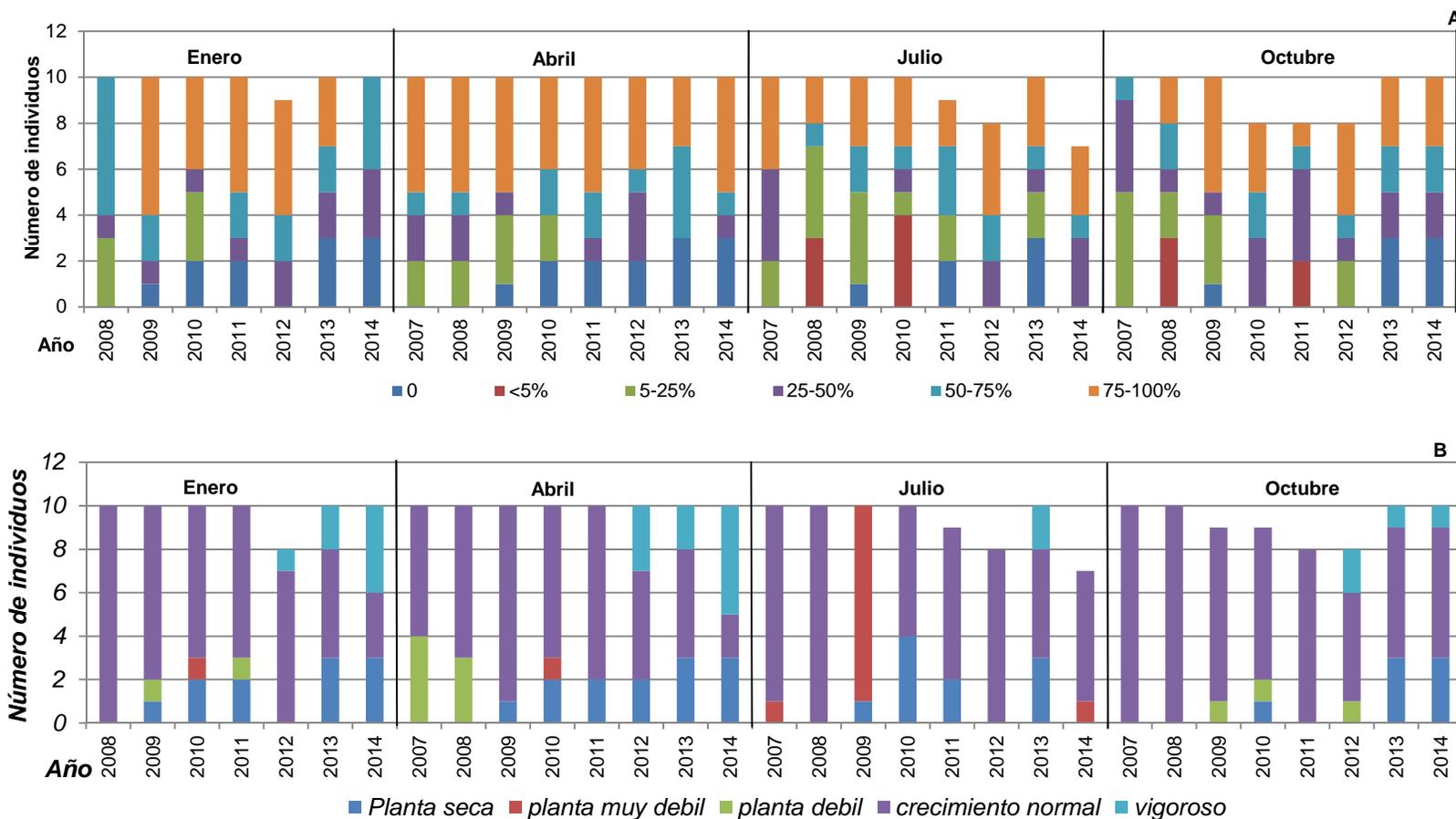
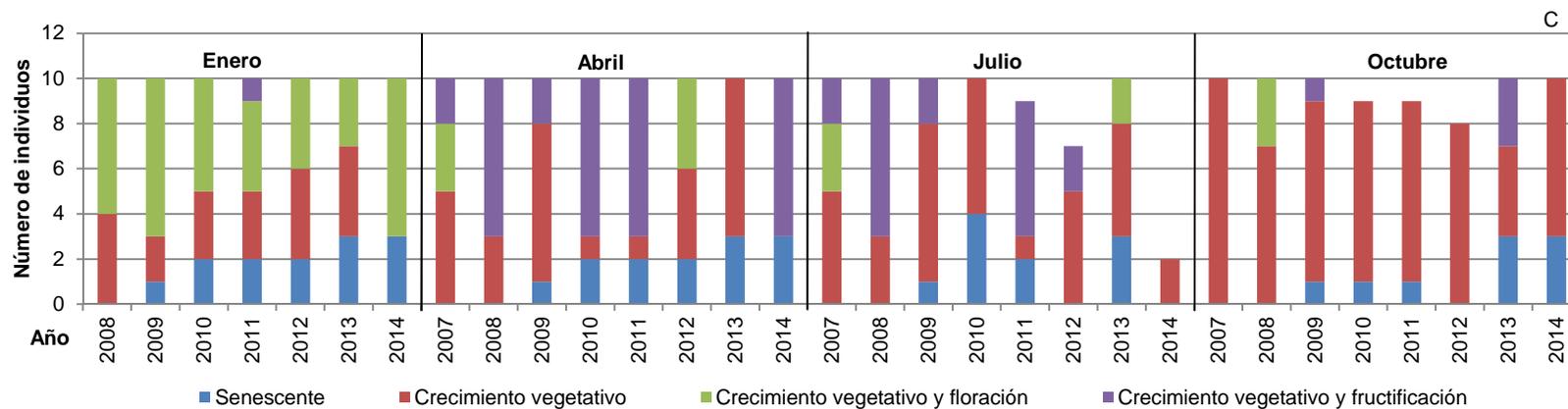


