

Informe Anual
Monitoreo Contenido de Humedad del Suelo 2019

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

Preparado para
SQM Salar
GEOB.SQMSL604.INF01
Julio 2020

geobiota



Contenido

1.	RESUMEN.....	1
2.	INTRODUCCIÓN	4
3.	OBJETIVO.....	5
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	6
	4.1.Descripción del área de estudio	6
	4.2.Ubicación de los puntos de muestreo.....	6
	4.3.VARIABLES utilizadas para caracterizar el estado y evolución de las variables ambientales	9
	4.4.Metodología	9
	4.4.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	9
	4.4.2. Profundidad de la napa subterránea.....	12
	4.4.3. Estado vital de la vegetación.....	13
	4.5.Materiales	15
	4.5.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	15
	4.5.2. Profundidad de la napa subterránea.....	16
	4.5.3. Vitalidad de la vegetación	16
	4.6.Fecha de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro	16
	4.6.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo.....	16
	4.6.2. Profundidad de la napa subterránea.....	17
	4.6.3. Estado vital de la vegetación.....	17
5.	RESULTADOS	18
	5.1.Contenido de humedad del suelo	18
	5.1.1. Laboratorio Algoritmos SpA.....	18
	5.1.2. Laboratorio metalúrgico SQM Salar.....	19
	5.1.3. Relación de los valores reportados entre laboratorios	21
	5.2.Profundidad de la napa.....	22
	5.3.Relación Contenido de humedad y napa freática	24
	5.3.1. Laboratorio Algoritmos SpA.....	24
	5.3.2. Laboratorio metalúrgico faena SQM Salar	25
	5.4.Estado vital de la vegetación.....	26
	5.4.1. Porcentaje de copa viva.....	26
	5.4.2. Vitalidad	29
	5.4.1. Fenología.....	31
6.	DISCUSIÓN.....	33

6.1. Variación del contenido de humedad del suelo en el tiempo.....	33
6.2. Variación de la profundidad de la napa en el tiempo	44
6.3. Variación interanual de la vitalidad de la vegetación	53
6.3.1. <i>Atriplex atacamensis</i>	54
6.3.2. <i>Distichlis spicata</i>	58
6.3.3. <i>Nitrophila atacamensis</i>	61
6.3.4. <i>Tessaria absinthioides</i>	63
6.4. Relación de la vitalidad de la vegetación y el contenido de humedad	66
6.5. Relación de la vitalidad de la vegetación y la profundidad de la napa	73
7. CONCLUSIONES	77
8. REFERENCIAS	79

Tablas

Tabla 2-1. Variables y frecuencia de medición del monitoreo de contenido de humedad PSA del Salar de Atacama, de acuerdo con lo establecido en la RCA N°226/2006.	4
Tabla 4-1. Coordenadas de los vértices del Borde Este del Salar de Atacama (UTM Datum WGS84 Huso 19S).....	6
Tabla 4-2. Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, nivel napa y estado vital de la vegetación. Corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006, numeral 10.3.1.1. Coordenadas (UTM Datum WGS84 Huso 19S).	6
Tabla 4-3. Profundidad del estrato con presencia de raíces.....	9
Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA (ETFA). en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2019.....	18
Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas de 2019.	19
Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2019.	22
Tabla 5-4. Especies vegetales presente en las 18 parcelas de monitoreo.	26
Tabla 5-5. Estado de los individuos asociados al monitoreo.....	26
Tabla 5-6. Número y proporción de individuos por clase de copa viva.....	27
Tabla 5-7. Proporción del total de individuos con copa viva mayor a 5%; 25%; 50%; y 75%.....	28
Tabla 5-8. Resumen de individuos por categoría de vitalidad.	29
Tabla 5-9. Resumen de individuos por categoría de fenología	31
Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de enero periodo 2007 – 2019.	35
Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de abril periodo 2007 – 2019.	36

Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de julio periodo 2007 – 2019.....	37
Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de octubre periodo 2007 – 2019.....	38
Tabla 6-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por los laboratorios SGS ² (2016-2017) y Algoritmos (2018-2019). periodo 2016 – 2019.....	39
Tabla 6-6. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de enero durante el periodo 2008 a 2019.....	46
Tabla 6-7. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de abril durante el periodo 2008 a 2019.....	47
Tabla 6-8. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2019.....	48
Tabla 6-9. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2019.....	49
Tabla 6-10. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad para el periodo 2007-2019.....	66
Tabla 6-11. Resumen de la variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad.....	74

Figuras

Figura 4-1. Ubicación de los pozos de muestreo.....	8
Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo.....	12
Figura 4-3. Esquema del proceso de medición en un pozo.....	13
Figura 4-4. Medición del estado vital de la vegetación (a=individuo rotulado; b=medición altura).....	15
Figura 4-5. Pozómetro utilizado para la medición de la napa.....	16
Figura 5-1. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Algoritmos Spa, para el año 2019.....	19
Figura 5-2. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Laboratorio SQM Salar, para el año 2019.....	21
Figura 5-3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrica obtenido por el Laboratorio SQM Salar y Laboratorio de Algoritmos para el año 2019.....	22
Figura 5-4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2019.....	23
Figura 5-5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2019.....	24
Figura 5-6. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2019.....	25
Figura 5-7. Porcentaje de copa viva de los individuos monitoreados en 2019.....	29
Figura 5-8. Vitalidad de los individuos monitoreados en las campañas de 2019.....	31
Figura 5-9. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de 2019.....	33

Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2019.....	34
Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2019.....	43
Figura 6-3. Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2019), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados.....	44
Figura 6-4. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2019.	52
Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vitalidad, desde el año 2007 a 2019....	54
Figura 6-7. <i>Atriplex atacamensis</i> : Número de individuos por clase de copa viva (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por categoría de fenológica (C). Campañas 2007 a 2019.	57
Figura 6-9. <i>Distichlis spicata</i> : Número de individuos por categoría de porcentaje de copa viva (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2019.	60
Figura 6-11. <i>Nitrophila atacamensis</i> : Número de individuos por categoría de porcentaje de copa viva (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2019.	62
Figura 6-13. <i>Tessaria absinthioides</i> : Número de individuos por categoría de porcentaje de copa viva (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2019.	65
Figura 6-14. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad.	67
Figura 6-15. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad, desde el año 2007 al 2019.....	71
Figura 6-16. Variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad.	74
Figura 6-17. Variación de la profundidad de la napa por categoría de vitalidad, desde el año 2007 al 2019.	76

Anexos

- Anexo 1. Estado vital de la vegetación
- Anexo 2. Registro de humedad
- Anexo 3. Registro de precipitaciones
- Anexo 4. Responsables y participantes del seguimiento ambiental
- Anexo 5. Resultado modelo estadístico
- Anexo 6. Documentos de certificación ETFA GP Consultores Ltda.
- Anexo 7. Protocolo de Ingreso a Reserva Nacional Los Flamencos.
- Anexo 8. Documentos aviso de incidente.

1. RESUMEN

El seguimiento ambiental del contenido de humedad del suelo, profundidad de la napa y vitalidad de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama 2019, tiene por objetivo detectar oportunamente los posibles cambios en estas variables producto del bombeo de los pozos asociados al Proyecto.

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

El monitoreo de las variables asociadas al seguimiento del contenido de humedad del suelo se vieron afectadas por la acción del Protocolo de Monitoreo Ambiental Para Sector Soncor, Tambillo y Aguas de Quelana de la Reserva Nacional Los Flamencos, aprobado por la Resolución N°56/2019 de la Corporación Nacional Forestal, el cual impidió el acceso a las parcelas asociadas a los pozos de monitoreo L7-7 y 1027 durante las prospecciones trimestrales de abril y octubre, quedando sin datos estos periodos. La medición de la profundidad de ubicación de la napa freática también se vio afectada por el protocolo, no pudiendo ingresar a medir el pozo L7-7 en los meses de abril, julio y octubre.

Respecto a los datos obtenidos durante el periodo 2019, los resultados indican que el Contenido de Humedad del Suelo (CHS) responde a las características de los sectores monitoreados, las que cambian respecto a su ubicación geográfica en el salar. Como se ha registrado a lo largo del seguimiento del proyecto, en promedio las parcelas del oeste tienen mayor contenido de humedad (1027, L2-4, L2-25 y L7-7 registrando valores entre 0,515 g/g a 0,863 g/g), valor que disminuye mientras el monitoreo se desplaza en dirección este. Esto se aprecia tanto en las muestras analizadas por el laboratorio Metalúrgico de SQM Salar como en las muestras del laboratorio de Algoritmos SpA, autorizado como Entidad Técnica fiscalizadora (ETFA).

Los resultados del actual monitoreo son concordantes con los monitoreos históricos, donde las parcelas ubicadas hacia el oeste presentan mayor contenido de humedad gravimétrico y mayor variabilidad temporal, que aquellas ubicadas hacia el este. Respondiendo a la ubicación de la napa freática, la que tiende a ser más somera en esta ubicación.

La profundidad promedio de la napa no presenta una tendencia clara respecto a la distribución espacial de las muestras, ya que los puntos de monitoreo ubicados en la zona intermedia (sentido oeste-este), registran una profundidad promedio variable entre las secciones del extremo norte y del extremo sur.

Los resultados indican que la variabilidad histórica de la profundidad de la napa freática es baja, lo que se refleja en los resultados actuales, donde no se observa una tendencia respecto a la ubicación espacial de los pozos prospectados, a diferencia de lo que ocurre con la medición del CHS. Los pozos L4-3, L3-15, L1-3 y L5-6 registran las mayores desviaciones estándar respecto de la profundidad de la napa en los cuatro periodos estudiados dentro del año. Por otro lado, el pozo L2-4 y L3-5 representan el menor y mayor nivel promedio para el año 2019, respectivamente.

Por otra parte, producto del aluvión estival que descendió por la quebrada de Camar, la parcela de vegetación adyacente al pozo de monitoreo L3-3 fue dañada en su totalidad, mientras que las parcelas asociadas a los pozos L3-5 y L3-15 fueron dañadas parcialmente (en total 24 individuos de *Tessaria absinthioides* y un ejemplar de *Atriplex atacamensis* afectados permanentemente), el resto de parcelas no tuvieron alteraciones significativas, registrando sedimentos producto de la escorrentía y no alteraciones que comprometieran la vitalidad de las plantas.

A su vez, el Protocolo de Ingreso a los Sectores 4, 5 y 7 de la Reserva Nacional Los Flamencos impidió el monitoreo de las parcelas adyacentes a los pozos L7-7 y 1027, durante el segundo y cuarto trimestre del año.

Con respecto a la vegetación asociada a los pozos monitoreados, en la evaluación fenológica se observó que la mayoría presenta la categoría senescente alguna etapa del monitoreo. Durante las prospecciones de enero y octubre una porción de los individuos se encontró en crecimiento vegetativo. La etapa de floración se presenta dentro de los tres primeros periodos de monitoreo, finalizando con escasos periodos de Fructificación en los meses de enero y octubre.

En particular, *Atriplex atacamensis* posee una copa viva que tiende a persistir durante todas las campañas, variando en cantidad de registros, lo que se relaciona con el comportamiento perenne de la planta. Respecto a la fenología se identifica la producción de flores y frutos en el mes de enero y febrero, pero para el presente año, el proceso también se extendió tardíamente a los monitoreos de julio y escasamente en octubre.

Distichlis spicata tiene una copa viva variable en el tiempo. Generalmente presenta una vitalidad en la categoría crecimiento normal y/o débil, excepto en enero, donde destaca la presencia de ejemplares excepcionalmente vigorosos.

Históricamente, *Nitrophila atacamensis* posee una copa viva con porcentajes mayoritariamente entre 50-75% o 75-100% en el mes de enero. En abril, los registros históricos siempre presentan algún grado de copa viva, pero de manera variable y menos afines al panorama de verano. Hacia el invierno, la copa viva tiende a 0% y la vitalidad se sitúa en las categorías seco y débil, y en su mayoría en la etapa senescente, concordando con el comportamiento del actual monitoreo.

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

Según la RCA 226/2006, la metodología establecida para el muestreo de especies arbustivas, sólo considera ejemplares fijos en cada parcela, los que fueron identificados y etiquetados en abril del 2007, prescindiendo del análisis a toda la vegetación del área adyacente a los pozos, impidiendo considerar nuevos individuos y la evaluación del ciclo de vida de las especies. Este hecho se considera de suma importancia, ya que no se prospecta la totalidad de la vegetación asociada al área de caracterización de los pozos, y por lo tanto el seguimiento histórico se ve afectado, al no considerar otros factores que influyen en la cantidad de individuos reportados con senescencia año a año. Hay que aclarar que esta condición no ocurre en las parcelas dominadas por especies herbáceas, ya que la metodología de monitoreo para ellas se sustenta en la descripción de toda la biomasa presente en la parcela.

