



INFORME ANUAL DE MONITOREO CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO 2012



PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL SALAR DE ATACAMA.

PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA II REGIÓN.
SEPTIEMBRE 2013

Campañas Enero, Abril, Julio Y Octubre 2012

geobiota 

SQM05800-INF-REV-0

CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	METODOLOGÍA	3
2.1.	Diseño muestral	3
2.2.	Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	4
2.3.	Profundidad de la napa subterránea.....	8
2.4.	Estado vital de la vegetación	9
3.	RESULTADOS OBTENIDOS	11
3.1.	Contenido de humedad del suelo y profundidad de la napa	11
3.2.	Variación interanual del contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa subterránea.....	15
3.3.	Estado vital de la vegetación	23
3.3.2	Fenología.....	23
3.3.3	Vigor	25
3.3.4	Porcentaje de copa verde.....	27
3.4.	Variación interanual de la vitalidad de la vegetación	29
3.4.1.	<i>Atriplex atacamensis</i>	29
3.4.2.	<i>Distichlis spicata</i>	33
3.4.3.	<i>Nitrophilla atacamensis</i>	37
3.4.4.	<i>Tessaria absinthioides</i>	41
4.	CONCLUSIONES.....	45
4.1.	Contenido de humedad y profundidad de la napa.....	45
4.2.	Vitalidad de la vegetación.....	45

ANEXO I RESULTADOS Y FOTOGRAFÍAS CAMPAÑAS AÑO 2012

ANEXO II RESULTADOS DE PRECIPITACIONES 1999-2012

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Informes de monitoreo y variables evaluadas de acuerdo a lo establecido en la RCA 226/06, Plan de Seguimiento Ambiental Salar de Atacama.....	2
Tabla 2.1-1	Ubicación de las parcelas de monitoreo (UTM DATUM Psad 56) y especies vegetales presentes.....	4
Tabla 2.2-1	Profundidad del estrato con presencia de raíces.....	5
Tabla 2.4-1	Categorías de porcentaje de copa verde	9

Tabla 2.4-2 Categorías de vigor.....	9
Tabla 2.4-3 Fases fenológicas.....	10
Tabla 3.1-1 Contenido de humedad del suelo y profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las Campañas de enero, abril, julio y octubre de 2012.....	11
Tabla 3.2-1 Variación interanual del contenido de humedad (g/g) del suelo, según mes de muestreo (enero y abril) en cada parcela de monitoreo. Años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.	16
Tabla 3.2-2 Variación interanual del contenido de humedad (g/g) del suelo, según mes de muestreo (julio y octubre) en cada parcela de monitoreo. Años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.	17
Tabla 3.2-3 Variación interanual de la profundidad de la napa (m) del suelo, según mes de muestreo (Enero y abril) en cada parcela de monitoreo. Años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.....	18
Tabla 3.2-4 Variación interanual de la profundidad de la napa (m) del suelo, según mes de muestreo (julio y octubre) en cada parcela de monitoreo. Años 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.	19
Tabla 3.3-1 Especies vegetales presentes en las 18 parcelas de monitoreo. Campañas de enero, abril, julio y octubre de 2011.	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1-1 Ubicación de parcelas de monitoreo	3
Figura 2.2-1 Metodología para determinar el contenido de humedad del suelo	7
Figura 2.3-1 Metodología para la medición de profundidad de la napa	8
Figura 2.4-1 Medición del estado vital de la vegetación.....	10
Figura 3.1-1 Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa por parcela durante los monitoreo enero, abril, julio y octubre del año 2012.	12
Figura 3.1-2 Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2012.....	13
Figura 3.2-1 Variación interanual por mes de muestreo del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por punto de monitoreo desde el año 2007 a 2012*	20

Figura 3.2-2 Variación de la profundidad de la napa, por punto de monitoreo desde el año 2007 a 2012*22

Figura 3.3-1 Fenología campañas de enero, abril, julio y octubre de 2012.....24

Figura 3.3-2 Vigor campañas de enero, abril, julio y octubre de 2012.....26

Figura 3.3-3 Porcentaje de copa verde campañas de enero, abril, julio y octubre de 201228

Figura 3.4-1 *Atriplex atacamensis*. Número de individuos por categoría de porcentaje de copa verde. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.....30

Figura 3.4-2 *Atriplex atacamensis*. Número de individuos por categoría de vigor. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.....31

Figura 3.4-3 *Atriplex atacamensis*. Número de individuos por categoría de fenología. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.32

Figura 3.4-4 *Distichlis spicata*. Número de individuos por categoría de porcentaje de copa verde. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.....34

Figura 3.4-5 *Distichlis spicata*. Número de individuos por categoría de vigor. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.35

Figura 3.4-6 *Distichlis spicata*. Número de individuos por categoría de fenología. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.....36

Figura 3.4-7 *Nitrophilla atacamensis*. Número de individuos por categoría de porcentaje de copa verde. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.....38

Figura 3.4-8 *Nitrophilla atacamensis*. Número de individuos por categoría de vigoR. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.....39

Figura 3.4-9 *Nitrophilla atacamensis*. Número de individuos por categoría de fenología. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.40

Figura 3.4-10 *Tessaria absinthioides*. Número de individuos por categoría de porcentaje de copa verde. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.....42

Figura 3.4-11 *Tessaria absinthioides*. Número de individuos por categoría de vigor. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.....43

Figura 3.4-12 *Tessaria absinthioides*. Número de individuos por categoría de fenología. Campañas 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012.44

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe da cuenta de los resultados del seguimiento ambiental del contenido de humedad del suelo en el Borde Este del Salar de Atacama, efectuado durante el año 2012. 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 objetivo 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 2.1-1) 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 según se detalla en la Tabla 1-1. Con posterioridad a ello se ha entregado tres informes operacionales anuales (2009, 2010 y 2011), que compilan los monitoreos de los meses de Enero, Abril, Julio y Octubre. El presente informe corresponde a la cuarta entrega.

TABLA 1-1
INFORMES DE MONITOREO Y VARIABLES EVALUADAS DE ACUERDO A LO ESTABLECIDO EN LA RCA 226/06, PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL
SALAR DE ATACAMA.

Variables de medición Establecidas	Frecuencia de medición establecida		Etapa Pre-Operación (Mes de monitoreo)					Etapa Operación (Mes de monitoreo)																		
			2007			2008		2009				2010				2011				2012						
	Etapa Pre-Operación	Etapa Operación	A C.1	J C.2	O C.3	E C.4	A C.5	J C.6	O C.7	E C.8	A C.9	J C.10	O C.11	E C.12	A C.13	J C.14	O C.15	E C.16	A C.17	J C.18	O C.19	E C.20	A C.21	J C.22	O C.23	
Contenido de humedad del suelo	1 vez	Trimestral		(1)	(1)	(1)																				
Estado vital de la vegetación	1 vez	Bianual		(1)	(1)	(1)				(1)	(1)				(1)	(1)				(1)	(1)			(1)	(1)	
Nivel de la napa	1 vez	Trimestral	(2)																							

(1) Corresponde a mediciones adicionales no contempladas en la RCA 226/06.

(2) A la fecha de este monitoreo (abril de 2007) los pozos de monitoreo no se encontraban habilitados, por lo que no se cuenta con información para esta variable.

	Informes Anuales
	Inicio bombeo pozo Camar 2. 13 de marzo de 2008.
	Inicio bombeo pozos Allana y Mullay 1. 15 de septiembre de 2008.

E: Enero

A: Abril

J: Julio

O: Octubre

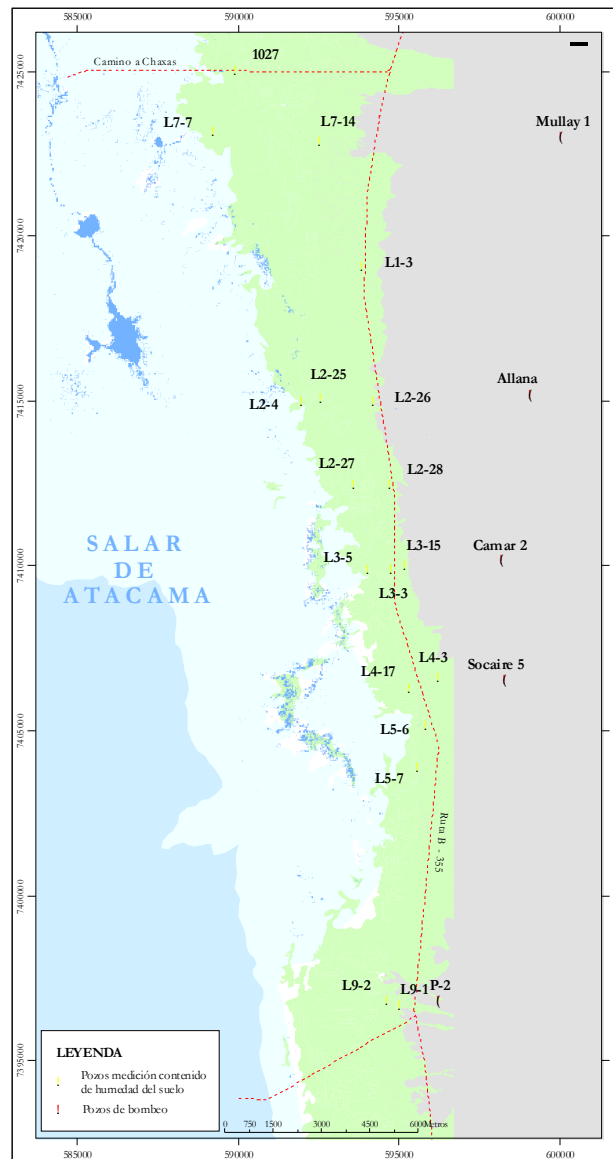
C: Campañas de monitoreo

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 2.1-1). En cada parcela se realizan las mediciones de contenido de humedad del suelo, profundidad de la napa y monitoreo de vegetación.

**FIGURA 2.1-1
UBICACIÓN DE PARCELAS DE MONITOREO**



La Tabla 2.1-1 señala la ubicación exacta de las parcelas de monitoreo y las especies vegetales asociadas a cada punto.

TABLA 2.1-1
UBICACIÓN DE LAS PARCELAS DE MONITOREO (UTM DATUM PSAD 56)
Y ESPECIES VEGETALES PRESENTES

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

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

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 2.2-1.

Previo a la extracción de muestras en terreno, en laboratorio se pesa 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 2.2-1).

TABLA 2.2-1
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO CON PRESENCIA DE RAÍCES

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

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 2.2-1):

a. Determinación de peso húmedo (PH) de las muestras

La primera etapa consiste en el pesaje de las muestras de suelo en estado húmedo. Para ello se pesan 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.

b. Secado y determinación del peso seco (PS) de las muestras

Para el secado se extrae el suelo de las bolsas, cuidando de sacar la totalidad de la muestra. Ésta se dispone sobre una bandeja de aluminio de peso conocido y se lleva 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 pesan (precisión 0,1 g). El peso seco de la muestra se obtiene descontando el peso de la bandeja.

c. Cálculo del contenido de humedad gravimétrico del suelo

El cálculo del contenido de humedad gravimétrico del suelo se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$Ch_g = (PH - PS / PS)$$

Donde,

Ch_g : Contenido de humedad gravimétrico (g/g)

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

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

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

**FIGURA 2.2-1
METODOLOGÍA 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.



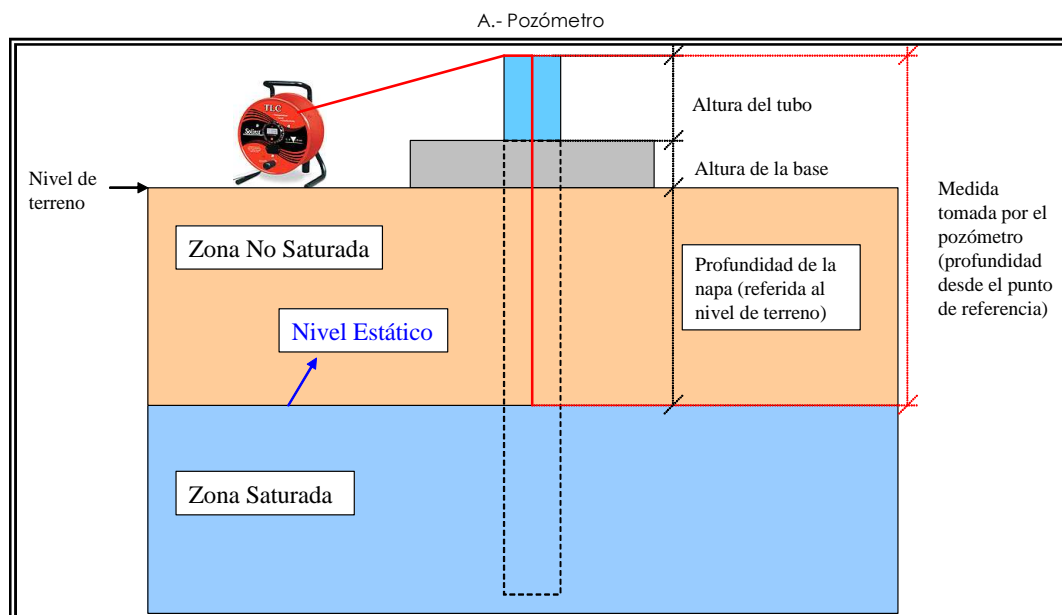
Muestras secas en proceso de pesaje.

2.3. PROFUNDIDAD DE LA NAPA SUBTERRÁNEA

Esta medición se realiza 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 realiza con un pozómetro (Figura 2.3-1A), 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 (esquema Figura 2.3-1B).