Figura 3-10. *Atriplex atacamensis*: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2014.



Fuente: Elaboración propia

3.4.2 — *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 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 3-11 (A), en la cual se aprecia:

Enero 2014: se mantuvo el número de individuos con follaje verde entre 75 a 100% desde el año 2013. Disminuyó el número de ejemplares sin follaje verde registrado desde el año 2012, y aumentó la cantidad de individuos con follaje verde entre las categorías 25-50% y 50-75% desde el año anterior.

- Abril 2014: En comparación al año 2013, aumentó la cantidad de individuos sin follaje, se mantuvieron la cantidad de individuos de clases intermedias (5-25% y 25-50%), aumentó la cantidad de individuos de follaje verde de clase 50-75% y hubo una disminución total de los individuos con 100% de follaje verde.
- Julio 2014: 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%, en contraste con dicha situación, el monitoreo de este año muestra una baja en la cantidad de ejemplares totales y con una cobertura de entre 5-25% de follaje verde.
- Octubre 2013: La especie sale del receso invernal, por lo cual se aprecian ejemplares con poco follaje verde (menor al 50%). Desde el año 2013 un sólo individuo tuvo una proporción de follaje verde en la categoría 25 a 50% y uno en categoría de 0% de follaje verde, mientras que el resto de los individuos se distribuye entre las categorías menor a 5% y 5 a 25%. Sólo en los años 2007 y 2012 se ha observado ejemplares con follaje verde sobre el 50%.

Respecto al vigor se observa en la Figura 3-11 (B) lo siguiente:

- Enero 2014: En los monitoreos realizados los ejemplares siempre han mostrado un vigor clasificado como normal. Para el monitoreo del año 2014 se muestra que la mayoría de los individuos posee un crecimiento normal a vigoroso.
- Abril 2014: El año 2014 los ejemplares presentaron crecimiento normal.
- Julio 2014: 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, un individuo con crecimiento normal.
- Octubre 2014: Todos los individuos registran un crecimiento normal, similar a lo observado en años anteriores.