Respecto al análisis multinivel¹ que relaciona la vitalidad de toda la vegetación prospectada, el contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa, se concluye que no existe relación directa entre las bajas vitalidades reportadas históricamente para los individuos y las variables mencionadas anteriormente. Sin embargo, se observa disminución de vitalidad de los individuos, principalmente en ejemplares de *Tessaria*

¹ Mejora comprometida a partir del año 2017 dentro de la presentación del programa de cumplimiento.

absinthioides y *Atriplex atacamensis* (asociado a una dinámica natural de la especie), versus niveles estables de CHS y profundidad de napa en el tiempo. Esta situación pudiese relacionarse con el diseño muestral del monitoreo, al considerar sólo ejemplares fijos, obviando el ciclo natural de desarrollo de estas especies.

2. INTRODUCCIÓN

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

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

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

Componente ambiental	Considerando RCA N°226/06	VARIABLES de medición	Frecuencia de medición	Frecuencia de entrega de reportes	Institución a cargo
Contenido de humedad del suelo	Considerando 10.3.1	Contenido de humedad del suelo	Trimestral	Anual	SQM Salar Algoritmos Spa.
		Vitalidad de la vegetación	2 veces al año	Anual	SQM Salar
		Nivel napa freática*	-	-	SQM Salar GP Consultores Ltda.
		Elaboración de informe	1 vez al año	Anual	Geobiota

* El nivel de la napa subterránea es medido con una frecuencia mensual en el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico. Para efectos del presente informe sólo se utiliza la información de los meses de enero, abril, julio y octubre. Fuente: RCA N°226/2006.

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

En cada punto de muestreo, y en forma contigua al pozo de muestreo de nivel de la napa, se instala una parcela circular de radio 5 metros en un sector representativo de la formación vegetal presente. En el centro de cada parcela se mide el contenido de humedad del suelo. Adicionalmente, al interior de cada parcela se

han identificado y marcado los ejemplares de las especies presentes², los que serán objeto de evaluaciones periódicas de su estado vital y sanitario. En el caso de las especies herbáceas se considerará toda la biomasa vegetal ubicada al interior de la parcela. La medición del estado vital y sanitario de los ejemplares seleccionados en cada parcela se efectuará durante el periodo en que las formaciones vegetales del Borde Este presentan follaje con biomasa fotosintéticamente activa, lo que ocurre aproximadamente entre los meses de noviembre y mayo.

En marzo del año 2008 se inició el bombeo de agua para uso industrial en el pozo Camar 2 y en septiembre del mismo año, comenzaron su operación los pozos Allana y Mullay 1. A principios del 2008 se entregaron dos informes preoperacionales y a partir de esa fecha se han generado diez informes operacionales anuales (2009-2018), que compilan los monitoreos ejecutados trimestralmente. El presente documento corresponde al Décimo Primer Informe Operacional Anual y expone los resultados del periodo 2019.

3. OBJETIVO

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

² Ejemplares marcados en la primera campaña preoperacional de monitoreo (abril 2007).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

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

Tabla 4-1. Coordenadas de los vértices del Borde Este del Salar de Atacama (UTM Datum WGS84 Huso 19S).

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

4.2. Ubicación de los puntos de muestreo

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

Tabla 4-2. Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, nivel napa y estado vital de la vegetación. Corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006, numeral 10.3.1.1. Coordenadas (UTM Datum WGS84 Huso 19S).

Nº	Pozo	Este	Norte	Vegetación existente
1	1027	589.996	7.425.017	Pradera muy abierta Grama Salada
2	L7-7	589.303	7.423.190	Pradera rala de Grama Salada
3	L7-14	592.600	7.422.900	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
4	L1-3	593.909	7.419.080	Matorral ralo de Cachiyuyo
5	L2-26	594.250	7.415.000	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
6	L2-25	592.645	7.415.077	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
7	L2-4	592.031	7.414.984	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo

Tabla 4-2. Ubicación de puntos de muestreo de humedad del suelo, nivel napa y estado vital de la vegetación. Corresponde a la Tabla 12 de la RCA 226/2006, numeral 10.3.1.1. Coordenadas (UTM Datum WGS84 Huso 19S).

Nº	Pozo	Este	Norte	Vegetación existente
8	L2-28	594.770	7.412.480	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo
9	L2-27	593.670	7.412.480	Matorral muy abierto de Brea-Cachiyuyo
10	L3-15	595.270	7.410.000	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
11	L3-5	594.086	7.409.890	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
12	L3-3	594.816	7.409.882	Matorral abierto de Brea-Cachiyuyo
13	L4-3	596.294	7.406.648	Matorral ralo de Rica rica-Pingo pingo
14	L4-17	595.380	7.406.312	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
15	L5-6*	595.737	7.404.824	Matorral ralo de Brea-Cachiyuyo
16	L5-7	595.653	7.403.910	Matorral semidenso de Brea-Cachiyuyo
17	L9-2	594.684	7.396.800	Matorral muy abierto de Brea-Cachiyuyo
18	L9-1	595.067	7.396.685	Matorral muy abierto de Cachiyuyo

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

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

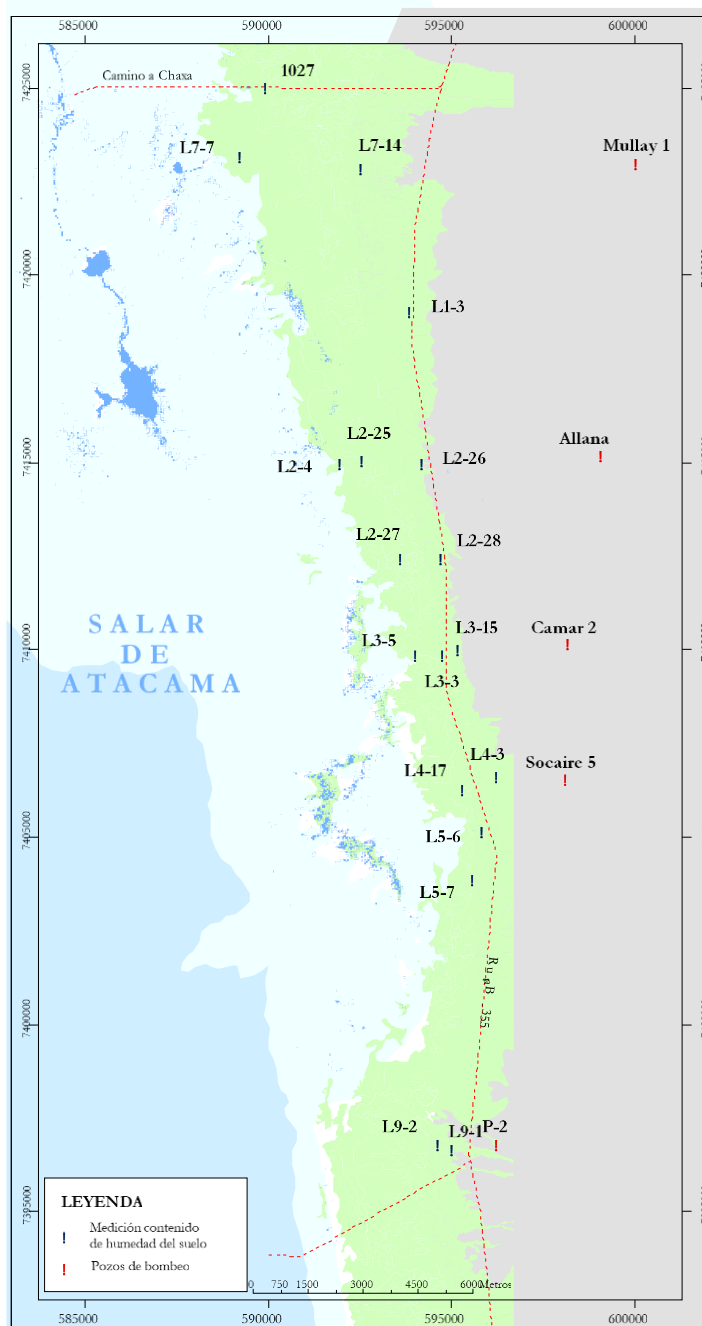


Figura 4-1. Ubicación de los pozos de muestreo.

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

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

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

4.4. Metodología

4.4.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo

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

Las muestras de suelo son extraídas a una profundidad variable en cada parcela, la que es definida en función del crecimiento radicular de la vegetación³. En la primera campaña de la etapa preoperacional (abril 2007) se realizó el análisis que permitió determinar esta profundidad, el detalle por parcela se muestra en la Tabla 4-3.

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

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

Las muestras son enviadas a dos laboratorios:

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

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

³ Establecido en 2007 a través de la caracterización de la longitud radicular de individuos de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis*.

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

4.4.1.1. Metodología utilizada

Al igual que en el 2018, los análisis ETFA utilizados para determinar el contenido de humedad gravimétrico del suelo para el año 2019 estuvieron a cargo de Algoritmos y Mediciones Ambientales Spa. (ETFa autorizada para el muestreo de suelos por medio de la Resolución Exenta N°63 SMA). A diferencia de las mediciones de los años precedentes (2016 – 2017), donde los análisis fueron realizados por SGS Chile Ltda.

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

a. Laboratorio Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA.

Entidad a cargo de la toma y análisis de las muestras correspondientes al año 2019 de monitoreo. El método de ensayo utilizado para la determinación de humedad de las muestras de suelo corresponde al MLAB-S-01, basado en la NCh 1515 Of 79, la cual se encuentra aprobada por el INN.

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

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

Donde:

w = humedad (%)

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

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

mr = masa del recipiente (g)

b. Metodología laboratorio SGS Chile Ltda.

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

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

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

Donde:

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

b = masa en g del suelo seco a 105 ± 5 °C + recipiente

c = masa en g del recipiente

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

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

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

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

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

Determinación de peso húmedo (PH) de las muestras. La primera etapa consistió en el pesaje de las muestras de suelo en estado húmedo. Para ello se pesaron las muestras de suelo dentro de la bolsa sellada, utilizando la balanza de precisión 0,1 g. El peso húmedo (en gramos) corresponde a la lectura de la balanza, descontando el peso de la bolsa.

Secado y determinación del peso seco (PS) de las muestras. Para el secado se extrajo el suelo de las bolsas, cuidando de sacar la totalidad de la muestra. Ésta se dispuso sobre una bandeja de aluminio de peso conocido y se secó a una estufa de circulación de aire por 48 horas a $105 \pm 5^\circ\text{C}$, tiempo estimado para que las muestras logren un peso constante. Tras finalizar el secado, las muestras se pesaron (precisión 0,1 g). El peso seco de la muestra se obtuvo descontando el peso de la bandeja.

Cálculo del contenido de humedad gravimétrico del suelo. El cálculo del contenido de humedad gravimétrico del suelo se realizó utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde:

CHg = Contenido de humedad gravimétrico (g/g)

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

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

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

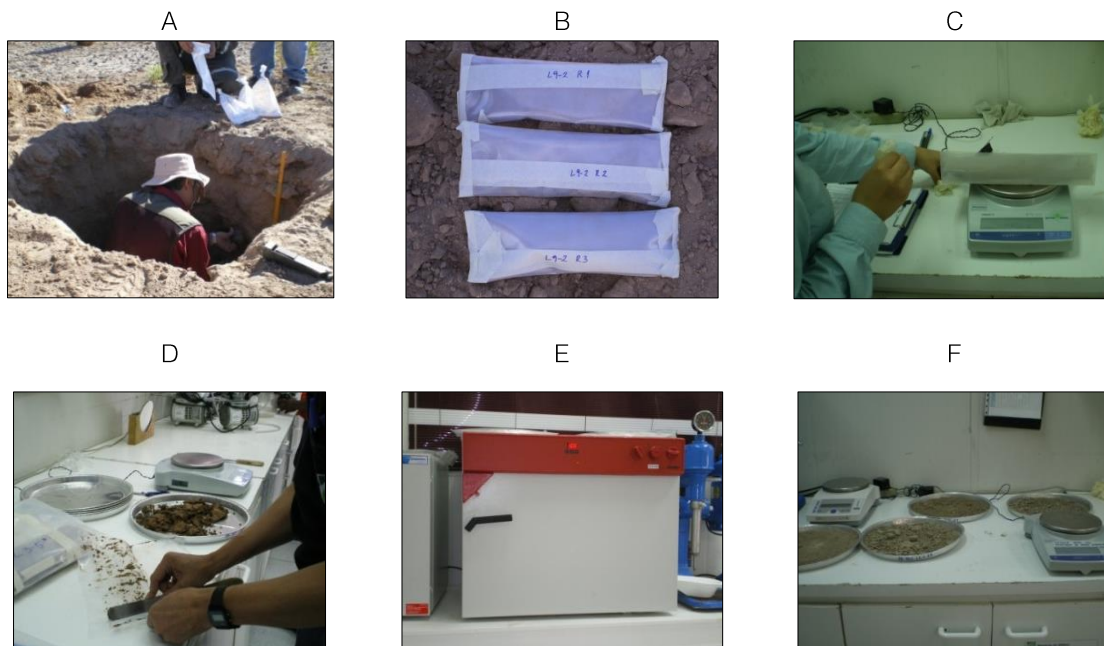


Figura 4-2. Método para determinar el contenido de humedad del suelo.