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

**FIGURA 2.3-1
METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD DE LA NAPA**



B.- Esquema de la medición con pozómetro de la profundidad de la napa en un pozo

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 realiza por medio de 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 2.4-1). En los casos que hubo menos individuos en la parcela, se etiquetó a todos; y cuando la vegetación fue 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 copa verde. Esta variable evalúa la proporción de follaje verde versus la estructura aérea total de la planta.

TABLA 2.4-1
CATEGORÍAS DE PORCENTAJE DE COPA VERDE

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

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

TABLA 2.4-2
CATEGORÍAS DE VIGOR

CATEGORÍA	VIGOR
1	Plantas secas
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

d. Estado Fenológico. Evalúa la formación de estructuras en la planta.

**TABLA 2.4-3
FASES FENOLÓGICAS**

CATEGORÍA	FASE FENOLÓGICA
1	Senescente
2	Crecimiento vegetativo
3	Floración
4	Fructificación

Adicionalmente se efectúa un registro fotográfico de los ejemplares marcados.

**FIGURA 2.4-1
MEDICIÓN DEL ESTADO VITAL DE LA VEGETACIÓN**



A.-Rotulación de individuos



B.- Medición de altura de los individuos

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO Y PROFUNDIDAD DE LA NAPA

La Tabla 3.1-1 presenta los resultados de las mediciones del contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa para las cuatro campañas de monitoreo del año 2012 (enero, abril, julio y octubre).

**TABLA 3.1-1
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO Y PROFUNDIDAD DE LA NAPA DE LAS PARCELAS
DE MONITOREO EN LAS CAMPAÑAS DE ENERO, ABRIL, JULIO Y OCTUBRE DE 2012**

POZO (O-E)	CH GRAVIMÉTRICO (G/G)				PROFUNDIDAD NAPA (M)			
	ENE.	ABR.	JUL.	OCT.	ENE.	ABR.	JUL.	OCT.
L7-7	0,537	0,560	0,619	0,644	0,490	0,516	0,451	0,414
1027	0,780	0,840	0,799	0,838	0,490	0,494	0,416	0,407
L2-4	0,461	0,707	0,673	0,611	0,887	0,828	0,809	0,820
L2-25	0,397	0,641	0,545	0,852	0,551	0,522	0,529	0,523
L7-14	0,353	0,379	0,383	0,348	1,589	1,605	1,587	1,564
L2-27	0,487	0,582	- ¹	0,610	0,966	0,959	0,858	0,839
L1-3	0,021	0,035	0,026	0,031	6,647	6,945	6,976	6,976
L3-5	0,418	0,502	0,519	0,527	0,083	0,053	0,097	0,070
L2-26	0,119	0,138	0,136	0,123	3,633	3,594	3,656	3,650
L9-2	0,041	0,088	0,111	0,101	4,169	4,097	4,112	4,113
L2-28	0,148	0,166	0,164	0,151	2,942	2,910	2,897	2,895
L9-1	0,049	0,086	0,112	0,113	5,715	5,683	5,685	5,688
L3-15	0,055	0,096	0,091	0,059	3,779	3,777	3,787	3,807
L4-17	0,190	0,197	0,213	0,212	1,943	1,941	1,917	1,897
L5-7	0,239	0,280	0,339	0,290	1,754	1,748	1,621	1,593
L5-6	0,158	0,158	0,098	0,175	2,179	2,172	2,051	2,044
L3-3	0,128	0,168	0,146	0,132	3,074	3,001	3,001	3,011
L4-3	0,001	0,017	0,017	0,011	16,258	16,299	16,306	16,342

La Figura 3.1-1, (gráfico A) muestra el comportamiento del contenido de humedad gravimétrico del suelo en los 18 puntos de medición evaluados en las 4 campañas de monitoreo del año 2012 (enero, abril, julio y octubre). Los puntos de medición se encuentran ordenados de oeste a este.

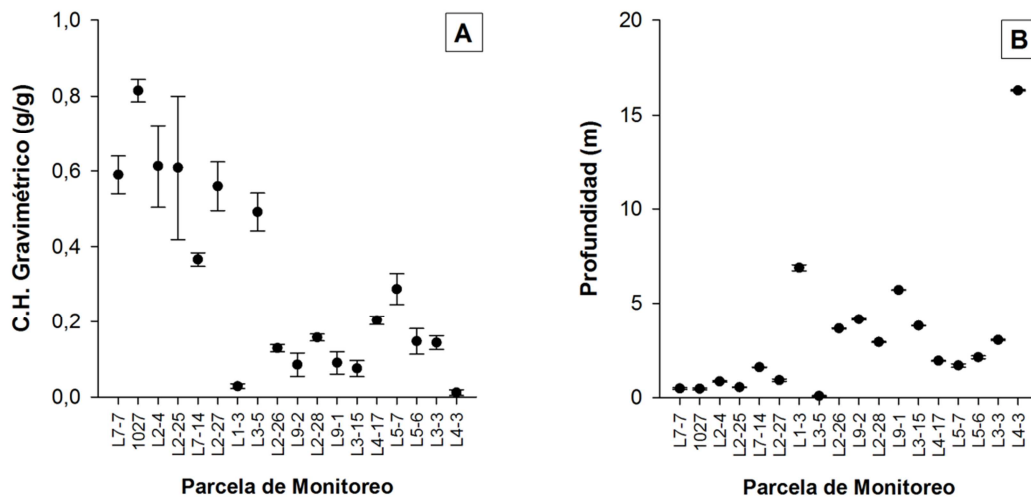
A nivel general, el contenido de humedad promedio fue mayor en las parcelas ubicadas más hacia el oeste (L7-7, 1027, L2-4 y L2-25), registrando valores que variaron entre 0,590 a 0,814 g/g. El contenido de humedad tendió a disminuir hacia el este, aunque los valores promedio más bajos no respondieron a una distribución espacial, sino que a las características del suelo. Las parcelas de monitoreo L4-3, L1-3 y L3-15 tuvieron un valor promedio de 0,012; 0,028 y 0,075 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

¹ No se registra medición de contenido de humedad de suelo por inaccesibilidad al momento del muestreo, producto de arreglo de camino debido a las lluvias registradas.

formación de estructura, lo que se traduce en perfiles con una baja capacidad de retener y mover agua.

El contenido de humedad tuvo mayor variación a lo largo del año en los puntos L2-25 y L2-4 con desviaciones estándar de 0,191 y 0,109 g/g. Mientras que el contenido de humedad gravimétrico fue más homogéneo durante el año en las parcelas de monitoreo, L1-3 y L4-3, cuyas desviaciones estándar fueron de 0,028 y 0,012 g/g, lo cual está relacionado con la baja capacidad de retener agua del perfil.

FIGURA 3.1-1
VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD GRAVIMÉTRICO DEL SUELO Y LA PROFUNDIDAD DE LA NAPA POR PARCELA DURANTE LOS MONITOREO ENERO, ABRIL, JULIO Y OCTUBRE DEL AÑO 2012.



La gráfica muestra la media y la desviación estándar de las mediciones.

En la Figura 3.1-1, (gráfico B) se representa la profundidad promedio de la napa durante las 4 campañas del año 2012. 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 registran una profundidad promedio mayor que en ambos extremos.

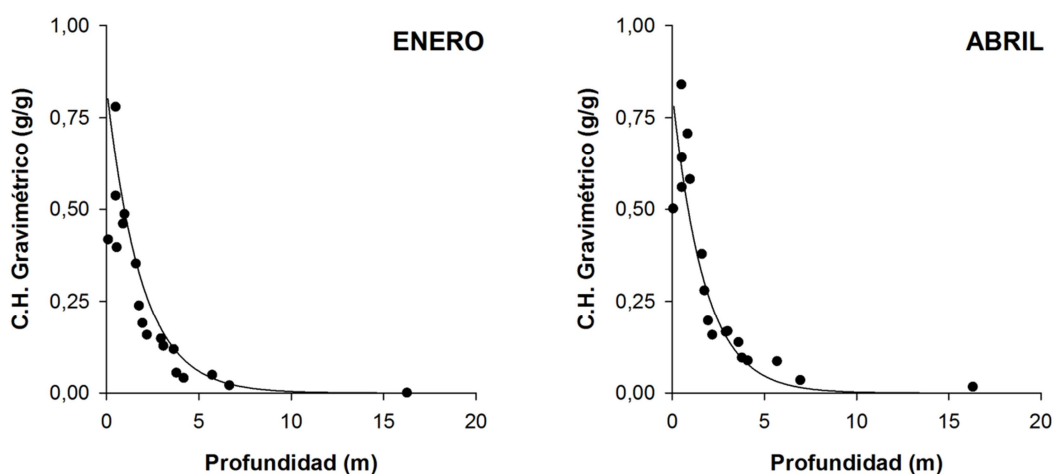
Se observa valores promedio de contenido de humedad menores o igual a 0,10 g/g. En el capítulo de variación interanual del contenido de humedad (3.2) se demuestra que esta condición ha sido una constante histórica, correspondiendo a una condición natural de la parcela de monitoreo.

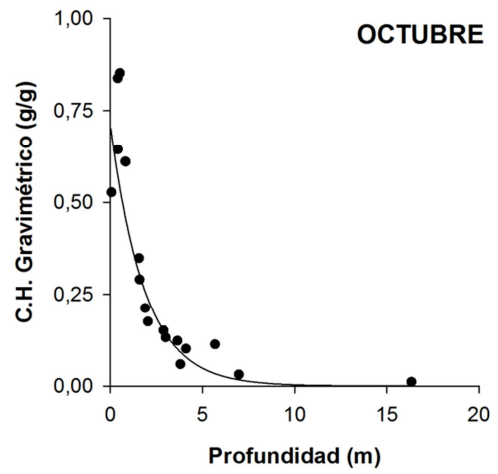
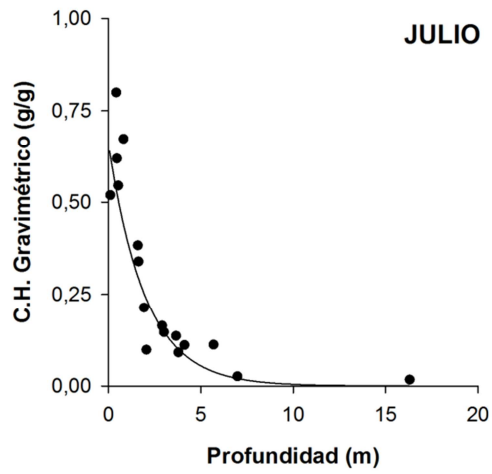
Las parcelas de monitoreo que presentaron menor profundidad promedio de la napa fueron L3-5 (0,076 ±0,019 m), 1027 (0,076 ±0,047 m), L7-7 (0,468 ±0,045 m) y L2-25 (0,531 ±0,014 m), coincidiendo con las parcelas de mayor contenido de humedad, en cuyos casos el agua asciende por capilaridad. En contraposición, la mayor profundidad de napa se observó en el pozo L4-3 (16,301 ±0,034 m), seguido por los pozos L1-3 (6,886 ±0,160 m) y L9-1 (5,693 ±0,015 m).

En la Figura 3.1-1, gráfico B, es posible apreciar que la variación de la profundidad de la napa durante el año fue mínima.

La relación entre el contenido de humedad y la profundidad de la napa se presenta en la Figura 3.1-2. En los cuatro meses (enero, abril, julio y octubre) se aprecia una relación exponencial 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.

FIGURA 3.1-2
RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD GRAVIMÉTRICO DEL SUELO Y LA PROFUNDIDAD DE LA NAPA EN CADA CAMPAÑA DEL AÑO 2012.





3.2. VARIACIÓN INTERANUAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO Y LA PROFUNDIDAD DE LA NAPA SUBTERRÁNEA

En las Tabla 3.1-1 y Tabla 3.2-2 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 3.2-3 y Tabla 3.2-4 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.