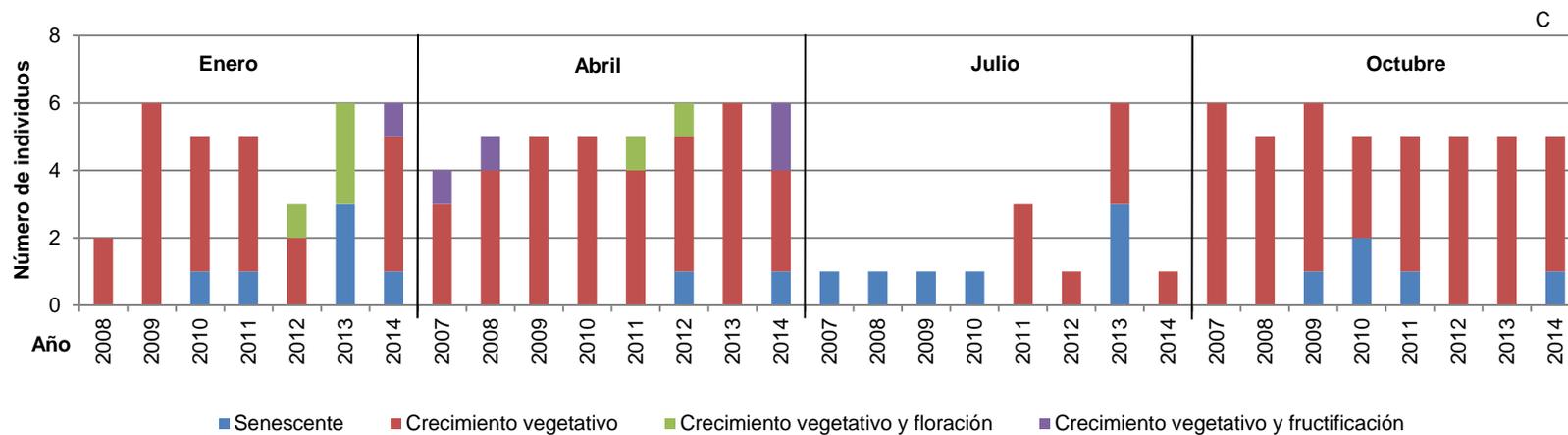
La fenología de *D. spicata* se presenta en la Figura 3-11 (C).

- Enero 2014: Se presentó la misma tendencia de los años 2008 a 2011, con varios ejemplares en crecimiento vegetativo, un ejemplar en estado de fructificación y uno en estado senescente.
- Abril 2014: Todos los individuos tuvieron crecimiento vegetativo, similar a los años anteriores.
- Julio 2014: La mayoría de los ejemplares estaba en el estado fenológico recesivo o senescente.
- Octubre 2014: Todos los individuos tuvieron crecimiento vegetativo, similar a los años anteriores.

Figura 3-11. *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 2014.



Figura 3-11. *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 2014.



Fuente: Elaboración propia

3.4.3 — *Nitrophilla atacamensis*

Los resultados del monitoreo de follaje verde se presentan en la Figura 3-12 (A) y se comentan a continuación:

- Enero 2014: El follaje verde de los individuos monitoreados varía entre 75 a 100%, similar a lo observado en 2012 y 2013.
- Abril 2014: En los últimos tres años se ha registrado que el follaje verde de los individuos varía entre 75 a 100%, para el último monitoreo se observa que uno de los individuos monitoreados posee una follaje verde de entre 75 a 100%, mientras que el otro individuo se encuentra en la categoría de entre 25 a 50% de follaje verde.
- Julio 2014: En esta época la especie se encuentra en un estado recesivo eliminando las estructuras verdes.
- Octubre 2014: Se aprecia que los ejemplares tienen menor proporción de estructura verdes, las cuales recién se forman luego del periodo recesivo.

De los resultados del vigor de la especie que se muestran en la Figura 3-12 (B), se extrae:

- En los meses de enero y abril, los ejemplares monitoreados tuvieron un crecimiento normal, lo cual coincide con lo observado en monitoreos anteriores. Para el mes de octubre se identifican como crecimiento normal y vigoroso similar a lo ocurrido en 2011
- En julio los individuos comienzan con su periodo recesivo, por lo cual se han registrado como secos.

Respecto a las observaciones del monitoreo de la fenología (Figura 3-12 (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 3-12. *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 2014.