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

4.4.2. Profundidad de la napa subterránea

Cada una de las 18 parcelas de monitoreo permanente se encuentra adyacente a un pozo de monitoreo de nivel freático, los que son parte de la red de pozos del Plan de Seguimiento Hidrogeológico (PSAH). La medición de esta variable es realizada por SQM Salar y por la Entidad Técnico Fiscalizadora (ETFA) GP Consultores, el registro que lleva a cabo SQM es diario en los pozos (L2-4, L2-25, L7-14, L2-27, L1-3, L3-5, L2-26, L9-2, L2-28, L9-1, L3-15, L4-17, L3-3 y L4-3), mientras que la ETFA monitorea mensualmente los pozos (L7-7, L5-7, L5-6 y 1027).

La medición de la profundidad de la napa subterránea se realiza con un pozómetro, equipo que en uno de sus extremos posee un sensor sonoro y lumínico que detecta la presencia de agua (Figura 4-3). La profundidad de la napa corresponde al valor registrado por el pozómetro menos la altura del tubo y la base de cemento.

Los valores de profundidad de la napa reportados en el presente informe corresponden a los reportados en el Informe del Plan de Seguimiento Hidrogeológico (PSAH) asociado a la RCA N°266/2006.

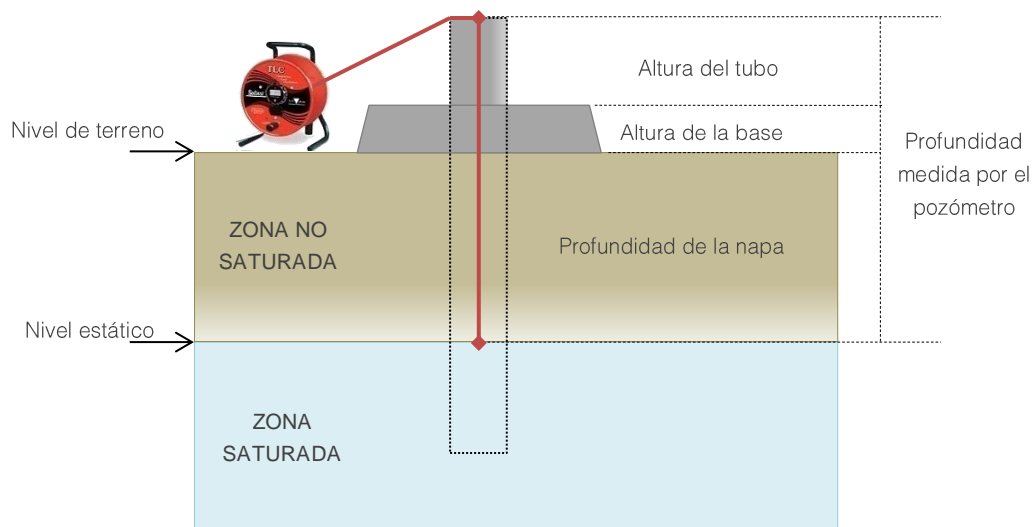


Figura 4-3. Esquema del proceso de medición en un pozo.

4.4.3. Estado vital de la vegetación

Conforme a la RCA N°226/2006, la medición del estado vital y sanitario de los ejemplares seleccionados en cada parcela se debe efectuar durante el periodo en que las formaciones vegetales del Borde Este presentan follaje con biomasa fotosintéticamente activa, lo que ocurre aproximadamente entre los meses de noviembre y mayo. Sin embargo, con el fin de obtener un seguimiento continuo entre las mediciones de vegetación, nivel freático y CHS, el monitoreo se realiza trimestralmente en los meses de enero, abril, julio y octubre.

La evaluación de la vegetación se realiza en 18 parcelas permanentes circulares de radio 5m, las que fueron establecidas en la primera campaña de este monitoreo (abril 2007). En estas parcelas también se extraen las muestras para determinar el contenido de humedad gravimétrico del suelo. La vegetación asociada a estas parcelas requiere un seguimiento permanente, por lo que en cada una se escogieron 10 individuos arbustivos, los que fueron etiquetados en la primera campaña de monitoreo (abril 2007) para su control temporal (Figura 4-4). En las parcelas donde hubo un número menor de individuos por parcela, se etiquetaron todos los ejemplares presentes. En el caso de vegetación herbácea se contabilizan y miden todos los individuos por especie en cada parcela.

La evaluación de vitalidad de los ejemplares se realizó en función de las siguientes variables:

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

0. Ejemplar seco, no presenta follaje verde ni estructuras reproductivas de ningún tipo,
1. Ejemplar muy débil, presenta escaso follaje verde, sin producción de frutos, se observan signos de ataque de patógenos,
2. Ejemplar débil, aunque presenta follaje verde pueden observarse signos leves de ataque de patógenos, capaz de producir algunos frutos,

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

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

- c) **Estado fenológico.** Evalúa la formación de estructuras en la planta según las siguientes categorías:

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

Adicionalmente se midió la altura en centímetros de los ejemplares arbustivos. Su determinación consiste en medir la distancia entre el suelo y el punto más alto de la planta, tomando como criterio el follaje fotosintéticamente activo. Cuando un individuo no presentó copa viva, esta variable no fue medida. Los resultados se detallan en el anexo I.



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

Se estableció la categoría No Aplica para las tres variables antes mencionadas en los casos que los ejemplares no pudieron ser encontrados en las parcelas de monitoreo, ya sea por la pérdida de la biomasa aérea de estas o la desaparición ante las condiciones ambientales del área. Para verificar esta condición, se registra fotográficamente los ejemplares marcados.

Para el actual monitoreo (2019) se agregaron las categorías “Desaparecidos por Aluvión” para identificar a los individuos afectados por el aluviones de la quebrada de Camar y la categoría “No monitoreados” en aquellos caso que no fue posible monitorear por falta de permiso de ingreso al área⁴.

Para analizar los efectos de la humedad del suelo y la profundidad de la napa sobre la vitalidad de la vegetación, se realizaron análisis multivariados utilizando Modelos Lineales Generalizados Multinivel (GLMM) con una distribución normal. Se utilizó un modelo múltiple que incluye todas las covariables e incorpora los registros (conteos) de Vitalidad de cada especie en cada una de las campañas como variable dependiente. Los datos utilizados para el análisis corresponden a aquellos reportados en los informes entre los años 2007-2018, a los cuales se añade lo reportado en el presente informe (2019).

4.5. Materiales

4.5.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo

Para la medición del contenido de humedad gravimétrico del suelo se utilizaron los siguientes materiales:

- Balanza de precisión 0,1 g para el pesaje de las muestras.
- Estufa de circulación de aire para el secado de las muestras.
- Bolsas herméticas plásticas.
- Frascos plásticos.

⁴ Resolución N°56/2019 que aprueba el Protocolo de Ingreso a los sectores 4, 5 y 7 de la RN Los Flamencos.

- Pala.
- Guantes.

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

4.5.2. Profundidad de la napa subterránea

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



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

4.5.3. Vitalidad de la vegetación

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

- GPS.
- Cámara fotográfica.
- Flexómetro.

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

4.6.1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo

El monitoreo de esta propiedad se realiza de forma trimestral. Sin embargo, por restricciones de acceso a las áreas de muestreo por parte de la comunidad de Toconao y CONAF (Protocolo CONAF – Comunidades Monitoreo Ambiental), aprobado según Resolución CONAF N°56/2019 de fecha 14.06.2019, no se pudo efectuar la totalidad del levantamiento en las fechas inicialmente estipuladas, razón por la cual estas fueron tomadas de la siguiente forma:

- Campaña enero: ejecutada el 27 de enero para 10 puntos de control. El monitoreo quedó inconcluso ya que las lluvias estivales provocaron cortes de caminos, los que quedaron inhabilitados hasta finales del mes de febrero. Por esto, los puntos pendientes se levantaron el 27 de febrero.

- Campaña abril: se realizó entre el 23 y 24 de abril en 16 puntos, mientras que los dos restantes (L7-7 y 1017) no pudieron ser levantados por restricciones de acceso del protocolo Conaf – Comunidades⁵.
- Campaña Julio: se levantaron 16 puntos entre el 30 y 31 de julio. Por restricciones del protocolo Conaf-comunidades, los dos puntos pendientes (L7-7 y 1027) fueron monitoreados el 25 de septiembre
- Campaña Octubre: realizada el 26 y 27 de noviembre en 16 puntos de monitoreo, mientras que por restricciones del protocolo Conaf- comunidades, no se pudo realizar el monitoreo de los puntos restantes (L7-7 y 1027).

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio metalúrgico de SQM Salar el mismo día que se extrajeron de terreno, mientras que en el caso de la ETFA Algoritmos, se realizó el envío de muestras a Santiago (Región Metropolitana) para su posterior análisis en sus laboratorios.

4.6.2. Profundidad de la napa subterránea

Esta medición se realizó con una frecuencia mensual, y sus resultados reportados en el informe asociado al Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico correspondiente al año 2019. Para efectos del presente informe se utilizan las mediciones reportadas para el día 20 en los meses de enero, abril, julio y octubre del año 2019.

4.6.3. Estado vital de la vegetación

El monitoreo del estado vital de la vegetación se realiza de forma trimestral y en conjunto con la toma de muestras de suelo por lo cual las fechas correspondientes al levantamiento de contenido de humedad gravimétrico del suelo corresponde a las mismas fechas del estado vital de la vegetación.

⁵ El que se encontraba en elaboración, pero a la fecha se hacía efectivo por parte de CONAF-Comunidades.

5. RESULTADOS

5.1. Contenido de humedad del suelo

En la presente sección se presentan los resultados de las mediciones de contenido de humedad reportada para el año 2019 por los dos laboratorios donde se ejecutaron los análisis.

5.1.1. Laboratorio Algoritmos SpA.

La Tabla 5-1 muestra los resultados reportados por Algoritmos SpA. para las mediciones del contenido de humedad del suelo en las cuatro campañas correspondientes al monitoreo del año 2019.

Tabla 5-1. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA (ETFA). en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas del año 2019.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g) por campaña de monitoreo				Promedio (g/g)	Desv. est.
	Enero/Febrero	Abril	Julio/Septiembre	Noviembre		
L7-7	0,509	-	0,521	-	0,515	0,006
1027	0,796	-	0,717	-	0,757	0,040
L2-4	0,656	0,414	0,471	0,597	0,535	0,096
L2-25	0,462	0,494	0,533	0,452	0,485	0,032
L7-14	0,318	0,342	0,224	0,225	0,277	0,053
L2-27	0,413	0,356	0,395	0,387	0,388	0,021
L1-3	0,048	0,052	0,055	0,045	0,050	0,004
L3-5	0,402	0,372	0,360	0,297	0,358	0,038
L2-26	0,162	0,156	0,136	0,118	0,143	0,017
L9-2	0,070	0,100	0,091	0,086	0,087	0,011
L2-28	0,165	0,150	0,146	0,139	0,150	0,010
L9-1	0,087	0,100	0,105	0,097	0,097	0,007
L3-15	0,044	0,097	0,105	0,078	0,081	0,024
L4-17	0,156	0,212	0,276	0,189	0,208	0,044
L5-7	0,207	0,282	0,347	0,264	0,275	0,050
L5-6	0,155	0,156	0,127	0,157	0,149	0,013
L3-3	0,105	0,183	0,170	0,164	0,156	0,030
L4-3	0,003	0,037	0,031	0,025	0,024	0,013

(-) Corresponde a datos que por condiciones climáticas o restricciones de acceso del protocolo Conaf-comunidades no pudieron ser levantados.

La Tabla 5-1 muestra el promedio del contenido de humedad gravimétrico obtenidos durante las cuatro campañas de muestreo, para cada uno de los 18 puntos de medición evaluados en el año 2019. Los puntos de muestreo están distribuidos de oeste a este. La Figura 5-1 muestra que el mayor contenido de humedad promedio se obtuvo en las parcelas ubicadas al oeste (1027, L7-7, L2-25 y L2-4), registrando valores que

variaron entre 0,717 g/g a 0,485 g/g. Los menores valores de contenido de humedad se registraron en las parcelas de monitoreo L4-3, L1-3, L3-15 y L9-2, las cuales presentan valores entre 0,024 g/g y 0,092 g/g.