TABLA 3.2-1
VARIACIÓN INTERANUAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (G/G) DEL SUELO, SEGÚN MES DE MUESTREO (ENERO Y ABRIL) EN CADA PARCELA DE MONITOREO.
AÑOS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

PARCELA DE MONITOREO	ENERO ²					CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (g/g) ³	TASA DE VARIACIÓN ANUAL (g/g) ⁴	ABRIL						CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (g/g) ³	TASA DE VARIACIÓN ANUAL (g/g) ⁴
	2008	2009	2010	2011	2012			2007	2008	2009	2010	2011	2012		
L7-7	0,798	0,723	0,499	0,487	0,537	0,609 (0,142)	-0,08 (0,71)	0,453	0,644	0,872	0,623	0,533	0,560	0,614 (0,143)	0 (0)
1027	0,894	0,908	0,731	0,798	0,780	0,822 (0,076)	-0,03 (0,49)	0,753	0,798	0,666	0,849	0,858	0,840	0,794 (0,074)	0,02 (0,33)
L2-4	0,614	0,524	0,997	0,769	0,461	0,673 (0,215)	-0,01 (0)	0,838	0,795	0,929	0,845	0,529	0,707	0,774 (0,14)	-0,04 (0,34)
L2-25	0,935	0,707	0,625	0,828	0,397	0,698 (0,206)	-0,1 (0,54)	1,079 ⁵	0,817	1,017 ⁵	0,600	0,554	0,641	0,785 (0,223)	-0,1 (0,66)
L7-14	0,247	0,263	0,384	0,354	0,353	0,32 (0,061)	0,03 (0,62)	0,217	0,258	0,362	0,381	0,491	0,379	0,348 (0,098)	0,04 (0,7)
L2-27	0,480	0,501	0,622	0,578	0,487	0,534 (0,063)	0,01 (0,05)	0,496	0,509	0,766	0,552	0,502	0,582	0,568 (0,103)	0,01 (0,01)
L1-3	0,013	0,007	0,024	0,022	0,021	0,017 (0,007)	0 (0,47)	0,040	0,029	0,019	0,086	0,017	0,035	0,038 (0,025)	0 (0)
L3-5	0,381	0,385	0,603	0,554	0,418	0,468 (0,103)	0,02 (0,14)	0,524	0,403	0,628	0,540	0,626	0,502	0,537 (0,084)	0,01 (0,09)
L2-26	0,127	0,104	0,202	0,184	0,119	0,147 (0,043)	0,01 (0,06)	0,183	0,131	0,156	0,171	0,104	0,138	0,147 (0,029)	-0,01 (0,29)
L9-2	0,072	0,069	0,092	0,044	0,041	0,064 (0,021)	-0,01 (0,42)	0,097	0,107	0,068	0,058	0,037	0,088	0,076 (0,026)	-0,01 (0,29)
L2-28	0,149	0,151	0,177	0,146	0,148	0,154 (0,013)	0 (0,01)	0,183	0,157	0,167	0,137	0,104	0,166	0,152 (0,028)	-0,01 (0,27)
L9-1	0,105	0,031	0,170	0,096	0,049	0,09 (0,054)	0 (0,02)	0,115	0,056	0,178	0,147	0,051	0,086	0,106 (0,051)	-0,01 (0,04)
L3-15	0,031	0,014	0,023	0,043	0,055	0,033 (0,016)	0,01 (0,57)	0,066	0,052	0,039	0,052	0,067	0,096	0,062 (0,02)	0,01 (0,32)
L4-17	0,224	0,209	0,225	0,208	0,190	0,211 (0,014)	-0,01 (0,58)	0,242	0,211	0,263	0,238	0,163	0,197	0,219 (0,036)	-0,01 (0,34)
L5-7	0,233	0,230	0,356	0,299	0,239	0,271 (0,055)	0,01 (0,05)	0,338	0,259	0,244	0,448	0,238	0,28	0,301 (0,08)	0 (0,01)
L5-6	0,170	0,166	0,160	0,162	0,158	0,163 (0,005)	0 (0,84)	0,198	0,180	0,163	0,179	0,187	0,158	0,178 (0,015)	0 (0,34)
L3-3	0,103	0,063	0,116	0,122	0,128	0,106 (0,026)	0,01 (0,44)	0,133	0,132	0,121	0,111	0,106	0,168	0,129 (0,022)	0 (0,04)
L4-3	0,005	0,003	0,008	0,003	0,001	0,004 (0,003)	0 (0,23)	0,004	0,004	0,009	0,007	0,010	0,017	0,009 (0,005)	0 (0,8)

² El monitoreo comenzó en el mes de abril de 2007.

³ Desviación estándar entre paréntesis.

⁴ R² entre paréntesis.

⁵ 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%).

TABLA 3.2-2
VARIACIÓN INTERANUAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (G/G) DEL SUELO, SEGÚN MES DE MUESTREO (JULIO Y OCTUBRE) EN CADA PARCELA DE MONITOREO.
AÑOS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

PARCELA DE MONITOREO	JULIO						CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (g/g) ⁶	TASA DE VARIACIÓN ANUAL (g/g) ⁷	OCTUBRE						CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (g/g) ⁶	TASA DE VARIACIÓN ANUAL (g/g) ⁷
	2007	2008	2009	2010	2011	2012			2007	2008	2009	2010	2011	2012		
L7-7	S/I ⁸	0,577	0,693	0,601	0,530	0,619	0,604 (0,06)	-0,01 (0,04)	0,713	0,609	0,694	0,751	0,664	0,644	0,679 (0,051)	0 (0,02)
1027	0,806	0,913	0,857	0,767	0,802	0,799	0,824 (0,052)	-0,01 (0,22)	0,776	0,958	0,673	0,763	0,826	0,838	0,806 (0,095)	0 (0)
L2-4	0,759	0,484	0,868	0,864	0,534	0,673	0,697 (0,163)	-0,01 (0,01)	0,731	0,648	0,878	0,547	0,527	0,611	0,657 (0,131)	-0,04 (0,28)
L2-25	0,987	0,583	0,642	0,740	0,446	0,545	0,657 (0,189)	-0,07 (0,51)	0,974	0,712	0,556	0,410	0,386	0,852	0,648 (0,239)	-0,05 (0,15)
L7-14	0,237	0,279	0,332	0,365	0,230	0,383	0,304 (0,065)	0,02 (0,25)	0,275	0,272	0,358	0,344	0,337	0,348	0,322 (0,038)	0,02 (0,58)
L2-27	0,568	0,509	0,546	0,637	0,490	S/I ⁹	0,55 (0,057)	0 (0,01)	0,515	0,520	0,545	0,512	0,540	0,61	0,54 (0,037)	0,01 (0,53)
L1-3	0,024	0,031	0,022	0,024	0,022	0,026	0,025 (0,003)	0 (0,06)	0,012	0,024	0,030	0,020	0,018	0,031	0,023 (0,007)	0 (0,24)
L3-5	S/I	0,410	0,304	0,691	0,419	0,519	0,469 (0,146)	0,03 (0,13)	0,525	0,348	0,681	0,481	0,498	0,527	0,51 (0,107)	0,01 (0,02)
L2-26	S/I	0,160	0,156	0,190	0,122	0,136	0,153 (0,026)	-0,01 (0,25)	0,142	0,134	0,153	0,169	0,146	0,123	0,145 (0,016)	0 (0,02)
L9-2	0,120	0,069	0,129	0,122	0,071	0,111	0,104 (0,027)	0 (0,01)	0,141	0,126	0,102	0,060	0,053	0,101	0,097 (0,035)	-0,01 (0,5)
L2-28	S/I	0,159	0,168	0,149	0,140	0,164	0,156 (0,011)	0 (0,06)	0,131	0,165	0,178	0,124	0,134	0,151	0,147 (0,021)	0 (0,01)
L9-1	0,094	0,093	0,228	0,169	0,138	0,112	0,139 (0,052)	0 (0,03)	0,075	0,093	0,224	0,102	0,124	0,113	0,122 (0,053)	0 (0,03)
L3-15	S/I	0,050	0,031	0,044	0,031	0,091	0,049 (0,025)	0,01 (0,28)	0,078	0,031	0,043	0,040	0,035	0,059	0,048 (0,018)	0 (0,07)
L4-17	S/I	0,208	0,202	0,262	0,250	0,213	0,227 (0,027)	0,01 (0,11)	0,208	0,225	0,241	0,203	0,222	0,212	0,219 (0,014)	0 (0,01)
L5-7	0,272	0,263	0,388	0,377	0,282	0,339	0,32 (0,055)	0,01 (0,14)	0,349	0,239	0,416	0,260	0,251	0,29	0,301 (0,069)	-0,01 (0,1)
L5-6	0,183	0,175	0,177	0,186	0,185	0,098	0,167 (0,034)	-0,01 (0,36)	0,215	0,195	0,159	0,088	0,183	0,175	0,169 (0,044)	-0,01 (0,14)
L3-3	0,097	0,109	0,142	0,150	0,102	0,146	0,124 (0,024)	0,01 (0,26)	0,166	0,134	0,138	0,136	0,098	0,132	0,134 (0,022)	-0,01 (0,48)
L4-3	0,004	0,015	0,010	0,008	0,005	0,017	0,01 (0,005)	0 (0,11)	0,005	0,003	0,006	0,007	0,003	0,011	0,006 (0,003)	0 (0,31)

⁶ Desviación estándar entre paréntesis.

⁷ R² entre paréntesis.

⁸ S/I: Sin información, valores descartados por inconsistencia (fuera de rango).

⁹ S/I: Sin información, valor no medido por impedimentos en el acceso.

TABLA 3.2-3
VARIACIÓN INTERANUAL DE LA PROFUNDIDAD DE LA NAPA (M) DEL SUELO, SEGÚN MES DE MUESTREO (ENERO Y ABRIL) EN CADA PARCELA DE MONITOREO.
AÑOS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

PARCELA DE MONITOREO	ENERO ¹⁰					PROFUNDIDAD PROMEDIO (m) ¹¹	TASA DE VARIACIÓN (m/año) ¹²	ABRIL					PROFUNDIDAD PROMEDIO (m) ¹¹	TASA DE VARIACIÓN (m/año) ¹²
	2008	2009	2010	2011	2012			2008	2009	2010	2011	2012		
L7-7	0,521	0,459	0,536	0,491	0,490	0,499 (0,03)	0 (0,03)	0,663	0,628	0,620	0,601	0,516	0,606 (0,055)	-0,03 (0,85)
1027	0,479	0,445	0,499	0,461	0,490	0,475 (0,022)	0 (0,08)	0,527	0,510	0,514	0,504	0,494	0,51 (0,012)	-0,01 (0,87)
L2-4	0,855	0,829	0,884	0,868	0,887	0,865 (0,024)	0,01 (0,47)	0,864	0,861	0,863	0,882	0,828	0,86 (0,02)	-0,01 (0,17)
L2-25	0,575	0,551	0,564	0,549	0,551	0,558 (0,011)	0 (0,5)	0,584	0,621	0,560	0,551	0,522	0,568 (0,037)	-0,02 (0,68)
L7-14	1,556	1,542	1,576	1,567	1,589	1,566 (0,018)	0,01 (0,63)	1,601	1,598	1,611	1,603	1,605	1,604 (0,005)	0 (0,18)
L2-27	0,972	0,891	0,978	0,948	0,966	0,951 (0,035)	0 (0,04)	1,189	1,181	1,255	1,148	0,959	1,146 (0,112)	-0,05 (0,49)
L1-3 ¹³	6,525	6,538	6,553	6,600	6,647	6,573 (0,05)	0,03 (0,92)	6,441	6,554	6,579	6,608	6,945	6,625 (0,19)	0,11 (0,78)
L3-5	0,063	0,058	0,096	0,069	0,083	0,074 (0,016)	0,01 (0,27)	0,087	0,087	0,111	0,088	0,053	0,085 (0,021)	-0,01 (0,26)
L2-26	3,515	3,495	3,548	3,580	3,633	3,554 (0,055)	0,03 (0,86)	3,562	3,554	3,563	3,599	3,594	3,574 (0,021)	0,01 (0,7)
L9-2	4,103	4,104	4,151	4,122	4,169	4,13 (0,029)	0,01 (0,66)	4,180	4,190	4,195	4,200	4,097	4,172 (0,043)	-0,02 (0,33)
L2-28	2,771	2,730	2,842	2,863	2,942	2,83 (0,083)	0,05 (0,83)	2,865	2,890	2,914	2,937	2,91	2,903 (0,027)	0,01 (0,64)
L9-1	5,639	5,652	5,687	5,657	5,715	5,67 (0,031)	0,02 (0,65)	5,715	5,704	5,729	5,718	5,683	5,71 (0,017)	0 (0,21)
L3-15	3,017	3,040	3,602	3,691	3,779	3,426 (0,368)	0,22 (0,87)	3,045	3,555	3,644	3,714	3,777	3,547 (0,293)	0,16 (0,77)
L4-17	1,804	1,820	1,894	1,888	1,943	1,87 (0,057)	0,03 (0,91)	1,845	1,866	1,927	1,937	1,941	1,903 (0,044)	0,03 (0,87)
L5-7	1,646	1,611	1,741	1,716	1,754	1,694 (0,062)	0,03 (0,67)	1,710	1,758	1,724	1,755	1,748	1,739 (0,021)	0,01 (0,3)
L5-6	1,679	1,966	2,124	2,135	2,179	2,017 (0,205)	0,12 (0,81)	1,994	2,066	2,102	2,141	2,172	2,095 (0,069)	0,04 (0,97)
L3-3	2,944	2,948	3,006	3,030	3,074	3 (0,055)	0,03 (0,95)	2,937	2,971	3,018	3,037	3,001	2,993 (0,04)	0,02 (0,6)
L4-3	16,022	16,009	16,138	16,254	16,258	16,136 (0,12)	0,07 (0,89)	15,982	16,055	16,154	16,221	16,299	16,142 (0,127)	0,08 (1)

¹⁰ El monitoreo comenzó en abril de 2007.

¹¹ Desviación estándar entre paréntesis.

¹² R² entre paréntesis.

¹³ En febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido.