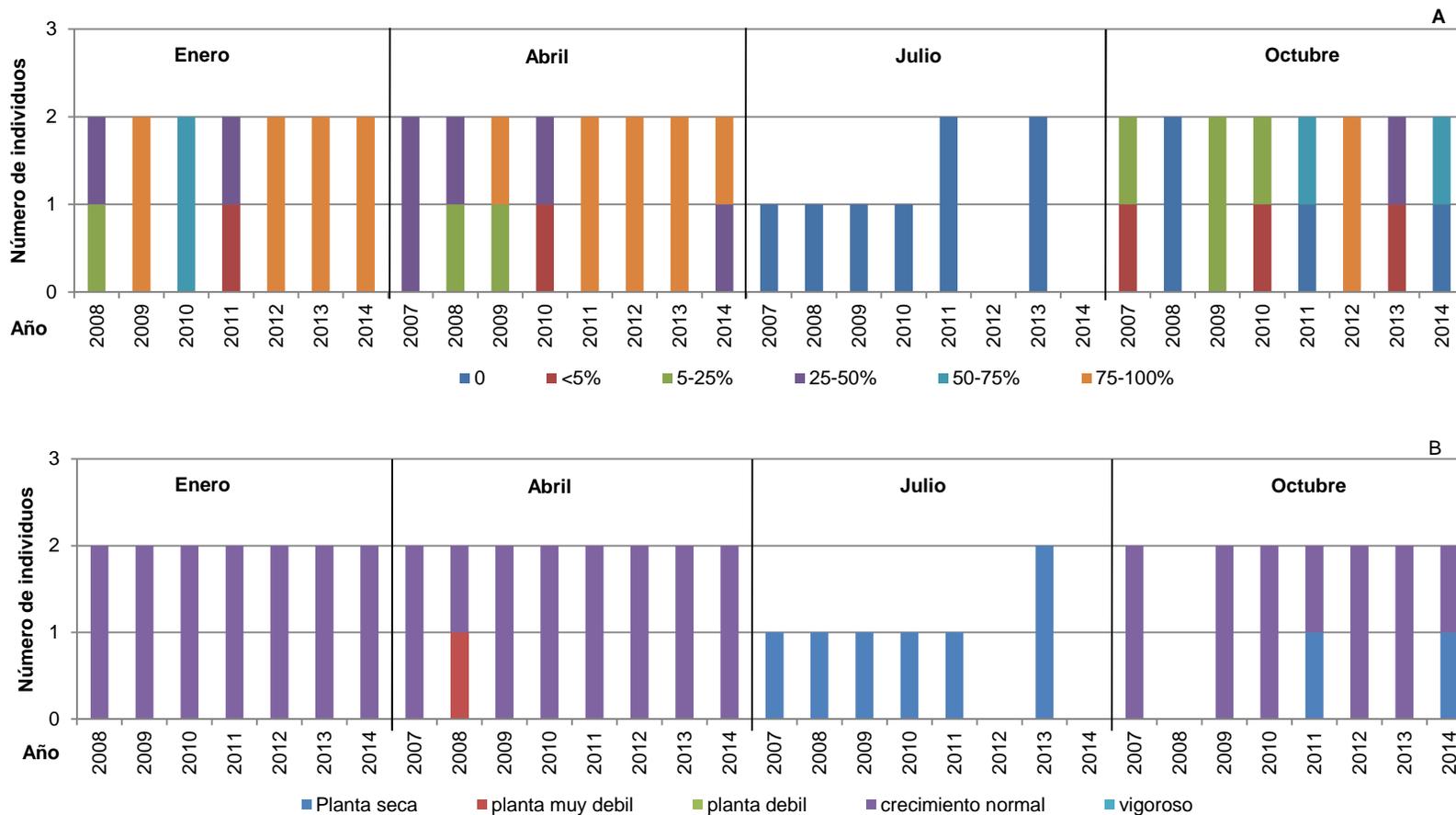
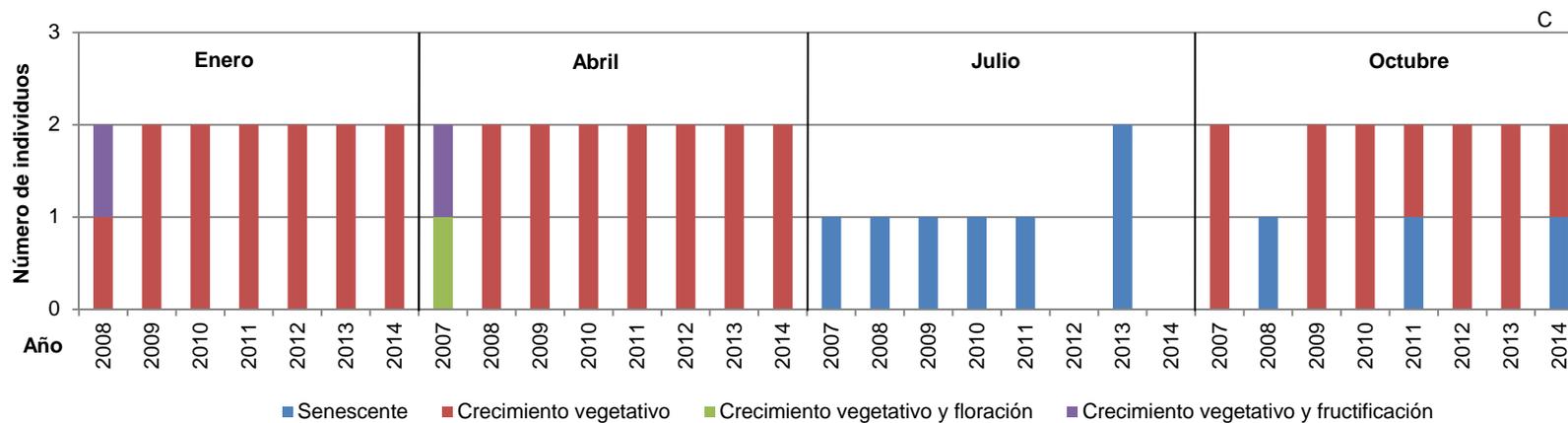