El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos L2-4, L7-14 y L5-7, con desviaciones estándar entre 0,096 g/g y 0,05 g/g. Mientras que la mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo L1-3, L2-28 y L9-1, cuyas desviaciones estándar fueron entre 0,004 g/g y 0,007 g/g.

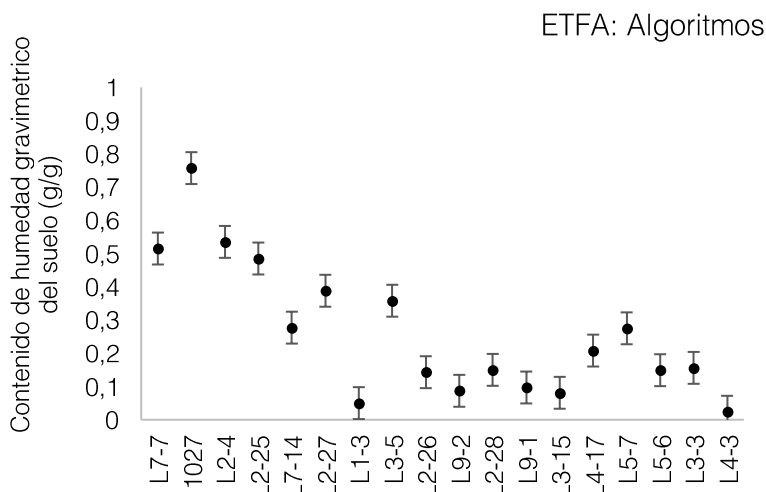


Figura 5-1. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Algoritmos Spa, para el año 2019.

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

(*) los pozos L7-7 y 1027 poseen mediciones solamente en los meses de enero y julio. Por lo que su promedio es considerando dos periodos y no cuatro como es lo habitual.

5.1.2. Laboratorio metalúrgico SQM Salar

La Tabla 5-2 muestra los resultados de las mediciones del contenido de humedad en las cuatro campañas correspondientes al monitoreo del año 2019. Los puntos de monitoreo se distribuyen de oeste a este.

Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas de 2019.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g) por campaña de monitoreo				Promedio (g/g)	Desv. est.
	Enero/Febrero	Abril	Julio/Septiembre	Noviembre		
L7-7	0,632	-	0,608	-	0,620	0,012
1027	0,913	-	0,813	-	0,863	0,050
L2-4	0,717	0,612	0,507	0,643	0,620	0,075
L2-25	0,577	0,512	0,515	0,455	0,515	0,043

Tabla 5-2. Contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar en las parcelas de monitoreo para las cuatro campañas de 2019.

Pozos (oeste a este)	Contenido de humedad gravimétrico (g/g) por campaña de monitoreo				Promedio (g/g)	Desv. est.
	Enero/Febrero	Abril	Julio/Septiembre	Noviembre		
L7-14	0,340	0,324	0,233	0,248	0,286	0,046
L2-27	0,472	0,398	0,448	0,411	0,432	0,029
L1-3	0,059	0,050	0,054	0,047	0,053	0,005
L3-5	0,423	0,434	0,337	0,344	0,385	0,044
L2-26	0,189	0,175	0,138	0,136	0,160	0,023
L9-2	0,071	0,104	0,103	0,083	0,090	0,014
L2-28	0,175	0,161	0,158	0,148	0,161	0,010
L9-1	0,093	0,112	0,108	0,107	0,105	0,007
L3-15	0,052	0,086	0,090	0,085	0,078	0,015
L4-17	0,153	0,234	0,234	0,211	0,208	0,033
L5-7	0,224	0,325	0,378	0,307	0,309	0,055
L5-6	0,149	0,138	0,148	0,154	0,147	0,006
L3-3	0,111	0,161	0,169	0,168	0,152	0,024
L4-3	0,003	0,033	0,029	0,026	0,023	0,012

(-) Corresponde a datos que por condiciones climáticas o restricciones de acceso del protocolo Conaf-comunidades no pudieron ser levantados.

El mayor contenido de humedad promedio se obtuvo en las parcelas ubicadas al oeste (1027, L2-4, L2-25 y L7-7), registrando valores que variaron entre 0,515 g/g a 0,863 g/g. Los menores registros de contenido de humedad se registraron en las parcelas de monitoreo L4-3, L1-3 y L3-15, las cuales presentan valores entre 0,023 g/g a 0,078 g/g.

El contenido de humedad presentó una mayor variación a lo largo del año en los puntos 1027, L2-4 y L5-7 con desviaciones estándar entre 0,075 y 0,055 g/g. Mientras que la mayor homogeneidad del contenido de humedad gravimétrico durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo L1-3, L9-1 y L5-6, cuyas desviaciones estándar fueron entre 0,005 g/g y 0,007 g/g.

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

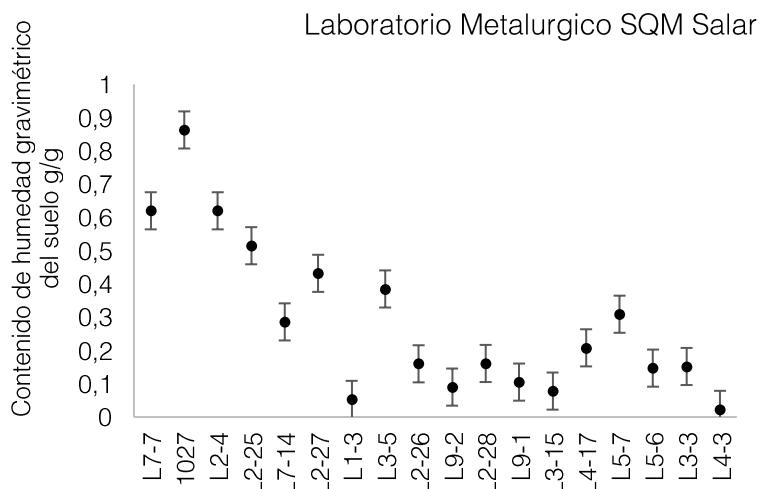


Figura 5-2. Variación promedio anual del Contenido de humedad gravimétrico del suelo, según Laboratorio SQM Salar, para el año 2019.

(*) los pozos L7-7 y 1027 poseen mediciones solamente en los meses de enero y julio. Por lo que su promedio es considerando dos periodos y no cuatro como es lo habitual.

5.1.3. Relación de los valores reportados entre laboratorios

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

De acuerdo con los registros, el laboratorio Algoritmos reportó valores más bajos de contenido de humedad de suelo que el laboratorio de SQM Salar ($R^2 = 0,97$), en aproximadamente el 25% del total de muestras tomadas durante el año. La posible causa de esta variación se relaciona con el tiempo de transporte de las muestras antes del análisis. En el caso de las muestras analizadas en el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar, el tiempo entre extracción y análisis es menor, ya que éste se ubica en el área industrial de la faena de SQM, por lo que las muestras son recibidas e ingresadas el mismo día de la colecta, a diferencia de las muestras de Algoritmos SpA, que son analizadas en Santiago. Se puede verificar en los certificados de laboratorio emitidos por Algoritmos SpA que existe un periodo de tiempo de 4 días o más desde la colecta hasta el ingreso de la muestra para su análisis, periodo de tiempo que tiene efectos en la pérdida de humedad de la muestra. Las diferencias observadas pueden alcanzar 0,198 g/g en las muestras con mayor contenido de humedad de acuerdo con los resultados presentados por el Laboratorio Metalúrgico SQM Salar.

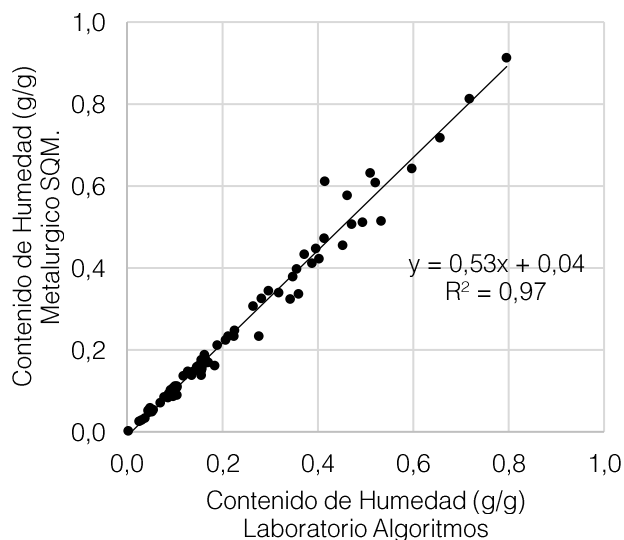


Figura 5-3. Comparación de los valores de contenido de humedad gravimétrica obtenido por el Laboratorio SQM Salar y Laboratorio de Algoritmos para el año 2019.

5.2. Profundidad de la napa

La Tabla 5-3 muestra los resultados de las mediciones de profundidad de la napa en las cuatro campañas correspondientes al monitoreo del año 2019 según los datos reportados por SQM Salar y GP Consultores.

Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2019.

Pozos (oeste a este)	Profundidad napa (m) por campaña de monitoreo				Promedio (m)	Desv. est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L7-7 ^{(1)*}	0,642	-	-	-	-	-
1027 ⁽¹⁾	0,606	0,511	0,449	0,478	0,511	0,059
L2-4	0,970	0,829	0,871	0,894	0,891	0,051
L2-25	0,654	0,602	0,619	0,621	0,624	0,019
L7-14	1,570	1,412	1,464	1,472	1,480	0,057
L2-27	1,090	0,944	0,922	0,960	0,979	0,065
L1-3	7,172	7,005	7,094	7,146	7,104	0,064
L3-5 ⁽²⁾	0,053	0,000	0,000	0,000	0,013	0,023
L2-26	3,944	3,773	3,866	3,899	3,871	0,063
L9-2	4,239	4,161	4,142	4,121	4,166	0,045
L2-28	3,378	3,040	3,116	3,149	3,171	0,126
L9-1	5,813	5,765	5,736	5,714	5,757	0,037
L3-15	3,779	3,633	3,634	3,632	3,670	0,063
L4-17	2,027	1,951	1,948	1,917	1,961	0,040

Tabla 5-3. Profundidad de la napa de las parcelas de monitoreo en las cuatro campañas del año 2019.

Pozos (oeste a este)	Profundidad napa (m) por campaña de monitoreo				Promedio (m)	Desv. est.
	Enero	Abril	Julio	Octubre		
L5-7 ⁽¹⁾	1,933	1,857	1,773	1,759	1,831	0,070
L5-6 ⁽¹⁾	2,456	2,414	2,349	2,345	2,391	0,046
L3-3	3,522	3,181	3,231	3,241	3,294	0,134
L4-3	13,853	13,793	13,725	13,667	13,760	0,070

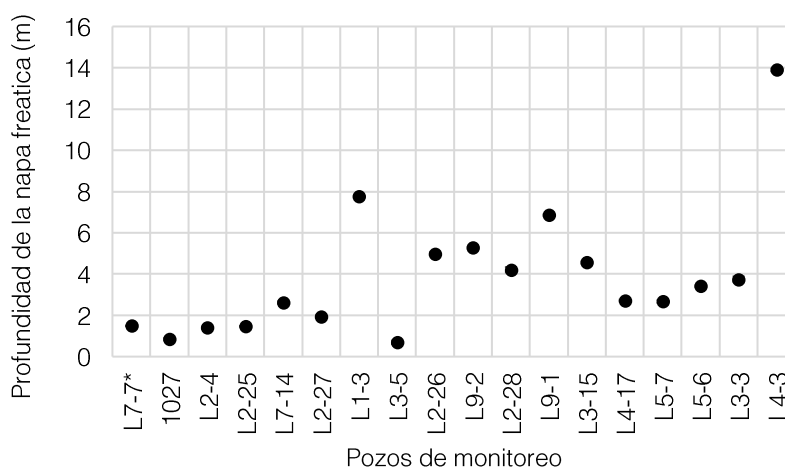
(1) Estos pozos son medidos por la ETFA GP Consultores.

(2) El pozo L3-5 esta en 0 ya que el agua aflora en él.

(*) L7-7 solo pudo medirse en la campaña de enero, en las siguientes no se permitió el acceso, por acción del protocolo CONAF-Comunidades.

En la Figura 5-4 se presenta la profundidad promedio de la napa durante las cuatro campañas del año 2019, en ella se aprecia que el pozo L3-5 tiene el menor valor promedio anual con 0,013 m entre los cuatro periodos monitoreados, además en los meses de abril, julio y octubre en el pozo se registra una profundidad de la napa igual a 0 m dando al pozo la característica de somero, es decir, el agua en este punto del borde este aflora. En contraposición, la mayor profundidad promedio de la napa se observó en el pozo L4-3, llegando a 13,760 m, seguido por los pozos L1-3 (7,104 m) y L9-1 (5,757m).