TABLA 3.2-4
VARIACIÓN INTERANUAL DE LA PROFUNDIDAD DE LA NAPA (M) DEL SUELO, SEGÚN MES DE MUESTREO (JULIO Y OCTUBRE) EN CADA PARCELA DE MONITOREO.
AÑOS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

PARCELA DE MONITOREO	JULIO						PROFUNDIDAD PROMEDIO ¹⁴	TASA DE VARIACIÓN (m/año) ¹⁵	OCTUBRE						PROFUNDIDAD PROMEDIO ¹⁴	TASA DE VARIACIÓN (m/año) ¹⁵
	2007	2008	2009	2010	2011	2012			2007	2008	2009	2010	2011	2012		
L7-7	0,545	0,480	0,475	0,487	0,475	0,451	0,486 (0,032)	-0,01 (0,64)	0,405	0,408	0,408	0,404	0,419	0,414	0,41 (0,006)	0 (0,47)
1027	0,442	0,420	0,416	0,420	0,424	0,416	0,423 (0,01)	0 (0,39)	0,394	0,371	0,395	0,385	0,394	0,407	0,391 (0,012)	0 (0,3)
L2-4	0,798	0,784	0,798	0,819	0,819	0,809	0,805 (0,014)	0,01 (0,49)	0,785	0,781	0,795	0,802	0,813	0,82	0,799 (0,015)	0,01 (0,93)
L2-25	0,563	0,548	0,544	0,544	0,545	0,529	0,546 (0,011)	-0,01 (0,78)	0,561	0,544	0,538	0,532	0,532	0,523	0,538 (0,013)	-0,01 (0,89)
L7-14	1,565	1,560	1,557	1,573	1,583	1,587	1,571 (0,012)	0,01 (0,72)	1,540	1,527	1,526	1,534	1,545	1,564	1,539 (0,014)	0,01 (0,47)
L2-27	0,864	0,855	0,854	0,866	0,869	0,858	0,861 (0,006)	0 (0,04)	0,850	0,842	0,832	0,833	0,846	0,839	0,84 (0,007)	0 (0,1)
L1-3 ¹⁶	6,527	6,548	6,550	6,590	6,647	6,976	6,64 (0,17)	0,07 (0,66)	6,525	6,543	6,541	6,594	6,634	6,976	6,636 (0,172)	0,07 (0,65)
L3-5	0,013	0,056	0,052	0,058	0,058	0,097	0,056 (0,027)	0,01 (0,75)	-0,001	0,052	0,052	0,036	0,037	0,07	0,041 (0,024)	0,01 (0,43)
L2-26	3,517	3,524	3,509	3,562	3,635	3,656	3,567 (0,064)	0,03 (0,82)	3,523	3,512	3,521	3,553	3,601	3,65	3,56 (0,055)	0,03 (0,83)
L9-2	4,120	4,140	4,151	4,173	4,177	4,112	4,146 (0,027)	0 (0,03)	4,087	4,111	4,117	4,131	4,127	4,113	4,114 (0,016)	0,01 (0,44)
L2-28	2,733	2,737	2,757	2,812	2,871	2,897	2,801 (0,071)	0,04 (0,94)	2,715	2,707	2,729	2,784	2,838	2,895	2,778 (0,076)	0,04 (0,9)
L9-1	5,645	5,678	5,689	5,708	5,709	5,685	5,686 (0,024)	0,01 (0,5)	5,620	5,659	5,673	5,677	5,675	5,688	5,665 (0,024)	0,01 (0,76)
L3-15	2,980	3,013	3,520	3,632	3,722	3,787	3,442 (0,357)	0,18 (0,88)	2,980	3,019	3,544	3,638	3,719	3,807	3,451 (0,361)	0,18 (0,88)
L4-17	1,769	1,820	1,835	1,897	1,918	1,917	1,859 (0,061)	0,03 (0,93)	1,758	1,795	1,825	1,868	1,879	1,897	1,837 (0,054)	0,03 (0,97)
L5-7	1,520	1,538	1,560	1,582	1,611	1,621	1,572 (0,04)	0,02 (0,99)	1,479	1,522	1,538	1,557	1,582	1,593	1,545 (0,042)	0,02 (0,97)
L5-6	1,735	1,847	1,896	1,975	2,015	2,051	1,92 (0,118)	0,06 (0,96)	1,705	1,834	1,883	1,948	1,986	2,044	1,9 (0,121)	0,06 (0,96)
L3-3	2,910	2,913	2,921	2,953	2,996	3,001	2,949 (0,041)	0,02 (0,91)	2,895	2,909	2,914	2,949	2,973	3,011	2,942 (0,044)	0,02 (0,94)
L4-3	16,089	15,987	16,047	16,158	16,264	16,306	16,142 (0,125)	0,06 (0,75)	15,992	15,989	16,113	16,197	16,237	16,342	16,145 (0,141)	0,07 (0,96)

¹⁴ Desviación estándar entre paréntesis.

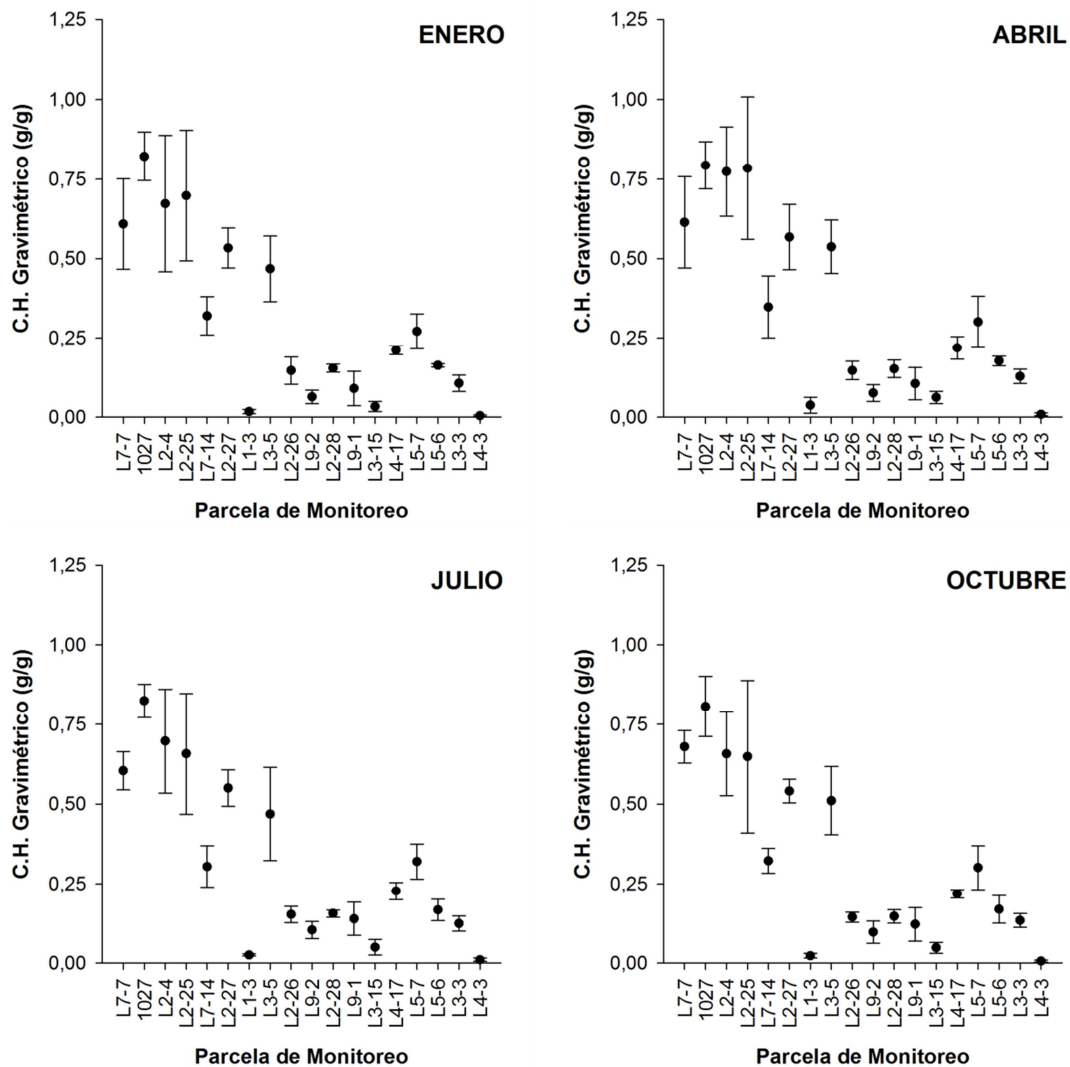
¹⁵ R² entre paréntesis.

¹⁶ 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.

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 causado 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.

Los gráficos presentados a continuación representan el comportamiento interanual de los las mediciones de contenido de humedad gravimétrico (Figura 3.2-1) y profundidad de la napa (Figura 3.2-2) por parcela de monitoreo.

FIGURA 3.2-1
VARIACIÓN INTERANUAL POR MES DE MUESTREO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD GRAVIMÉTRICO DEL SUELO, POR PUNTO DE MONITOREO DESDE EL AÑO 2007 A 2012



De lo presentado se extrae que durante los meses de monitoreo, las parcelas ubicadas al oeste son los que han tenido mayor variación en su contenido de humedad (Figura 3.2-1). La parcela que ha tenido la mayor variación de su contenido de humedad gravimétrico es L2-25 (enero: $0,698 \pm 0,206$ g/g; abril: $0,785 \pm 0,223$ g/g; julio: $0,657 \pm 0,189$ g/g; octubre: $0,648 \pm 0,239$ g/g), registrando las mayores variaciones durante octubre y abril. Es seguido por L2-4 que también ha presentado amplias variaciones en su contenido de humedad durante estos años (enero: $0,673 \pm 0,215$ g/g; abril: $0,774 \pm 0,14$ g/g; julio: $0,697 \pm 0,163$ g/g; octubre: $0,657 \pm 0,131$ g/g).

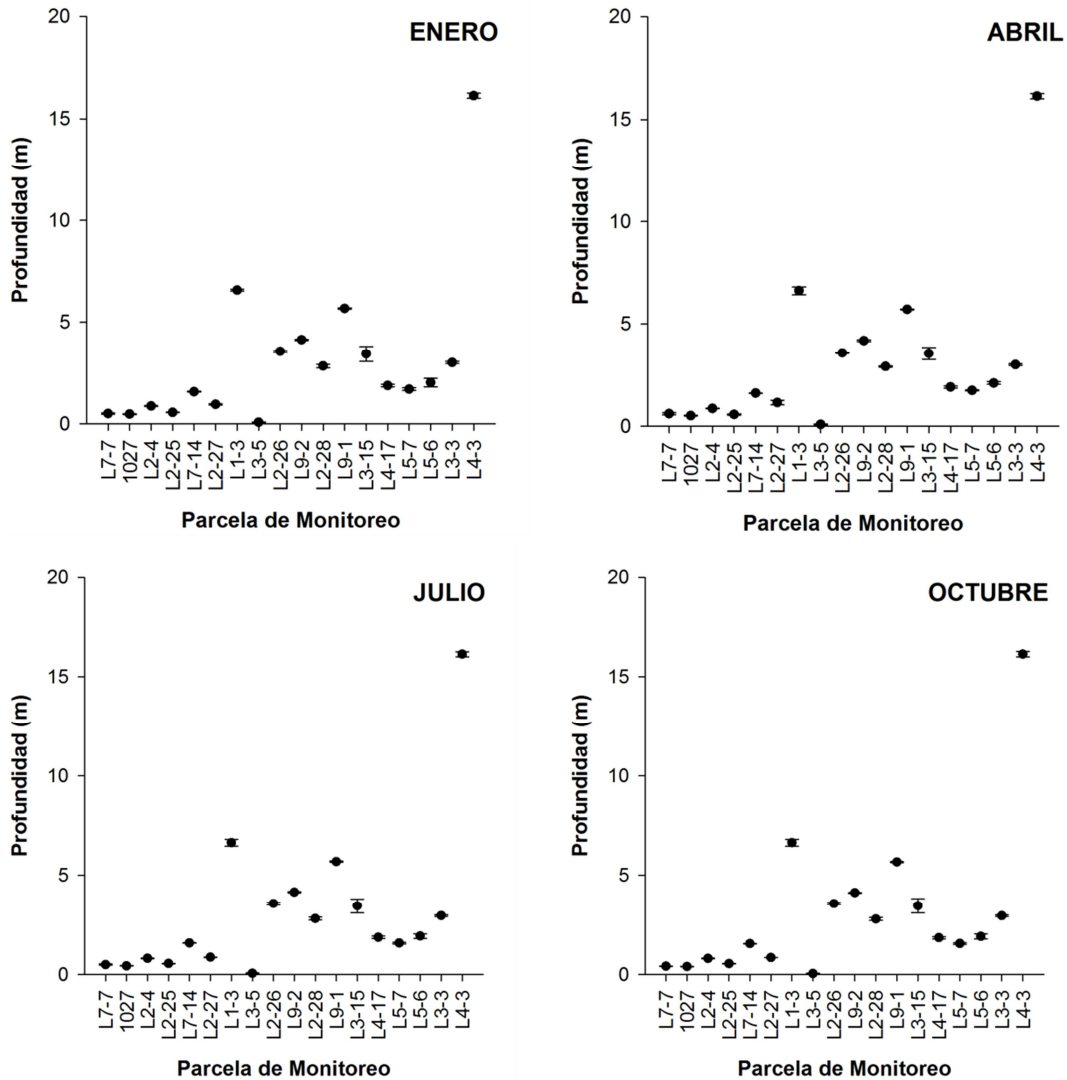
Respecto al comportamiento de la tasa variación del contenido de humedad a lo largo del periodo de medición, se aprecia un mal ajuste de los datos respecto de la tendencia lineal, demostrando la variabilidad de los resultados rechazando la hipótesis de tendencia (Tabla 3.2-1 y Tabla 3.2-2). Las únicas parcelas de monitoreo con un ajuste considerable ($R^2 \geq 0,70$) fueron:

- Mes de enero, parcela L7-7, con una tasa de variación anual de $-0,08$ g/g del contenido de humedad ($R^2 = 0,71$).
- Mes de enero, parcela L5-6, cuya tasa de variación nula ($R^2 = 0,84$).
- Mes de abril, parcela L7-14, la tasa de variación indica un incremento anual de $0,04$ ($R^2 = 0,70$).
- Mes de abril, parcela L4-3, la tasa de variación es nula ($R^2 = 0,80$).

Los resultados demuestran que no existe alguna tendencia general de reducción en el contenido de humedad, por el contrario, hay puntos que tienden a presentar actualmente un contenido mayor respecto de la humedad gravimétrica medida durante la etapa pre-operacional, como es el caso de la parcela L2-27, L3-5, L3-15 y L3-3.

Se destaca a las parcelas L1-3, L3-15, L4-3, L9-1 y L9-2 que tuvieron valores promedio de contenido de humedad menores o igual a $0,10$ g/g. En estas parcelas la retención de humedad es demasiado baja y puede tener efectos restrictivos sobre el establecimiento de la vegetación. Se debe destacar que en estas parcelas, el bajo contenido de humedad era una condición original y no un efecto del Proyecto.