Figura 3-12. *Nitrophilla atacamensis*: Número de individuos por categoría de porcentaje de follaje verde (A), número de individuos por categoría de vigor (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2014.



Fuente: Elaboración propia

3.4.4 — *Tessaria absinthioides*

La Figura 3-13 (A) representa el comportamiento del follaje verde de en *Tessaria absinthioides*. De la figura se destaca lo siguiente:

- Enero 2014: El follaje verde de las categorías mayores a 50%, han mantenido un número de individuos casi constante en el tiempo, sumando entre ambas alrededor de 40 ejemplares. Por otra parte, los ejemplares de las categorías entre menor a 5 a 50% han disminuido en número, incrementándose los ejemplares en estado recesivo o sin follaje verde.
- Abril 2014: El monitoreo 2014 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 2014: Para este monitoreo la especie se encuentra en estado recesivo.
- Octubre 2014: 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 3-13 (B) muestra el vigor de la especie para todos los monitoreos, de lo cual se extrae:

- Enero 2014: 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, disminuyendo para el año 2014. El grupo de plantas en estado recesivo o seco, ha aumentado desde el año 2008.
- Abril 2014: El vigor en este monitoreo es similar a enero, predomina el crecimiento normal, aunque hay algunos ejemplares con vigor débil y vigoroso. El número de ejemplares clasificados como planta seca o recesivo, ha aumentado en cada monitoreo anual.
- Julio 2014: Los ejemplares se encuentran en receso invernal.
- Octubre 2014: 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.

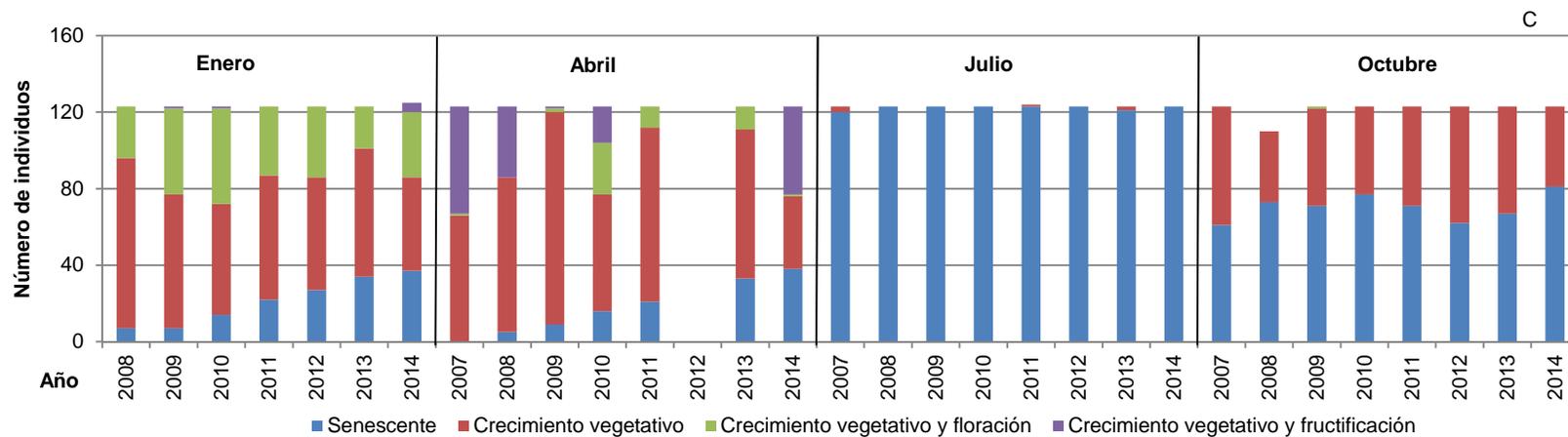
En la Figura 3-13 (C) presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares monitoreados. Al respecto:

- Enero 2014: 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 2014: En este periodo los ejemplares en los años 2007, 2008 y 2010 hubo algunos individuos en estado de fructificación, mientras que, para el año 2013 sólo se observó algunos ejemplares produciendo flores y la gran parte con crecimiento vegetativo, para el año 2014 aumentó considerablemente la cantidad de individuos con presencia de frutos.
- Julio 2014: Los ejemplares se encuentran en receso invernal.
- Octubre 2014: Los ejemplares salen de su periodo recesivo y comienzan con el crecimiento vegetativo.

Figura 3-13. *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 2014.



Figura 3-13. *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 2014.



Fuente: Elaboración propia

4 — CONCLUSIONES

4.1 — Contenido de humedad y profundidad de la napa

Al analizar la tendencia histórica del contenido de humedad en los puntos monitoreados, se obtiene que no existe tendencia al aumento o disminución del contenido de humedad, para ninguno de los meses monitoreados. Por otra parte, en los puntos con bajo contenido de humedad, existe un efecto de las propiedades edáficas, de baja retención de humedad y no corresponde a efectos del Proyecto.

La profundidad de la napa durante el año 2014 tuvo una variación mínima en todas las parcelas monitoreadas. Lo mismo se aprecia en la comparación histórica de los valores de profundidad de la napa, donde la variabilidad fue baja, destacándose el punto L3-15 como el que tuvo la máxima variabilidad de su profundidad, con un promedio en enero de 3,979 m y una desviación estándar de 0,353 m.

La profundidad de la napa de la parcela L3-15, ubicada en las cercanías del pozo Camar 2, tuvo un considerable aumento cuando se iniciaron las actividades de extracción, pero en los últimos monitoreos se ha observado la tendencia a estabilizarse el nivel.

La mayor variación de contenido de humedad durante el año se aprecia en los puntos L9-1 y L3-5, cuyos valores promedio fueron de 0,087 g/g y 0,553 g/g, con desviaciones estándar de 0,042 g/g y 0,088 g/g, respectivamente. Entre ambas parcelas de monitoreo, los meses con valores que afectan la variación son distintos. En el pozo L9-1 es en abril cuando el contenido de humedad alcanza el mayor valor (0,210 g/g), mientras que para el pozo L3-5, es enero cuando el contenido de humedad registra el valor de 0,553 g/g. Esto puede ser atribuido a la ocurrencia esporádica y localizada de precipitaciones en el borde este del Salar.

4.2 — Vitalidad de la vegetación

4.2.1 — General

El monitoreo a la fenología de la vegetación indica que en enero y octubre del año 2014 ocurre el máximo de crecimiento vegetativo. En esos meses, alrededor del 39% de la vegetación presentó sólo crecimiento vegetativo. Por otra parte, en Abril se observó la máxima floración con un 39% 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 (7 a 10%) con apariencia vigorosa y otro con crecimiento normal (54 a 55%). En julio, se aprecia un amplio número de plantas en la categoría más baja de vigor, 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.

4.2.2 — Análisis interanual

Los resultados del monitoreo a *Atriplex atacamensis* permiten concluir que:

- Si bien los resultados muestran que de los ejemplares bajo monitoreo con follaje verde en la categoría 75 a 100% han disminuido (aumentando el número de ejemplares en las categorías inferiores), se ha observado en los puntos de monitoreo el establecimiento de nuevos ejemplares, con follaje verde por sobre el 75%, antecedente que ha quedado establecido en fiscalizaciones realizadas por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) en el marco del monitoreo de la vegetación de este proyecto. Por otra parte, la extracción de ejemplares por parte de lugareños, es otro elemento que distorciona los resultados acá presentado. El vigor de los ejemplares monitoreados es normal, con algunos ejemplares vigorosos registrados en los últimos tres años.
- El crecimiento vegetativo es el estado fenológico dominante durante el año, observando una escasa producción de frutos en los últimos dos años.

Del seguimiento a ejemplares de *Distichlis spicata* se extrae:

- 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 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. En los últimos años, durante enero y abril se han detectado individuos en etapa de floración.

Para *Nitrophilla atacamensis* se concluye lo siguiente:

- 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, excepto durante el periodo de recesivo (julio).
- 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*:

- Los 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 los meses de enero y abril 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.

5 — BIBLIOGRAFÍA

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