La profundidad de la napa en los puntos L3-3 y L2-28 registraron la mayor variación a lo largo del año, presentando una desviación estándar de 0,134 m y 0,126 m respectivamente. Mientras que la mayor homogeneidad de la profundidad de la napa durante el año se presentó en las parcelas de monitoreo L2-25 y L9-1 cuya desviación estándar fue de 0,019 m y 0,037 m, respectivamente.



● Profundidad Promedio de la napa

Figura 5-4. Promedio de la profundidad de la napa y su desviación estándar por parcela de monitoreo en las cuatro campañas del año 2019.

Los gráficos muestran el promedio anual. El pozo L7-7 solo tuvo medición en el mes de enero.

5.3. Relación Contenido de humedad y napa freática

La Figura 5-5 y Figura 5-6, muestran la relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por los Laboratorios metalúrgico de SQM Salar y Algoritmos SpA con la profundidad de la napa en cada campaña de monitoreo del año 2019.

5.3.1. Laboratorio Algoritmos SpA

En los cuatro monitoreos del año 2019, y de acuerdo con lo esperado, se aprecia una relación exponencial inversa entre ambas propiedades, indicando que la profundidad de la napa tiene relación con el contenido de humedad gravimétrico del suelo. La relación de ambas mediciones muestra que existe una relación R^2 que se aproxima al 90% en enero y 80% los periodos siguientes.

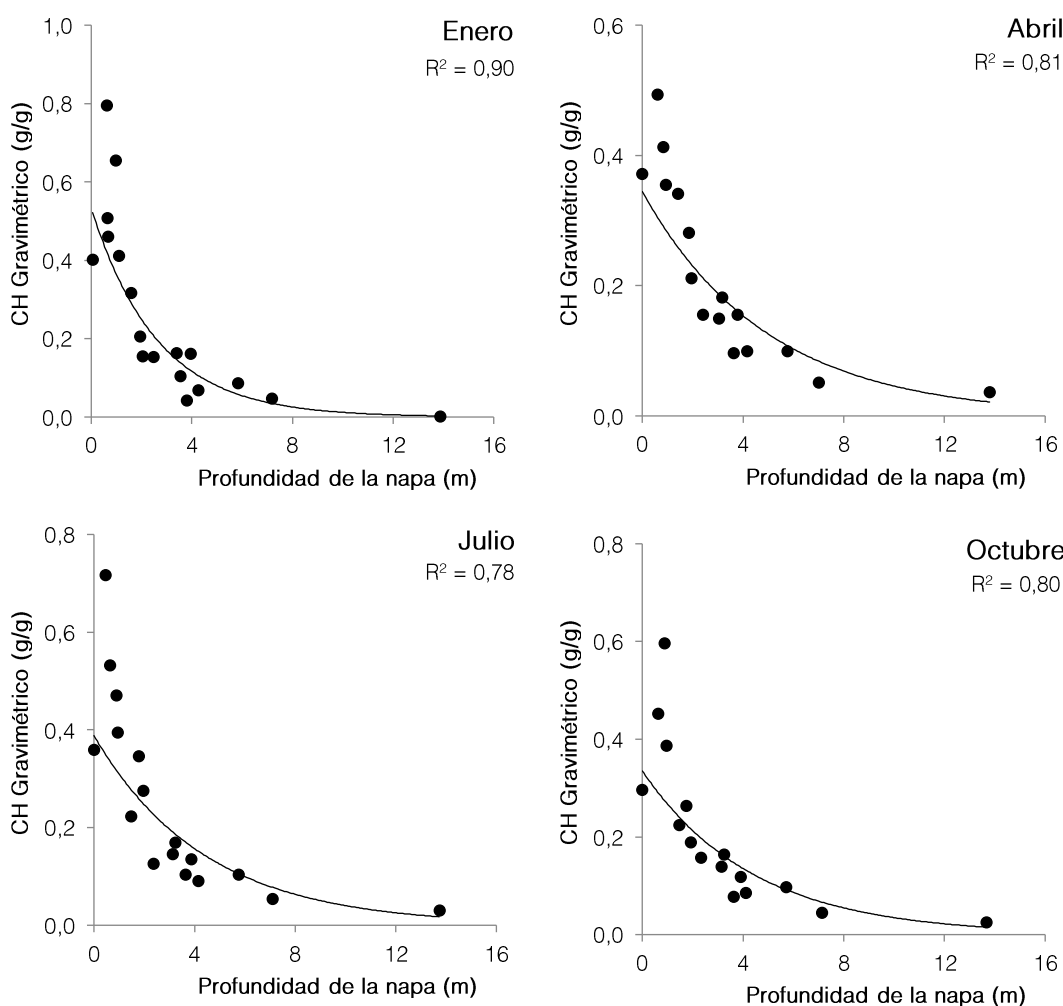


Figura 5-5. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por Algoritmos SpA y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2019.

5.3.2. Laboratorio metalúrgico faena SQM Salar

En los cuatro monitoreos del año 2019 se aprecia una relación exponencial inversa entre ambas propiedades, indicando que la profundidad de la napa tiene relación sobre el contenido de humedad gravimétrico del suelo. La relación de ambas mediciones muestra que existe una relación R^2 que varía entre un mínimo de 0,78 (monitoreo de abril) a 0,89 (monitoreo de enero).

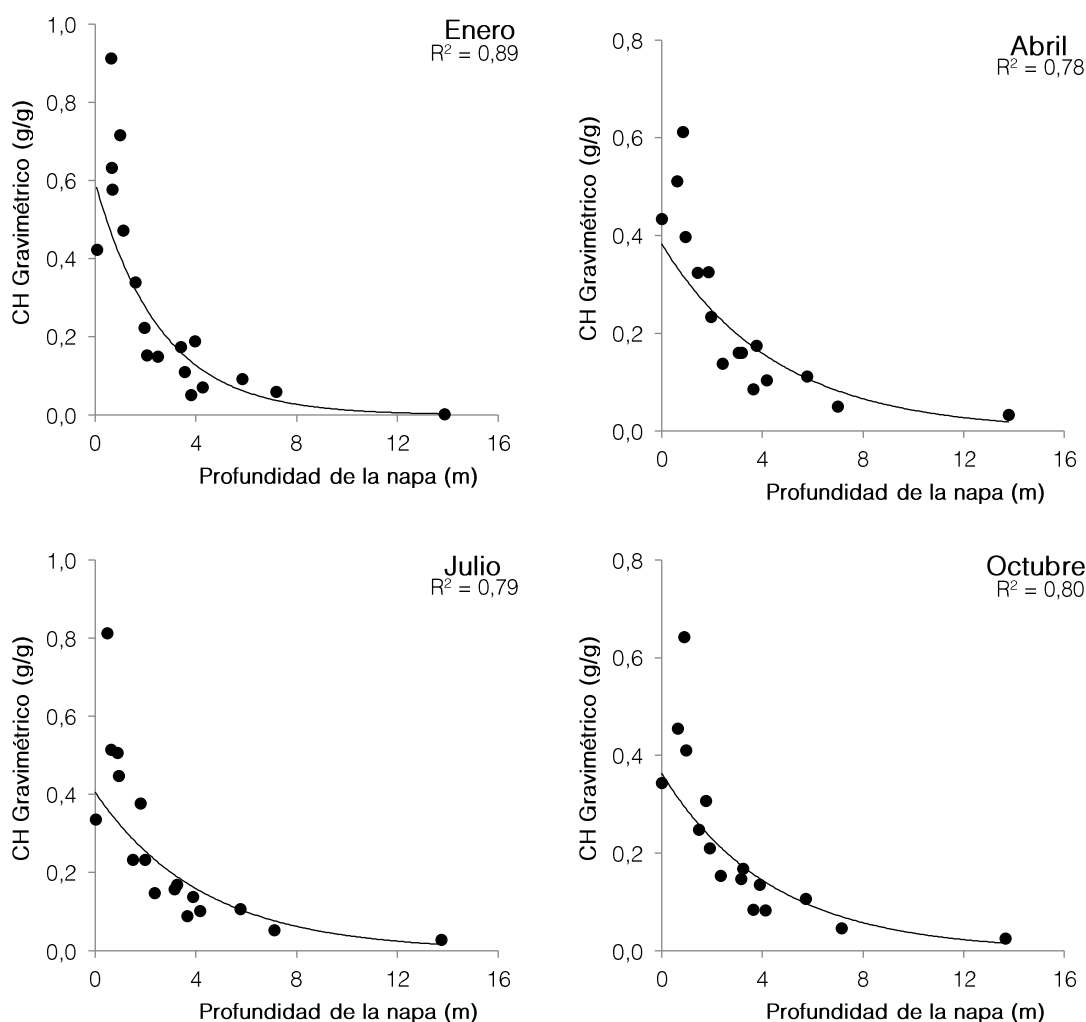


Figura 5-6. Relación entre el contenido de humedad gravimétrico del suelo medido por SQM Salar y la profundidad de la napa en cada campaña del año 2019.

La relación entre el contenido de humedad del suelo y la profundidad de la napa muestra tendencias similares cuando son comparadas las distintas entidades que analizan las muestras de suelo. Así, los análisis de la ETFA Algoritmos Spa y el laboratorio metalúrgico de SQM Salar poseen correlaciones equivalentes cuando se comparan con la profundidad de la napa en los periodos prospectados. Se observa homogeneidad en todos los periodos con correlaciones que varían entre el 78% y 90%. Las tendencias suelen ser exponenciales

negativas, es decir, el contenido de humedad del suelo tiende a disminuir cuando la profundidad de la napa aumenta.

5.4. Estado vital de la vegetación

Para el seguimiento del estado vital de la vegetación se han medido las siguientes variables: Porcentaje de copa viva, vitalidad y estado fenológico. La Tabla 5-4 muestra el listado de especies presente en las 18 parcelas de monitoreo.

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

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

Si bien la RCA N° 226/2006, contempla la realización de dos monitoreos al año del estado vital de la vegetación, se realizan cuatro mediciones con el fin de aportar más información a los análisis. En relación con esto, los párrafos siguientes describen el porcentaje de copa Viva, la vitalidad y fenología de los individuos monitoreados durante el periodo 2019.

La Tabla 5-5 muestra las consecuencias en el monitoreo del 2019, asociados a 1) un aluvión originado por precipitaciones estivales que durante los meses de enero y febrero del 2019, las que fueron particularmente intensas, y 2) los efectos del protocolo CONAF-Comunidades. En el primer caso, hubo ejemplares afectados, los que fueron enterrados y por ende imposibles de prospectar. En el segundo caso, dadas las restricciones de acceso a áreas de la reserva nacional, hubo parcelas que no pudieron monitorearse en los plazos establecidos, teniendo que realizar campañas en otras oportunidades o no se pudieron muestrear.

Tabla 5-5. Estado de los individuos asociados al monitoreo.

Estado	enero	abril	julio	octubre
No aplica*	4,3%	3,5%	3,5%	2,1%
Desaparecidos por Aluvión**	0,0%	18,4%	17,7%	17,7%
No monitoreados***	0,0%	2,1%	0,0%	2,1%
Total Sin monitorear	4,3%	24,1%	21,3%	21,9%
Total Monitoreado	95,7%	75,9%	78,7%	78,1%

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

* Se refiere a individuos que sin motivo aparente no lograron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora fue encontrada en el suelo.

** Se refiere a aquellos individuos desaparecidos de la parcela debido al aluvión que descendió de la quebrada de Camar en verano del 2019.

*** Se refiere a aquellos individuos que no pudieron ser medidos producto del protocolo CONAF-Comunidades.

5.4.1. Porcentaje de copa viva

Los resultados del monitoreo al porcentaje de copa viva de los ejemplares se presentan a continuación. Los detalles de cada punto de monitoreo se encuentran en el Anexo I Estado vital de la vegetación. La Tabla 5-6 y Figura 5-7 resumen e ilustran la proporción de individuos en cada categoría de copa viva. Además muestra

los efectos del aluvión que descendió por la quebrada de Camar en la época estival, cuyos efectos se observan a partir del mes de abril. También se aprecia la cantidad de ejemplares que no pudieron ser monitoreados al no poseer acceso a áreas de la Reserva Nacional en los meses de abril y octubre.

Tabla 5-6. Número y proporción de individuos por clase de copa viva.