FIGURA 3.2-2
VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA NAPA, POR PUNTO DE MONITOREO DESDE EL AÑO 2007
A 2012*



Respecto de la profundidad de la napa, los monitoreos demuestran que ha tenido un nivel constante casi durante todos los meses de seguimiento (Figura 3.2-2). La mayor variación del nivel freático se registra en la parcela L3-15 donde la profundidad promedio para los meses de enero es de 3,426 m ($\pm 0,368$ m), abril de 3,547 m ($\pm 0,293$), julio de 3,442 m ($\pm 0,357$ m) y octubre de 3,451 m ($\pm 0,361$ m).

Al analizar la tasa de variación anual se confirman los cambios mínimos observados en los gráficos para el periodo (Tabla 3.2-1 y Tabla 3.2-2). En enero las mayores tasas de variación ($R^2 \geq 0,70$) han ocurrido en las parcelas de monitoreo L3-15 (0,22 m/año) y L5-6 (0,12 m/año); en el mes de abril se observa en las parcelas L1-3 (0,11 m/año) y L3-15 (0,16 m/año); en julio se

observó en las parcelas L3-15 (0,18 m) y L5-6 (0,06 m); y en octubre fueron las parcelas L3-15 (0,18 m) y L4-3 (0,07 m).

La parcela L3-15 lidera el descenso del nivel freático, con un tasa promedio de reducción de su nivel de 0,19 m/año. La reducción del nivel freático se encuentra dentro del rango presupuestado para el cono formado por la extracción de agua desde el pozo. En este sector el acuífero busca su equilibrio, apreciándose en los últimos monitoreos una tendencia a la estabilización.

3.3. ESTADO VITAL DE LA VEGETACIÓN

Seguimiento de estado vital de la vegetación se ha realizado en función del porcentaje de copa verde, vigor y estado fenológico. La Tabla 3.3-1 muestra listado de especies monitoreadas.

**TABLA 3.3-1
ESPECIES VEGETALES PRESENTES EN LAS 18 PARCELAS DE
MONITOREO. CAMPAÑAS DE ENERO, ABRIL, JULIO Y OCTUBRE DE
2011.**

Nº	Especies
1	Grana salada (<i>Distichlis spicata</i>)
2	Brea (<i>Tessaria absinthioides</i>)
3	Cachiyuyo (<i>Atriplex atacamensis</i>)
4	Nitrofila (<i>Nitrophilla atacamensis</i>)
5	Junco (<i>Juncus balticus</i>)

Si bien de acuerdo a RCA 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 datos para el análisis.

3.3.2 Fenología

En el monitoreo realizado durante **enero de 2012** se observó que un 47% de los individuos presentó solo estado fenológico de crecimiento vegetativo; el 30% además de tener crecimiento vegetativo estaba formando flores; mientras que, el 23% restante estaba en un estado fenológico senescente o recesivo.

Para el mes de **abril de 2012** la cantidad de individuos con crecimiento vegetativo aumentó respecto a Enero en un 6%, correspondiendo al 54% del total monitoreado; mientras que los individuos con formación de flores fueron 25%. La cantidad de individuos en estado senescente fue de 21%.

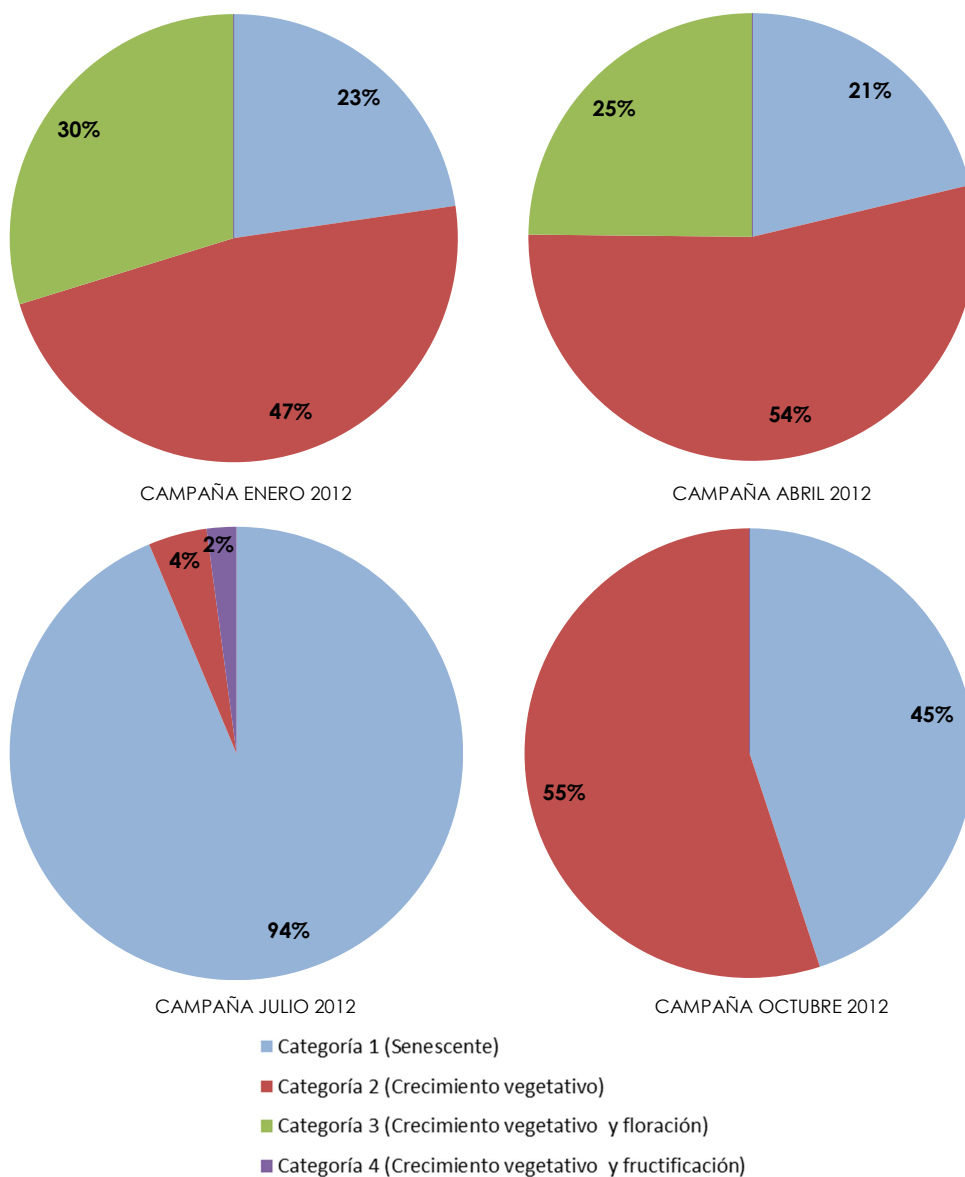
En el mes de **julio de 2012** se aprecia un cambio en las proporciones de individuos por fase fenológica, dominando la fase fenológica senescente o recesiva en el 94% de los individuos; mientras que sólo el 4% de los ejemplares presentó crecimiento vegetativo y el 2% tenían

producción de frutos. 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 con una etapa senescente o recesiva.

Para el mes de **octubre de 2012**, la cantidad de individuos en estado fenológico senescente o en receso invernal se reduce al 45%; por otra parte, aumenta a 55% 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.

El detalle de cada punto de monitoreo se encuentra en el Anexo I

FIGURA 3.3-1
FENOLOGÍA CAMPAÑAS DE ENERO, ABRIL, JULIO Y OCTUBRE DE 2012



3.3.3 Vigor

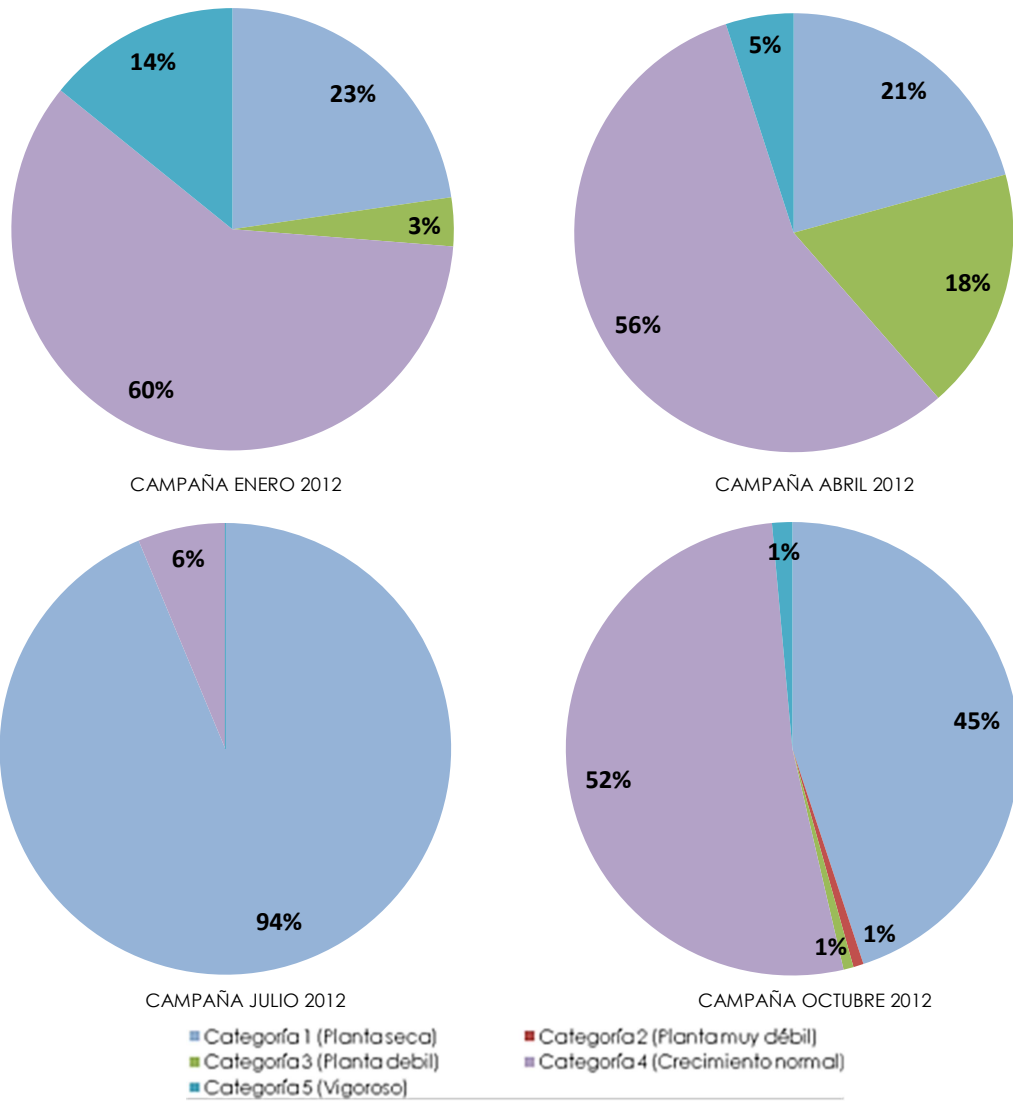
En el mes de **enero de 2012** el 14% de los individuos fue clasificada como vigorosa y el 60% con crecimiento normal y sin signos de patógenos; mientras que, el 3% de las plantas se observó débil y el 23% como plantas en un estado recesivo o senescente.

En **abril de 2012** se observó que un 5% de los individuos estuvieron vigorosos; el 56% con crecimiento normal; el 18% se observó débil y el 21% fue clasificada en un estado recesivo o senescente.

En **julio de 2012** el 6% de los individuos fueron clasificados con crecimiento normal y en su mayor parte (94%) como plantas en estado de receso invernal.

Para **octubre de 2012** 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 y el 52% crecimiento normal; mientras que, el 1% tuvo un vigor débil, otro 1% muy débil y el 45% fue clasificado como individuos en estado recesivo o senescente.