Clase de copa viva	Número de individuos por clase de copa viva				Proporción en % del número de individuos por clase de copa viva			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
0%	67	48	51	63	47,5%	34,0%	36,2%	44,7%
<5%	12	7	7	7	8,5%	5,0%	5,0%	5,0%
5-25%	23	19	27	11	16,3%	13,5%	19,1%	7,8%
25-50%	22	22	19	15	15,6%	15,6%	13,5%	10,6%
50-75%	4	6	3	7	2,8%	4,3%	2,1%	5,0%
75-100%	7	5	4	7	5,0%	3,5%	2,8%	5,0%
No aplica*	6	5	5	3	4,3%	3,5%	3,5%	2,1%
Desaparecidos por Aluvión**	0	26	25	25	0,0%	18,4%	17,7%	17,7%
No monitoreados***	0	3	0	3	0,0%	2,1%	0,0%	2,1%
total	141¹	141¹	141¹	141¹	100%	100%	100%	100%

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

* Se refiere a individuos que sin motivo aparente no lograron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora fue encontrada en el suelo.

** Se refiere a aquellos individuos desaparecidos de la parcela debido al aluvión que descendió de la quebrada de Camar en verano del 2019.

*** Se refiere a aquellos individuos que no pudieron ser medidos producto del protocolo CONAF-Comunidades.

En el Estudio de Impacto Ambiental se indica que la mayor cantidad de biomasa se produce entre los meses de noviembre y mayo. Sin embargo, en los monitoreos del año 2019 se presenta un patrón similar dentro de todos los trimestres evaluados (Tabla 5-7).

En enero el 47,5% de la vegetación no presentó copa viva. De los ejemplares restantes el 16,3% presentó copa entre 5-25% y 15,6% presentó copa viva entre 25 a 50%. Los ejemplares con copa viva entre 75-100% alcanzó el 5,0%. Además, un 4,3% de los individuos no se pudo prospectar debido a la ausencia de las etiquetas identificadoras de cada uno de ellos.

En el mes de abril se aprecia una disminución de los individuos sin copa viva (0%) respecto al mes anterior (sin considerar aquellos individuos que desaparecieron por el aluvión), alcanzando el 34,0%. Por otra parte, se registró un 13,5% para la categoría 5-25%, 15,6% de individuos en la categoría 25-50%, mientras que la categoría 75-100% reportó un 4,3% de individuos. Durante esta prospección se observan los efectos del aluvión originado en verano, donde un 18,4% de los individuos desapareció, además, un 2,1% de los ejemplares no pudieron ser monitoreados debido a la restricción de acceso por efecto de Protocolo CONAF-Comunidades (3 ejemplares herbáceos).

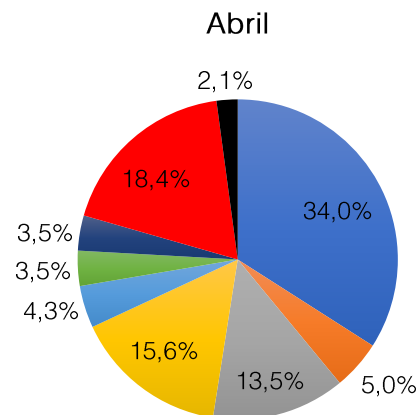
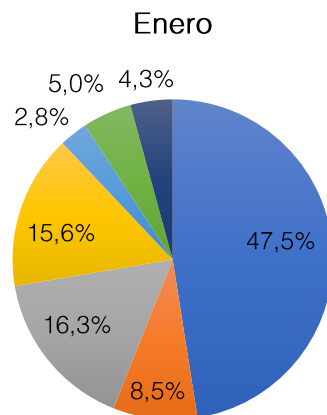
En julio la mayor concentración de ejemplares tuvo una copa viva de un 0%, representando un 36,2% de los individuos. Del resto de los ejemplares, el 19,1% presentó una copa viva entre el 5-25%, y otro 13,5% se registró para la categoría 25-50%. El resto de las categorías de copa viva no superan el 3% cada una. Este

mes los individuos desaparecidos por efectos del aluvión llegan al 17,7%, registrando un individuo menos que el periodo anterior, este ejemplar corresponde a la especie *Distichlis spicata*, el que dadas sus características de crecimiento es posible encontrar luego del aluvión, además, al ser una especie herbácea, la metodología de medición responde a la totalidad de biomasa por la parcela, haciendo variable el efecto del aluvión en el tiempo, pero solamente respecto a este tipo de plantas. Los individuos de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex atacamensis* perdidos en el evento, no podrán volver a incorporarse al monitoreo ya que estos se encontraban marcados y etiquetados desde el inicio de este (2007).

Respecto al mes de octubre, los individuos con copa 0% alcanzan los 44,7%. Las categorías 5-25% y 25-50% comprende los 7,8% y 10,6% respectivamente. Mientras que, 50-75% y 75-100% llegaron a 5% cada una. Durante este periodo no se contó con permiso de ingreso a los pozos L7-7 y 1027, dejando un 2,1% de individuos sin monitorear. Además, un 17,7% se registró como desaparecido debido al aluvión.

Tabla 5-7. Proporción del total de individuos con copa viva mayor a 5%; 25%; 50%; y 75%

Clase de copa viva	Mes de monitoreo (%)			
	enero	abril	julio	octubre
> 5%	39,7%	36,9%	37,6%	28,4%
> 25%	23,4%	23,4%	18,4%	20,6%
> 50%	7,8%	7,8%	5,0%	9,9%
>75%	5,0%	3,5%	2,8%	5,0%



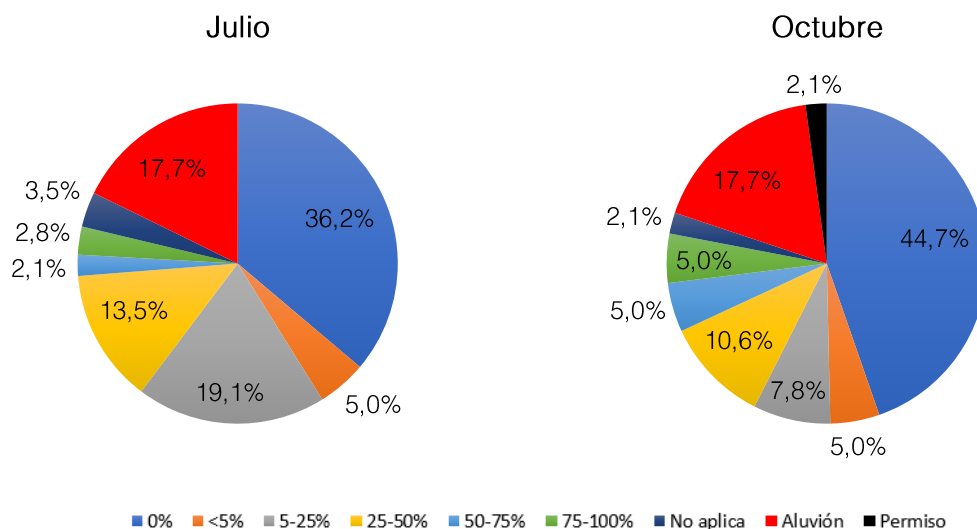


Figura 5-7. Porcentaje de copa viva de los individuos monitoreados en 2019.

5.4.2. Vitalidad

Los resultados del monitoreo de la vitalidad de los individuos se presentan a continuación en la Tabla 5-8 y Figura 5-8. Los detalles de cada punto monitoreado se muestran en el Anexo I – Estado vital de la vegetación.

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

Categoría	Número de Individuos por clase de vitalidad				Proporción en % del número de individuos por clase de vitalidad			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
Seco	68	48	51	64	48,2%	34,0%	36,2%	45,4%
Muy débil	31	14	30	1	22,0%	9,9%	21,3%	0,7%
Débil	25	38	26	1	17,7%	27,0%	18,4%	0,7%
Crecimiento normal	11	7	4	42	7,8%	5,0%	2,8%	29,8%
Excepcionalmente vigoroso	0	0	0	2	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%
No aplica*	6	5	5	3	4,3%	3,5%	3,5%	2,1%
Desaparecidos por Aluvión**	0	26	25	25	0,0%	18,4%	17,7%	17,7%
No monitoreados***	0	3	0	3	0,0%	2,1%	0,0%	2,1%
Total	141 ¹	141 ¹	141 ¹	141 ¹	100%	100%	100%	100%

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

* Se refiere a individuos que sin motivo aparente no lograron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora fue encontrada en el suelo.

** Se refiere a aquellos individuos desaparecidos de la parcela debido al aluvión que descendió de la quebrada de Camar en verano del 2019.

*** Se refiere a aquellos individuos que no pudieron ser medidos producto del protocolo CONAF-Comunidades.

La categoría de vitalidad seco predomina en todos los meses monitoreados, variando desde un 34,0% (abril) a un 48,2% (enero). Además, un alto porcentaje de ejemplares presentan esta categoría en los meses de julio y octubre, llegando a 36,2% en julio y 45,4% en octubre.

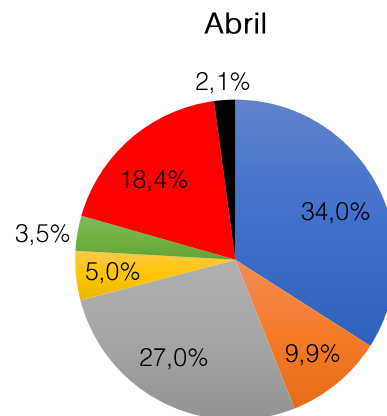
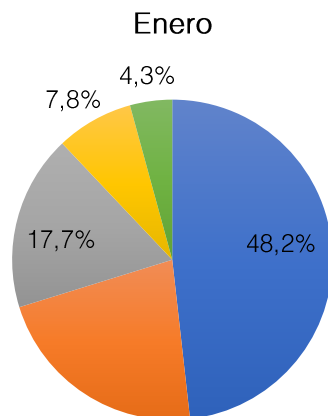
Los registros muestran un porcentaje de individuos identificados bajo la categoría Muy débil de 22% (enero), 9,9% (abril), 21,3% (julio) y 0,7% en octubre.

Los individuos descritos como débiles tienen su mayor representación en el mes de abril con un 27,0% (equivalente a 38 registros). En esta línea, el mes con menor representación de individuos bajo esta categoría es octubre, con un 0,7% (1 individuo).

Los registros de individuos con crecimiento normal representan la segunda minoría en los primeros tres periodos de monitoreo. El mes de enero, abril y julio poseen porcentajes de 7,8%, 5% y 28,8% respectivamente. Mientras que en el mes de octubre es donde más individuos tuvieron esta característica (28,8% equivalente a 42 individuos).

Los individuos excepcionalmente vigorosos, poseen registros solamente durante el mes de octubre, en donde se registraron 2 ejemplares (1,4%). El resto de los meses monitoreados no presenta registros en esta categoría.

Los individuos bajo la categoría de vitalidad "no aplica" llegan a 6 en el mes de enero (4,3% del total) estos corresponden a individuos que no pudieron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora se encontró desprendida de la planta. Además, los desaparecidos debido de aluvión llegan a aproximadamente el 18% de total, con variaciones relacionadas al crecimiento de ejemplares herbáceos en las parcelas. Por otro lado, durante los meses de abril y octubre no se monitorearon las parcelas asociadas a los pozos L7-7 y 1027, dejando un 2,1% del total de la muestra sin prospectar.



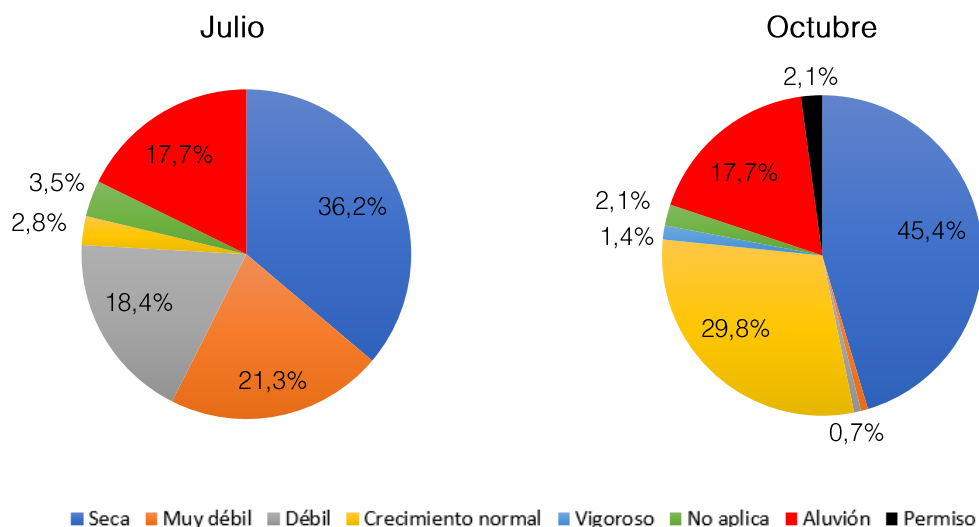


Figura 5-8. Vitalidad de los individuos monitoreados en las campañas de 2019.

5.4.1. Fenología

El estado fenológico de los ejemplares por campaña de monitoreo se resume en la Tabla 5-9. Los detalles de cada punto de monitoreo se encuentran en el Anexo I - Estado vital de la vegetación.

Tabla 5-9. Resumen de individuos por categoría de fenología

Categoría	Número de Individuos por clase de fenología				Proporción en % del número de individuos por clase de fenología			
	enero	abril	julio	octubre	enero	abril	julio	octubre
Senescente	81	58	79	64	57,4%	41,1%	56,0%	45,4%
Crecimiento vegetativo	33	24	11	34	23,4%	17,0%	7,8%	24,1%
Floración	18	25	21	8	12,8%	17,7%	14,9%	5,7%
Fructificación	3	0	0	4	2,1%	0,0%	0,0%	2,8%
No aplica*	6	5	5	3	4,3%	3,5%	3,5%	2,1%
Desaparecidos por Aluvión**	0	26	25	25	0,0%	18,4%	17,7%	17,7%
No monitoreados***	0	3	0	3	0,0%	2,1%	0,0%	2,1%
Total	141 ¹	141 ¹	141 ¹	141 ¹	100%	100%	100%	100%

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

* Se refiere a individuos que sin motivo aparente no lograron ser ubicados en terreno y cuya placa identificadora fue encontrada en el suelo.

** Se refiere a aquellos individuos desaparecidos de la parcela debido al aluvión que descendió de la quebrada de Camar en verano del 2019.

*** Se refiere a aquellos individuos que no pudieron ser medidos producto del protocolo CONAF-Comunidades.

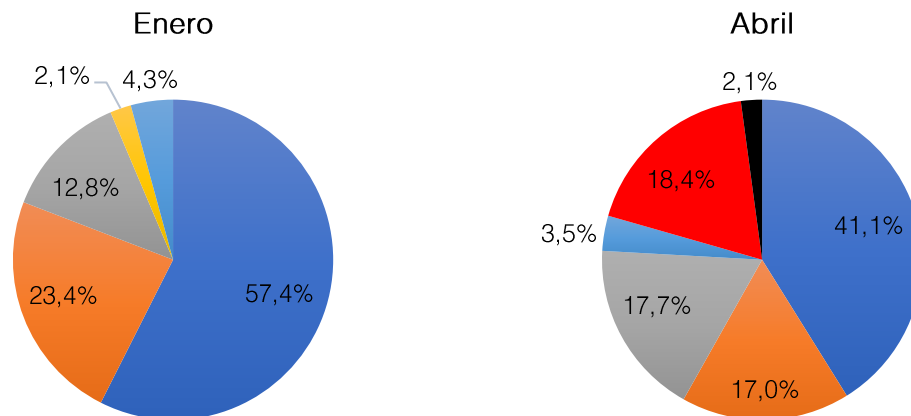
Durante todo el año se observa que la categoría senescente es aquella con mayor participación, con porcentajes que van desde el 57,4% (enero) a 56,0% (julio). Las épocas con menor proporción de individuos en esta categoría son abril y octubre con 41,1% y 45,5% respectivamente.

En forma conjunta con la senescencia, la cantidad de plantas con crecimiento vegetativo es de un 7,8% en el mes de julio, seguido de abril con un 17%, enero con un 23,4% y finalmente octubre con un 24,1% del total de individuos monitoreados.

Los meses de enero, abril y julio representan son las épocas donde se encuentran más ejemplares con floración (12,8%, 17,7% y 14,9% respectivamente). El mes de octubre posee la menor cantidad de individuos bajo esta característica (8 registros equivalentes a 2,8% del total).

Las plantas con fructificación aparecen en los meses de enero y octubre, sin embargo, en la globalidad del monitoreo son pocos los registros (3 individuos registrados en enero y 4 en octubre). No superando el 3% del total de la muestra en cada periodo.

La Tabla 5-5 y Figura 5-9 ilustran el comportamiento de la muestra a través de los monitoreos del 2019, donde se aprecian individuos bajo la categoría No aplica, Desaparecidos por aluvión y No monitoreados. El monitoreo de enero se ejecutó antes del aluvión y no incorporo inconvenientes asociados al permiso de ingreso a la RN, por lo que solo un 4,3% de los individuos no tuvieron mediciones (asociados a la categoría No aplica). En abril se observa el efecto de aluvión y la falta de permiso con un 18,4% y 2,1% respectivamente. En julio si se obtuvo el permiso se ingresó a la reserva, por lo que en este periodo se monitoreo el 78,7% de los individuos, quedando sin registro un 21,3%. En octubre un 21,9% del total de individuos a monitorear no tuvo registro.



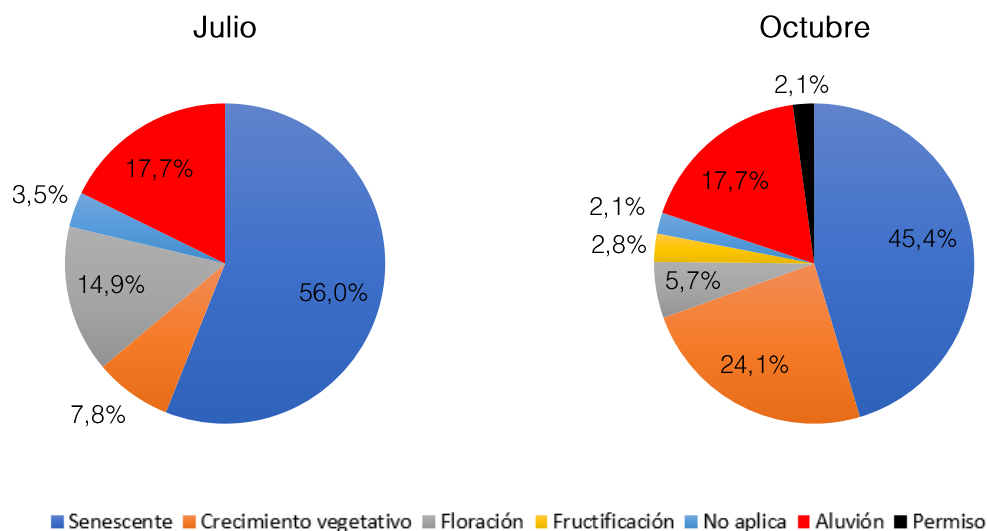


Figura 5-9. Fenología de los individuos monitoreados en las campañas de 2019.

6. DISCUSIÓN

6.1. Variación del contenido de humedad del suelo en el tiempo

En la Figura 6-1 se muestra el comportamiento interanual de las mediciones de contenido de humedad gravimétrico por parcela de monitoreo para los 2 laboratorios involucrados en los análisis del presente año. En los gráficos se reportan los valores promedio de los años de evaluación (2007-2019) y las barras representan la desviación estándar.

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

Respecto a los valores históricos de los datos, las parcelas ubicadas al oeste presentan mayor variación del contenido de humedad, caso que se presenta en todos los periodos evaluados (Figura 6-1). Conforme a ello, la amplitud de la desviación estándar de las parcelas L2-4 y L2-25 (ubicadas en el sector Oeste) presenta los valores más altos en los cuatro periodos de interés, además de la mayor variación interanual en los cuatro periodos prospectados. En dos prospecciones la parcela L7-7 registra una desviación estándar superior a 0,1 g/g (enero y abril), mientras que las parcelas L3-5 y 1027 presentan desviaciones estándar mayores a 0,1 g/g en las muestras extraídas en julio y octubre respectivamente. Cabe destacar que las parcelas cuyos registros históricos de CHS han sido menores, permanecen relativamente estables en el tiempo.

En la Figura 6-1 y desde la Tabla 6-1 a la Tabla 6-5 se presentan los resultados de los monitoreos de contenido de humedad gravimétrico por trimestres de medición, para cada uno de los años de seguimiento. El monitoreo

de enero de 2007 no es presentado ya que el monitoreo comenzó en abril de ese año. Se aclara que el monitoreo inició una vez que los pozos fueron habilitados, comenzando en julio de 2007.

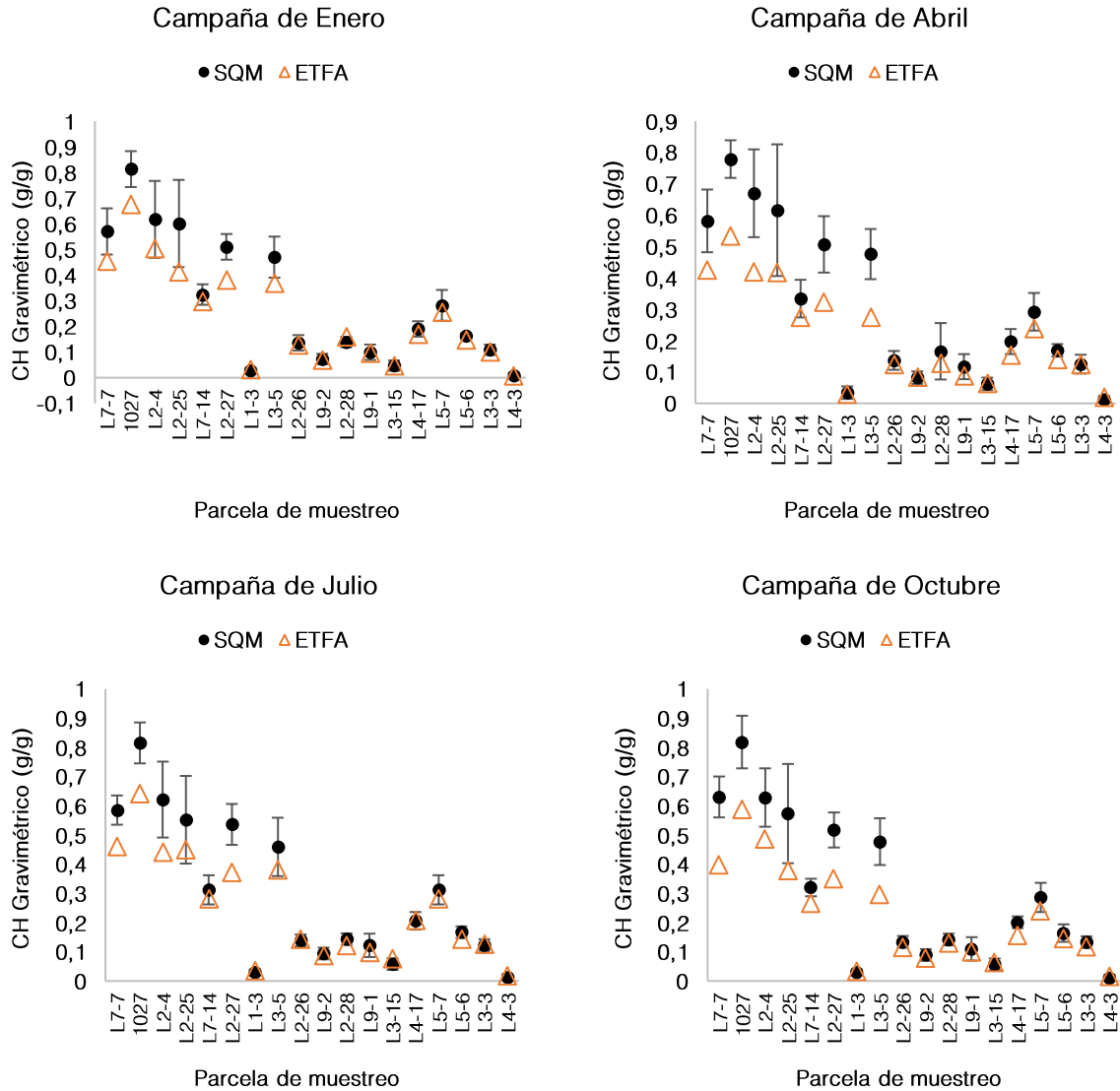


Figura 6-1. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo, por parcela de monitoreo, desde el año 2007 a 2019.

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

Los valores de SGS-Algoritmos para los monitoreos de enero, abril y julio corresponden al promedio de la medición 2017 (SGS) y 2018 - 2019 (Algoritmos).

Valores reportados por SGS-Algoritmos para el monitoreo de octubre corresponde al promedio de la medición 2016 - 2017 (SGS) y 2018 - 2019 (Algoritmos).

El promedio y variaciones de los pozos L7-7 y 1027 no contienen la medición de los meses de abril y octubre, esta información no pudo tomarse, por falta de permiso de ingreso al área (Protocolo CONAF-Comunidades).