FIGURA 3.3-2
VIGOR CAMPAÑAS DE ENERO, ABRIL, JULIO Y OCTUBRE DE 2012



3.3.4 Porcentaje de copa verde

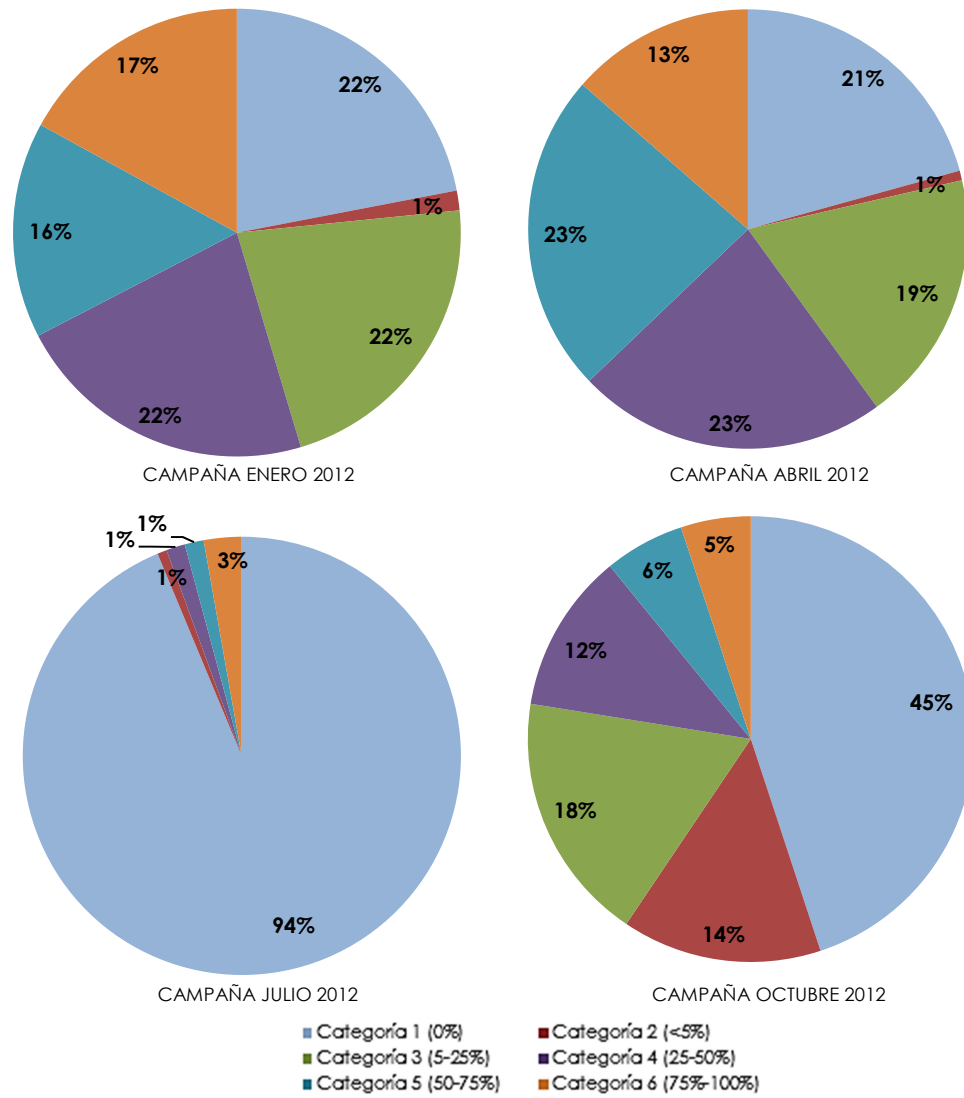
En **enero de 2012** el 17% de los individuos tuvo entre el 75 a 100% de su copa verde, el 16% entre el 50 a 75% y el 22% de los individuos tuvo entre el 25 a 50%. El 22% de los individuos tuvo entre el 5 a 25% de su copa verde, y el 1% menos del 5% de copa verde. Hubo un 22% de individuos sin copa verde.

Para **abril de 2012** el 13% de los individuos tuvo entre el 75 a 100% de su copa verde, el 23% entre el 50 a 75% y el 23% de los individuos tuvo entre el 25 a 50%. El 19% de los individuos tuvo entre el 5 a 25% de su copa verde, y el 1% menos del 5% de copa verde. Hubo un 21% de individuos sin copa verde.

Para la campaña de **julio de 2012** la totalidad de los individuos muestreados (94%) no presenta copa verde; el 6% restante tuvo distintos porcentajes de copa verde. Estos resultados son causados principalmente por el receso invernal de las plantas.

Para la campaña de **octubre de 2012**, 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 la copa verde. El 5% de los individuos tuvo un porcentaje de copa verde que varió entre 75 a 100%; el 6% varió entre un 50 a 75% de copa verde; el 12% entre 25 a 50%; el 18% entre 5 a 25% y el 14% fue menor a 5%. Un 45% de los individuos no tuvo copa verde, ya sea por senescencia o receso invernal.

FIGURA 3.3-3
PORCENTAJE DE COPA VERDE CAMPAÑAS DE ENERO, ABRIL, JULIO Y OCTUBRE DE 2012



3.4. VARIACIÓN INTERANUAL DE LA VITALIDAD DE LA VEGETACIÓN

3.4.1. *Atriplex atacamensis*

En *Atriplex atacamensis* el porcentaje de copa verde (Figura 3.4-1) ha presentado un comportamiento variable en el tiempo. Se aprecia que para el último monitoreo realizado (octubre 2011) los valores de copa alcanzaron, en el mejor de los casos, la categoría 3. Para el mes de enero de 2012 se normalizó, presentando la mitad de los individuos copas verdes dentro de la categoría 6 y siendo relativamente constante durante el resto año. En general, *A. atacamensis* en los monitoreos de enero y abril, ha presentado los mejores valores de copa verde, mientras que en octubre se observan los menores porcentajes de copa verde.

Con respecto al vigor, la Figura 3.4-2 la mayoría de los individuos ha tenido un crecimiento normal, observando este año algunos ejemplares dentro de la categoría de vigoroso. Los individuos clasificados en un estado recesivo o senescente se han mantenido constantes desde octubre de 2010.

El estado fenológico de *A. atacamensis* tiene un marcado comportamiento estacional. En enero los individuos se encuentran en proceso de floración y tienden a fructificar antes del monitoreo del mes de abril, observándose fructificación aún en julio, para luego en octubre observar sólo crecimiento vegetativo.

En el año 2012 se aprecia que hubo un periodo de floración extendido, registrándose para los monitoreos de enero y abril. La fructificación recién se produjo en el periodo comprendido entre los monitoreos de abril a julio. En julio de 2012 es posible encontrar tanto individuos que aún producen frutos, como ejemplares que ya abandonaron la etapa reproductiva y que sólo presentan crecimiento vegetativo. En octubre de 2012 los individuos principalmente presentan crecimiento vegetativo.

FIGURA 3.4-1
ATRIPLEX ATACAMENSIS. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE PORCENTAJE DE COPA VERDE.
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

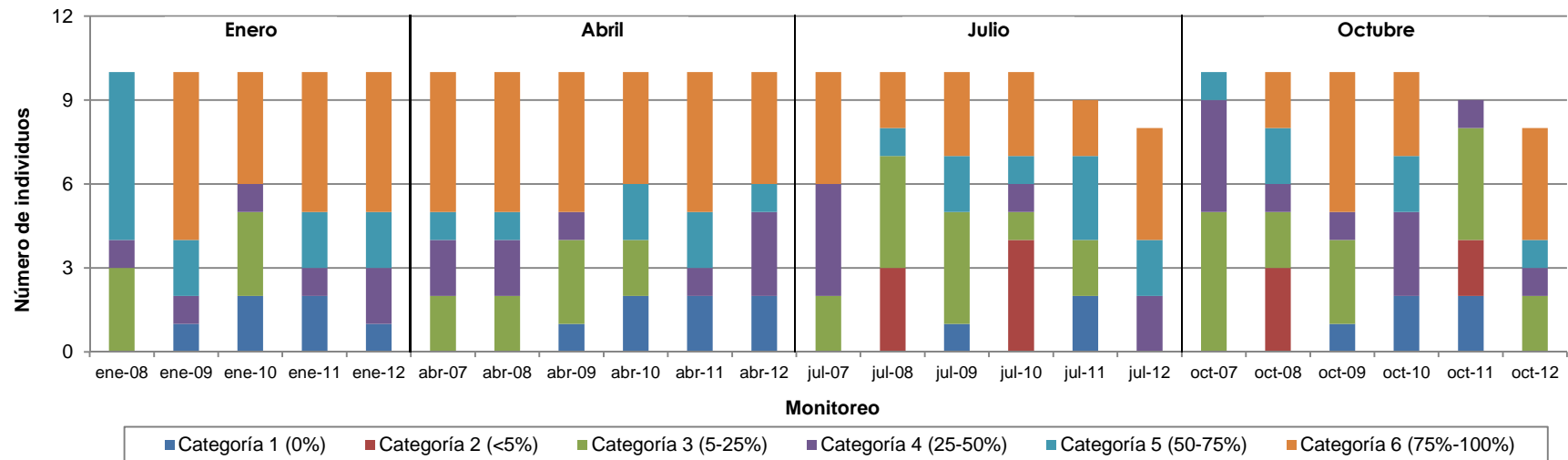


FIGURA 3.4-2
ATRIPLEX ATACAMENSIS. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE VIGOR.
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

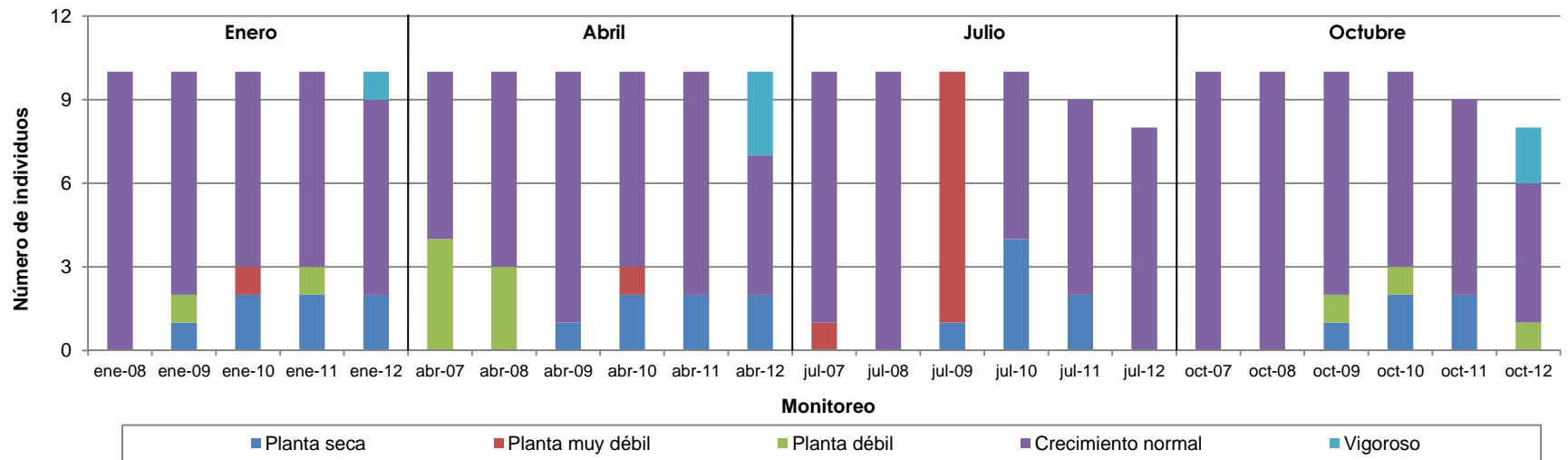
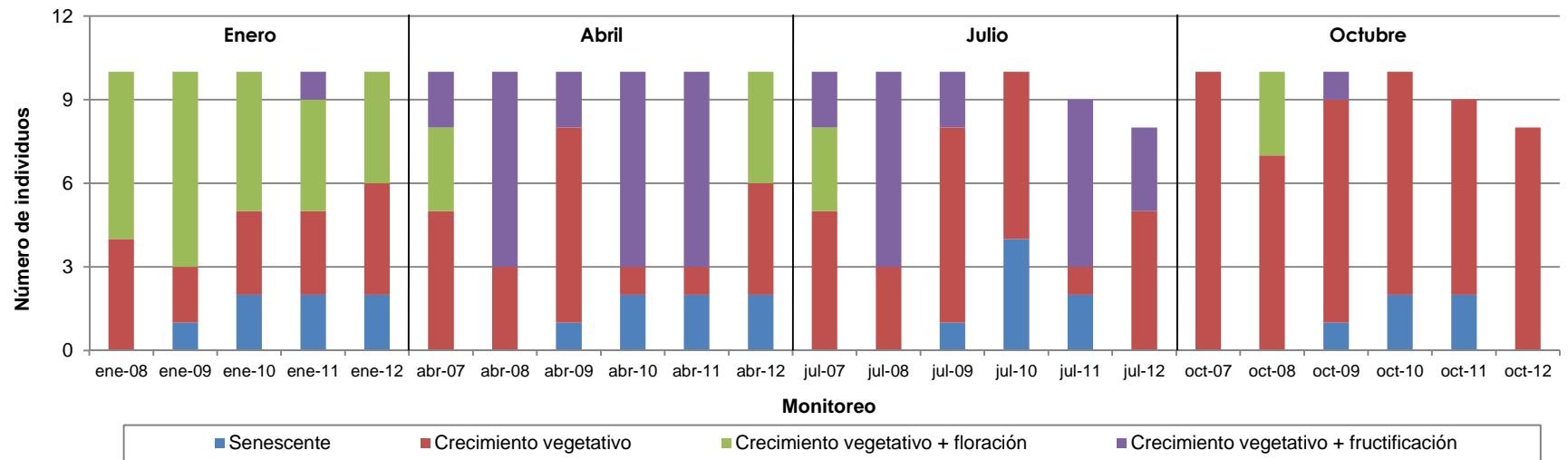


FIGURA 3.4-3
ATRIPLEX ATACAMENSIS. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE FENOLOGÍA.
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.



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 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 porcentaje de copa verde de *D. spicata* es mayor durante las campañas de enero y abril (Figura 3.4-4), durante el mes de julio la copa verde disminuye ya que los individuos se encuentran en proceso de receso invernal, razón por la cual los individuos no tienen registro. En octubre los individuos comienzan con la formación de estructuras verdes.

Para el año 2012 se aprecia un lento proceso de formación de copa verde, identificando su máxima expresión en el mes de abril. En octubre, luego de la recesión se observa que la proporción de individuos con mayor copa verde ha aumentado respecto de los anteriores.

Respecto al vigor se observa una predominancia del crecimiento normal, durante todos los periodos de medición, excepto en julio que es cuando la especie se encuentra en un periodo de recesión invernal.

El seguimiento a la fenología de *D. spicata* demuestra que la especie tiene crecimiento vegetativo durante todo el año. Es posible identificar que ejemplares que son clasificados como senescentes en un monitoreo, con posterioridad tienden a desarrollar estructuras. En los años 2011 y 2012 se ha detectado la floración de la especie en los monitoreos de enero y abril.

FIGURA 3.4-4
DISTICHLIS SPICATA. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE PORCENTAJE DE COPA VERDE.
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

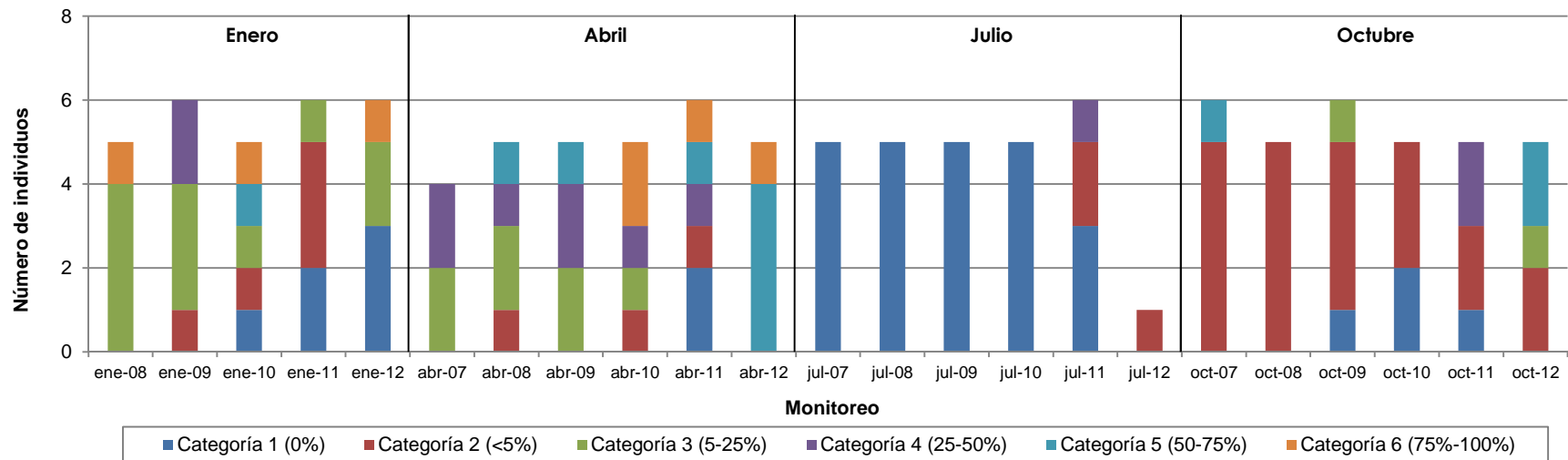


FIGURA 3.4-5
***DISTICHLIS SPICATA*. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE VIGOR.**
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

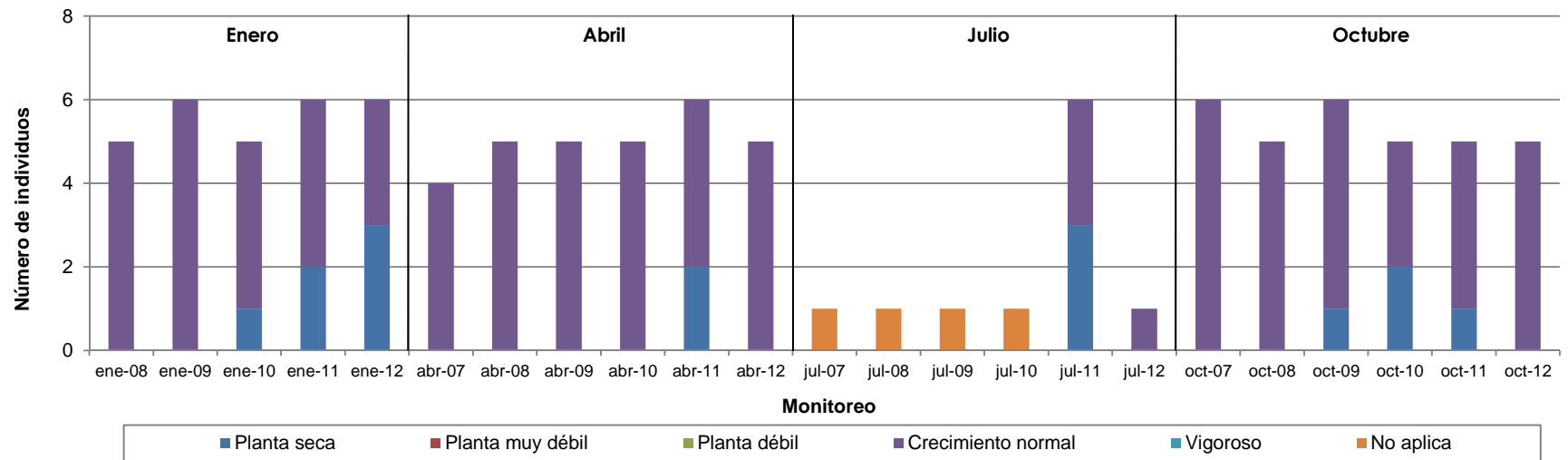
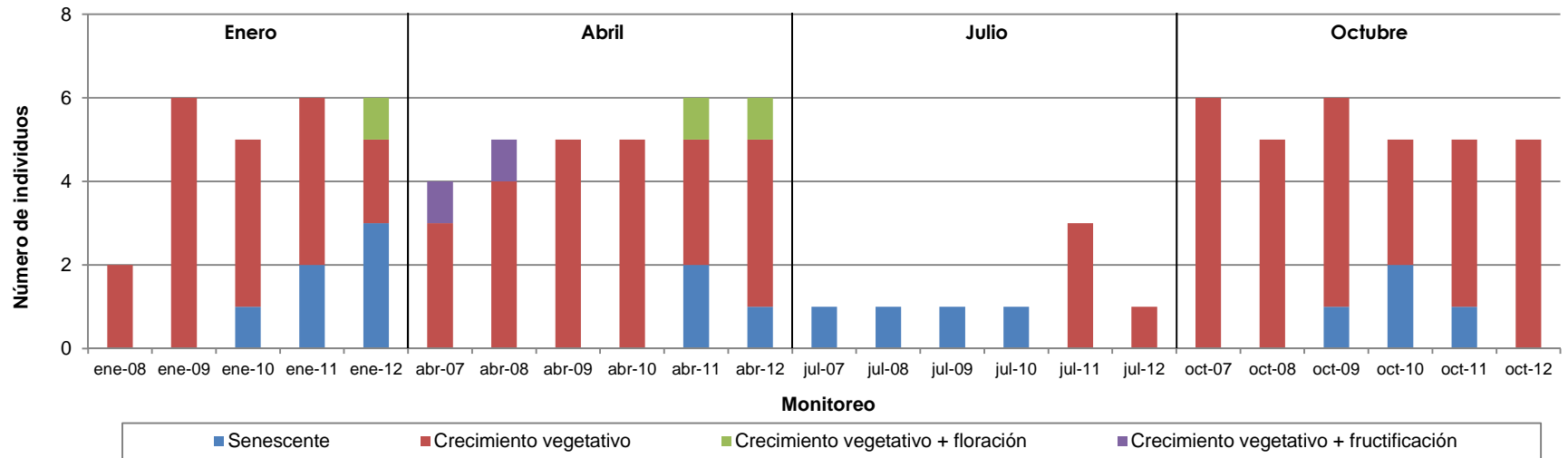


FIGURA 3.4-6
***DISTICHLIS SPICATA*. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE FENOLOGÍA.**
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.



3.4.3. *Nitrophilla atacamensis*

El porcentaje de copa verde evaluado en *Nitrophilla atacamensis* no tiene una tendencia a lo largo de los años para cada periodo de monitoreo. En el año 2012 los individuos evaluados tuvieron una copa verde entre 75 a 100% en todos los monitoreos, excepto en julio que es cuando la especie está en recesión invernal.

En general el vigor de los individuos es normal y el estado fenológico dominante es crecimiento vegetativo. En julio no se evaluó ninguna de las propiedades ya que los individuos se encuentran en estado recesivo.

FIGURA 3.4-7
NITROPHILLA ATACAMENSIS. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE PORCENTAJE DE COPA VERDE.
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

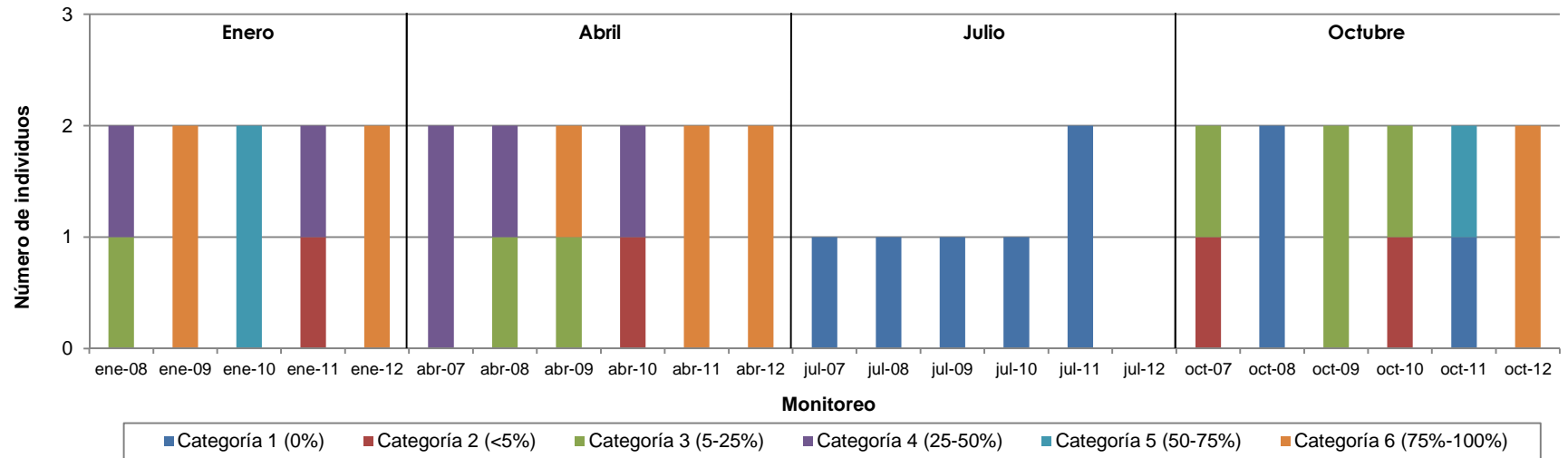


FIGURA 3.4-8
NITROPHILLA ATACAMENSIS. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE VIGOR.
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

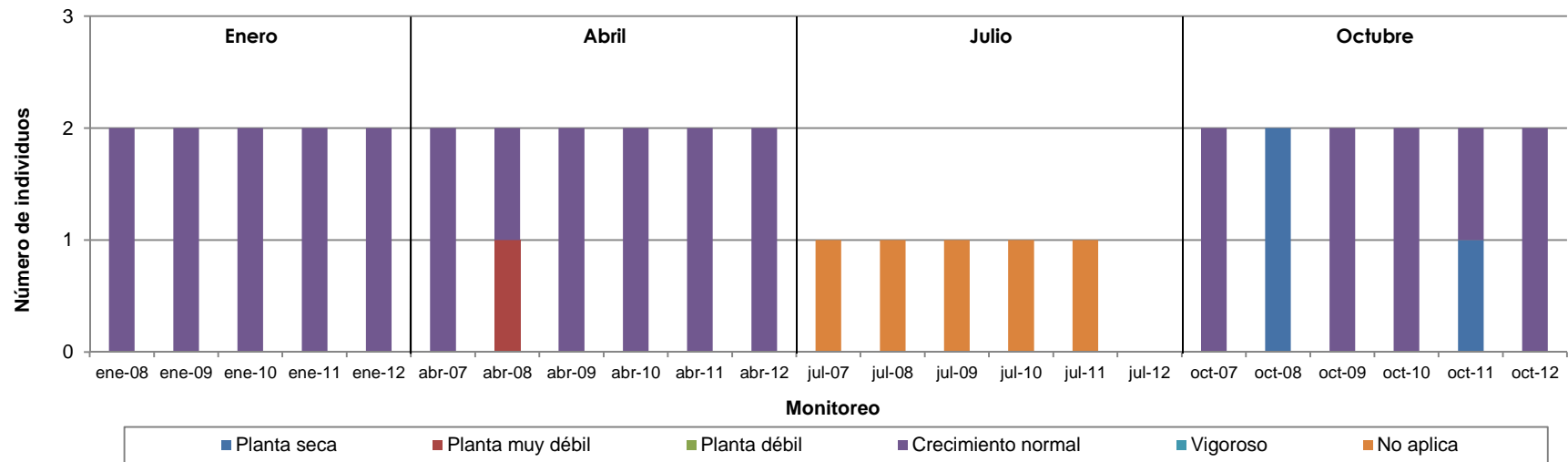
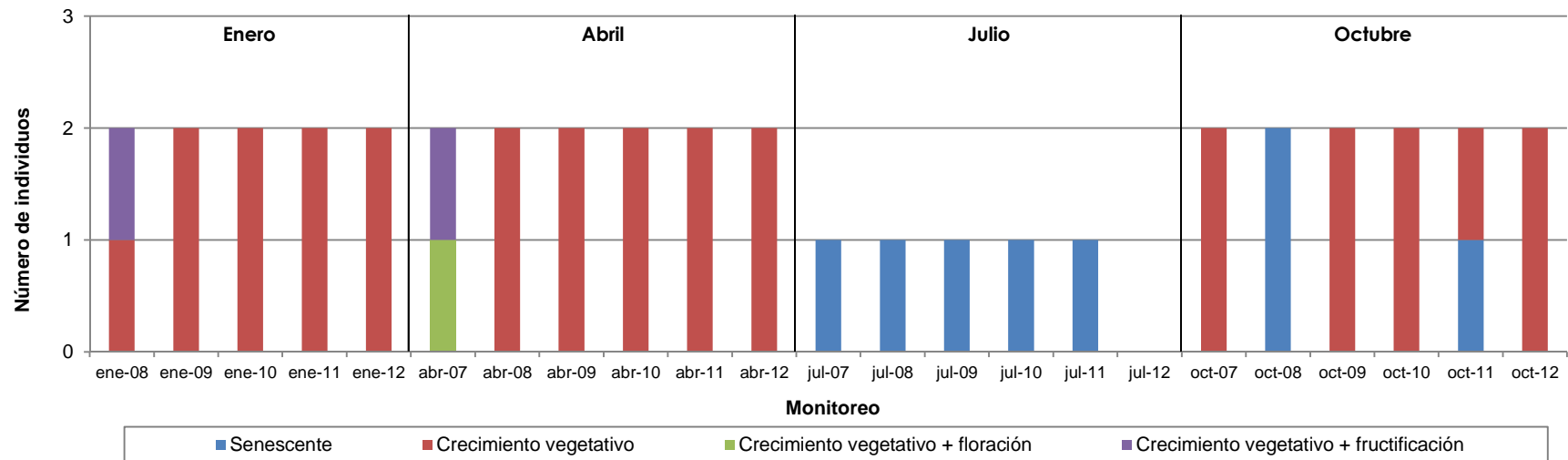


FIGURA 3.4-9
NITROPHILLA ATACAMENSIS. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE FENOLOGÍA.
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.



3.4.4. *Tessaria absinthioides*

El porcentaje de copa verde de *Tessaria absinthioides* tiende a ser mayor durante los meses de enero y abril, disminuyendo en octubre debido a que en julio la especie se encuentra en un estado recesivo invernal. En el año 2012 se aprecia un aumento en la cantidad de individuos con copa verde respecto de la última medición realizada, correspondiente a octubre de 2011.

Los individuos monitoreados en general tienen un crecimiento normal. En enero se registra la mayor cantidad de individuos con vigor normal o mejor, decreciendo desde abril a octubre. Se aprecia que en enero y abril de 2012 aparecen individuos clasificados como vigorosos. Las plantas clasificadas como "seca" en octubre de 2011, tienden a mejorar su vigor en enero de 2012, demostrando estar en etapa de recesión.

El estado fenológico de los individuos señala que hay un segmento capaz de producir estructuras reproductivas durante enero a abril aproximadamente. En octubre la especie desarrolla principalmente estructuras vegetativas, luego del receso invernal.

FIGURA 3.4-10
TESSARIA ABSINTHIOIDES. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE PORCENTAJE DE COPA VERDE.
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

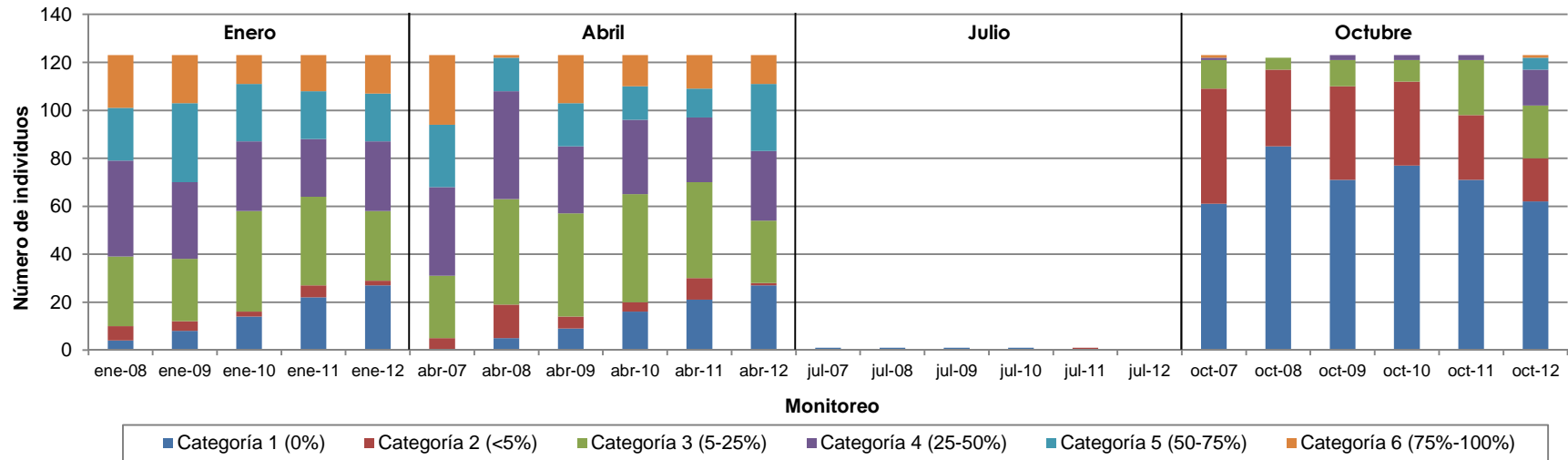


FIGURA 3.4-11
TESSARIA ABSINTHIOIDES. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE VIGOR.
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.

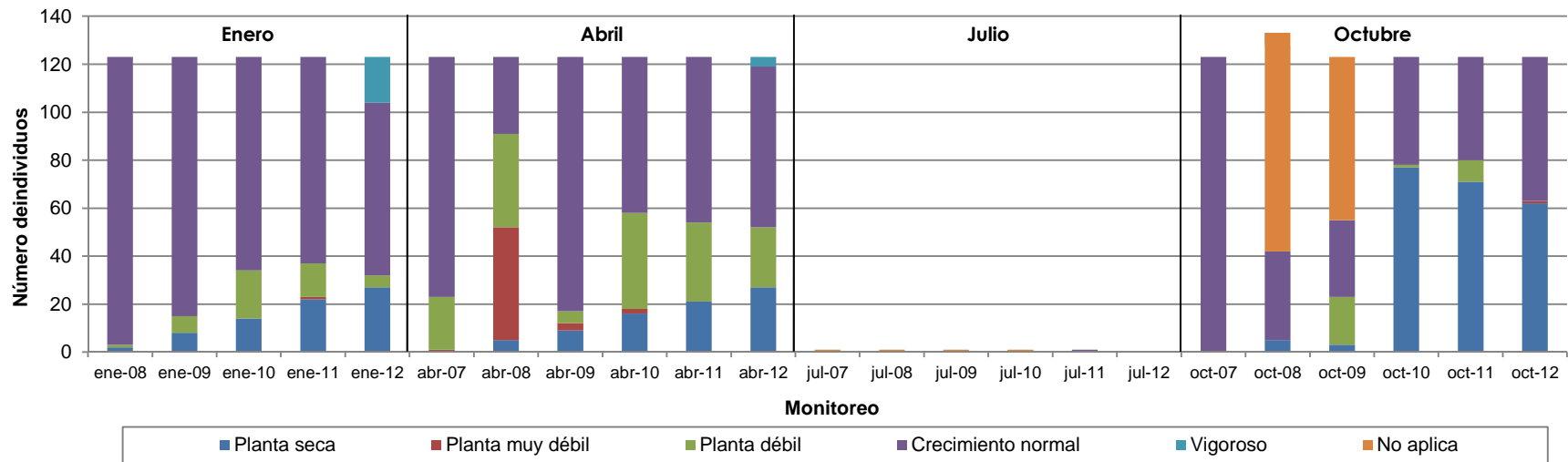
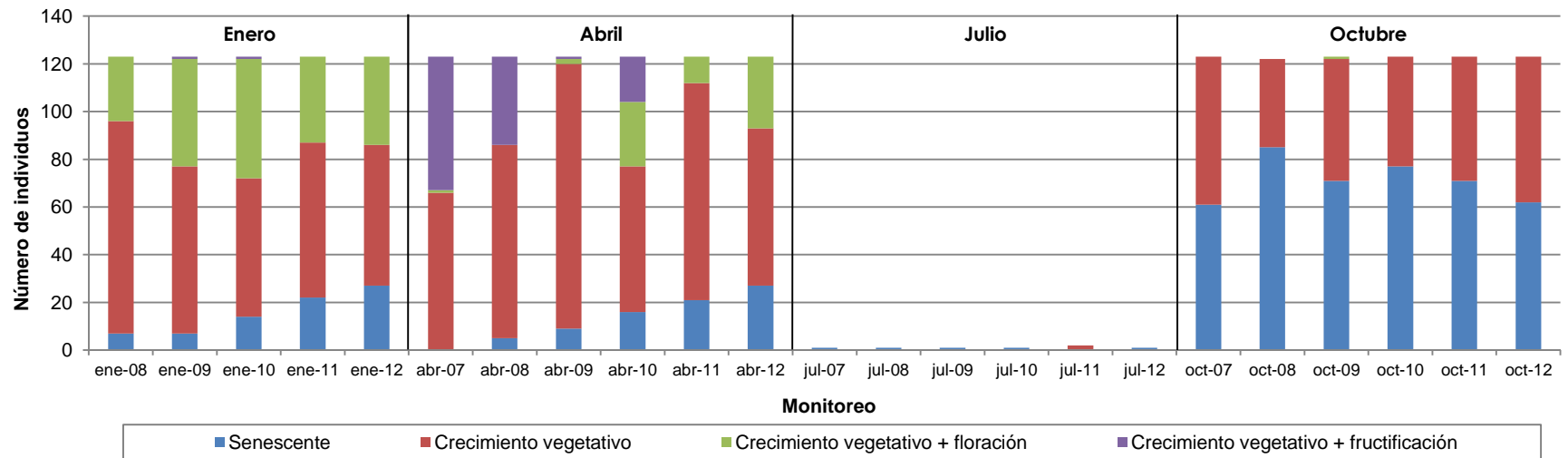


FIGURA 3.4-12
TESSARIA ABSINTHIOIDES. NÚMERO DE INDIVIDUOS POR CATEGORÍA DE FENOLOGÍA.
CAMPAÑAS 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 Y 2012.



No se consideró *Juncus balticus* para el análisis interanual debido a que sólo posee un ejemplar en el punto L7-7v.

4. CONCLUSIONES

4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD Y PROFUNDIDAD DE LA NAPA

Respecto del contenido de humedad gravimétrico del suelo se puede concluir que si bien la variabilidad de algunas parcelas de monitoreo ha sido alta, no existe tendencia en los valores que permita concluir que existe alguna tendencia generalizada de reducción del parámetro. Al ajustar los valores a una tendencia lineal, se observa que sólo cuatro parcelas, en distintos meses tienen un ajuste significativo y sólo una de ellas indica reducción del contenido de humedad.

La variabilidad del parámetro puede estar siendo influenciado por la ocurrencia esporádica de lluvias en el sector del borde este del Salar de Atacama o por condiciones edáficas tales como textura y estructura.

En cuanto a la profundidad de la napa, se determina que durante el periodo de monitoreo la variabilidad ha sido muy baja. En la parcela L3-15 se observó la mayor variación en profundidad en el periodo de monitoreo, cuya máxima desviación estándar se da en el mes de enero ($\pm 0,368$ m). Respecto a la tendencia de las parcelas monitoreadas, salvo la parcela L3-15, ninguna tiene una tendencia constante durante los cuatro monitoreos de aumento de la profundidad. Es común observar que la profundidad de la napa disminuye en algunos periodos, principalmente por efectos de la evaporación que se producen en verano e invierno, y luego aumenta su nivel por efecto de la recarga de las lluvias. Durante el año 2012, se registró el máximo de las precipitaciones (Anexo II) en febrero, razón del aumento del contenido de humedad gravimétrico del suelo para el monitoreo de abril del mismo año.

La profundidad de la napa de la parcela L3-15, cercano al 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.

4.2. VITALIDAD DE LA VEGETACIÓN

Se aprecia que para las distintas especies monitoreadas su máxima expresión, en términos de crecimiento, desarrollo y actividad reproductiva corresponde a los meses de enero y abril. La vegetación, en general, durante el mes de julio ingresa en un estado recesivo, comenzando a formar estructuras nuevas al ingreso de la primavera, observándose en el monitoreo de octubre.

En el año 2012 se observó un desplazamiento en la etapa fenológica de fructificación, donde los ejemplares se observaron produciendo frutos sólo en el monitoreo de julio, siendo usual que comiencen desde el mes de enero. Esto puede tener su base en factores climáticos de la temporada que no han sido considerados en el monitoreo.

El vigor de los ejemplares monitoreados tuvo una mejora, identificando mayor cantidad de especímenes pertenecientes a la categoría vigoroso. El incremento aparente de la categoría seca, debe ser evaluada en el largo plazo, ya que la senescencia de los individuos es una estrategia de sobrevivencia en ambientes poco favorables, siendo usual observar individuos secos capaces de generar brotes luego de una o más temporadas. Un ejemplo de lo descrito se observa en la especie *Distichlis spicata* en cuyo seguimiento se identifica un número variable de ejemplares senescentes y que luego forman estructuras. La formación de tallos y hojas, no siempre ocurre en el mismo lugar, derivado de estrategias de propagación vegetativas de la especie. En estas situaciones el análisis a nivel de individuo se convierte en una herramienta ineficaz de representar la condición general, ya que el espécimen puede o no brotar en una o más temporadas generando error respecto a su situación actual.

Se sugiere realizar un análisis complementario en cada parcela, el cual califique el estado de la vegetación a nivel general, eliminando de esta forma el error de la medición sólo a nivel de especie. Se propone la medición de la copa verde en el conjunto de la vegetación, lo cual se considera un parámetro de rápido cambio ante condiciones adversas.