Tabla 6-1. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de enero periodo 2007 – 2019.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Contenido de humedad promedio (g/g) ¹
L7-7	-	0,798	0,723	0,499	0,487	0,537	0,559	0,512	0,550	0,501	0,531	0,510	0,632	0,570 (± 0,09)
1027	-	0,894	0,908	0,731	0,798	0,780	0,876	0,700	0,734	0,830	0,785	0,806	0,913	0,813 (± 0,07)
L2-4	-	0,614	0,524	0,997	0,769	0,461	0,622	0,631	0,549	0,555	0,480	0,483	0,717	0,617 (± 0,15)
L2-25	-	0,935	0,707	0,625	0,828	0,397	0,792	0,505	0,426	0,465	0,477	0,480	0,577	0,601 (± 0,17)
L7-14	-	0,247	0,263	0,384	0,354	0,353	0,364	0,300	0,316	0,324	0,354	0,291	0,340	0,324 (± 0,04)
L2-27	-	0,480	0,501	0,622	0,578	0,487	0,555	0,469	0,464	0,546	0,460	0,491	0,472	0,510 (± 0,05)
L1-3	-	0,013	0,007	0,024	0,022	0,021	0,033	0,030	0,029	0,033	0,024	0,025	0,059	0,027 (± 0,01)
L3-5	-	0,381	0,385	0,603	0,554	0,418	0,56	0,553	0,480	0,466	0,378	0,436	0,423	0,470 (± 0,08)
L2-26	-	0,127	0,104	0,202	0,184	0,119	0,105	0,114	0,114	0,140	0,106	0,122	0,189	0,136 (± 0,03)
L9-2	-	0,072	0,069	0,092	0,044	0,041	0,085	0,065	0,090	0,087	0,067	0,091	0,071	0,073 (± 0,02)
L2-28	-	0,149	0,151	0,177	0,146	0,148	0,085	0,121	0,122	0,126	0,139	0,124	0,175	0,139 (± 0,02)
L9-1	-	0,105	0,031	0,17	0,096	0,049	0,114	0,087	0,118	0,102	0,125	0,098	0,093	0,099 (± 0,03)
L3-15	-	0,031	0,014	0,023	0,043	0,055	0,085	0,061	0,057	0,050	0,04	0,048	0,052	0,047 (± 0,02)
L4-17	-	0,224	0,209	0,225	0,208	0,190	0,225	0,162	0,143	0,137	0,217	0,185	0,153	0,190 (± 0,03)
L5-7	-	0,233	0,230	0,356	0,299	0,239	0,339	0,213	0,329	0,336	0,361	0,221	0,224	0,282 (± 0,06)
L5-6	-	0,170	0,166	0,16	0,162	0,158	0,163	0,163	0,155	0,166	0,167	0,167	0,149	0,162 (± 0,01)
L3-3	-	0,103	0,063	0,116	0,122	0,128	0,112	0,135	0,092	0,112	0,085	0,126	0,111	0,109 (± 0,02)
L4-3	-	0,005	0,003	0,008	0,003	0,001	0,044	0,005	0,003	0,017	0,006	0,010	0,003	0,009 (± 0,01)

¹Desviación estándar entre paréntesis.

Tabla 6-2. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de abril periodo 2007 – 2019.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Contenido de humedad promedio (g/g) ¹
L7-7	0,453	0,644	0,872	0,623	0,533	0,560	0,533	0,548	0,551	0,515	0,651	0,500	S/I ⁴	0,582 (± 0,10)
1027	0,753	0,798	0,666	0,849	0,858	0,840	0,831	0,732	0,718	0,778	0,818	0,705	S/I ⁴	0,779 (± 0,06)
L2-4	0,838	0,795	0,929	0,845	0,529	0,707	0,618	0,475	0,628	0,534	0,556	0,650	0,612	0,670 (± 0,14)
L2-25	1,079 ²	0,817	1,017	0,600	0,554	0,641	0,463	0,397	0,400	0,455	0,507	0,569	0,512	0,616 (± 0,21)
L7-14	0,217	0,258	0,362	0,381	0,491	0,379	0,327	0,344	0,331	0,289	0,320	0,317	0,324	0,334 (± 0,06)
L2-27	0,496	0,509	0,766	0,552	0,502	0,582	0,458	0,445	0,451	0,479	0,533	0,417	0,398	0,507 (± 0,09)
L1-3	0,040	0,029	0,019	0,086	0,017	0,035	0,028	0,037	0,027	0,028	0,027	0,025	0,050	0,034 (± 0,02)
L3-5	0,524	0,403	0,628	0,540	0,626	0,502	0,443	0,419	0,424	0,500	0,429	0,321	0,434	0,476 (± 0,08)
L2-26	0,183	0,131	0,156	0,171	0,104	0,138	0,128	0,129	0,114	0,106	0,139	0,106	0,175	0,137 (± 0,03)
L9-2	0,097	0,107	0,068	0,058	0,037	0,088	0,066	- ³	0,091	0,082	0,100	0,084	0,104	0,082 (± 0,02)
L2-28	0,183	0,157	0,167	0,137	0,104	0,166	0,106	0,117	0,143	0,455	0,135	0,130	0,161	0,166 (± 0,09)
L9-1	0,115	0,056	0,178	0,147	0,051	0,086	0,128	0,210	0,118	0,106	0,112	0,101	0,112	0,117 (± 0,04)
L3-15	0,066	0,052	0,039	0,052	0,067	0,096	0,084	0,051	0,054	0,050	0,060	0,048	0,086	0,062 (± 0,02)
L4-17	0,242	0,211	0,263	0,238	0,163	0,197	0,162	0,190	0,177	0,183	0,160	0,136	0,234	0,197 (± 0,04)
L5-7	0,338	0,259	0,244	0,448	0,238	0,280	0,313	0,238	0,242	0,317	0,302	0,248	0,325	0,292 (± 0,06)
L5-6	0,198	0,180	0,163	0,179	0,187	0,158	0,165	0,162	0,202	0,165	0,162	0,133	0,138	0,169 (± 0,02)
L3-3	0,133	0,132	0,121	0,111	0,106	0,168	0,124	0,135	0,157	0,102	0,104	0,077	0,161	0,125 (± 0,03)
L4-3	0,004	0,004	0,009	0,007	0,01	0,017	0,009	0,007	0,033	0,013	0,018	0,008	0,033	0,013 (± 0,01)

¹Desviación estándar entre paréntesis.

²El 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%).

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

⁴Datos inexistentes, muestras no tomadas al no tener acceso al área (Protocolo CONAF-Comunidades).

Tabla 6-3. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de julio periodo 2007 – 2019.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Contenido de humedad promedio (g/g) ¹
L7-7	S/I ²	0,577	0,693	0,601	0,53	0,619	0,608	0,563	0,594	0,519	0,617	0,496	0,608	0,585 (± 0,05)
1027	0,806	0,913	0,857	0,767	0,802	0,799	0,925	0,694	0,909	0,728	0,781	0,799	0,813	0,815 (± 0,07)
L2-4	0,759	0,484	0,868	0,864	0,534	0,673	0,617	0,551	0,638	0,516	0,616	0,448	0,507	0,621 (± 0,13)
L2-25	0,987	0,583	0,642	0,74	0,446	0,545	0,458	0,457	0,455	0,397	0,46	0,488	0,515	0,552 (± 0,15)
L7-14	0,237	0,279	0,332	0,365	0,23	0,383	0,334	0,337	0,337	0,312	0,349	0,328	0,233	0,312 (± 0,05)
L2-27	0,568	0,509	0,546	0,637	0,49	S/I ²	0,697	0,519	0,465	0,493	0,548	0,506	0,448	0,536 (± 0,07)
L1-3	0,024	0,031	0,022	0,024	0,022	0,026	0,038	0,033	0,029	0,022	0,025	0,03	0,054	0,029 (± 0,01)
L3-5	S/I ²	0,41	0,304	0,691	0,419	0,519	0,549	0,39	0,541	0,47	0,485	0,39	0,337	0,459 (± 0,10)
L2-26	S/I ²	0,16	0,156	0,19	0,122	0,136	0,133	0,119	0,119	0,106	0,139	0,151	0,138	0,139 (± 0,02)
L9-2	0,12	0,069	0,129	0,122	0,071	0,111	0,085	0,071	0,087	0,076	0,095	0,084	0,103	0,094 (± 0,02)
L2-28	S/I ²	0,159	0,168	0,149	0,14	0,164	0,137	0,129	0,128	0,119	0,15	0,116	0,158	0,143 (± 0,02)
L9-1	0,094	0,093	0,228	0,169	0,138	0,112	0,139	0,09	0,103	0,098	0,118	0,094	0,108	0,122 (± 0,04)
L3-15	S/I ²	0,05	0,031	0,044	0,031	0,091	0,077	0,064	0,052	0,05	0,062	0,056	0,090	0,058 (± 0,02)
L4-17	S/I ²	0,208	0,202	0,262	0,25	0,213	0,214	0,183	0,179	0,179	0,18	0,163	0,234	0,206 (± 0,03)
L5-7	0,272	0,263	0,388	0,377	0,282	0,339	0,363	0,222	0,318	0,284	0,298	0,267	0,378	0,312 (± 0,05)
L5-6	0,183	0,175	0,177	0,186	0,185	0,098	0,171	0,178	0,167	0,174	0,167	0,161	0,148	0,167 (± 0,02)
L3-3	0,097	0,109	0,142	0,15	0,102	0,146	0,106	0,109	0,144	0,113	0,117	0,09	0,169	0,123 (± 0,02)
L4-3	0,004	0,015	0,01	0,008	0,005	0,017	0,009	0,005	0,029	0,015	0,017	0,005	0,029	0,013 (± 0,01)

¹Desviación estándar entre paréntesis.

²Sin información para el periodo.

Tabla 6-4. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por el laboratorio metalúrgico de SQM Salar. Mes de octubre periodo 2007 – 2019.

Parcela de monitoreo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Contenido de humedad promedio (g/g) ¹
L7-7	0,713	0,609	0,694	0,751	0,664	0,644	0,649	0,632	0,529	0,570	0,573	0,535	S/I ²	0,630 (± 0,07)
1027	0,776	0,958	0,673	0,763	0,826	0,838	0,817	0,712	0,856	0,915	0,707	0,977	S/I ²	0,818 (± 0,10)
L2-4	0,731	0,648	0,878	0,547	0,527	0,611	0,534	0,526	0,748	0,624	0,511	0,640	0,643	0,628 (± 0,11)
L2-25	0,974	0,712	0,556	0,410	0,386	0,852	0,478	0,512	0,482	0,491	0,621	0,515	0,455	0,573 (± 0,17)
L7-14	0,275	0,272	0,358	0,344	0,337	0,348	0,344	0,321	0,332	0,326	0,316	0,341	0,248	0,320 (± 0,03)
L2-27	0,515	0,520	0,545	0,512	0,540	0,610	0,578	0,539	0,481	0,529	0,406	0,537	0,411	0,517 (± 0,06)
L1-3	0,012	0,024	0,030	0,020	0,018	0,031	0,042	0,039	0,025	0,027	0,033	0,034	0,047	0,029 (± 0,01)
L3-5	0,525	0,348	0,681	0,481	0,498	0,527	0,490	0,465	0,471	0,435	0,510	0,422	0,344	0,477 (± 0,09)
L2-26	0,142	0,134	0,153	0,169	0,146	0,123	0,115	0,124	0,134	0,111	0,115	0,140	0,136	0,134 (± 0,02)
L9-2	0,141	0,126	0,102	0,060	0,053	0,101	0,078	0,075	0,086	0,075	0,095	0,079	0,083	0,089 (± 0,02)
L2-28	0,131	0,165	0,178	0,124	0,134	0,151	0,138	0,138	0,140	0,114	0,136	0,150	0,148	0,142 (± 0,02)
L9-1	0,075	0,093	0,224	0,102	0,124	0,113	0,136	0,040	0,098	0,101	0,102	0,113	0,107	0,110 (± 0,04)
L3-15	0,078	0,031	0,043	0,040	0,035	0,059	0,060	0,076	0,048	0,049	0,059	0,079	0,085	0,057 (± 0,02)
L4-17	0,208	0,225	0,241	0,203	0,222	0,212	0,186	0,170	0,186	0,178	0,169	0,200	0,211	0,201 (± 0,02)
L5-7	0,349	0,239	0,416	0,260	0,251	0,290	0,252	0,286	0,258	0,254	0,249	0,301	0,307	0,286 (± 0,05)
L5-6	0,215	0,195	0,159	0,088	0,183	0,175	0,161	0,163	0,171	0,164	0,151	0,153	0,154	0,164 (± 0,03)
L3-3	0,166	0,134	0,138	0,136	0,098	0,132	0,128	0,129	0,151	0,114	0,105	0,125	0,168	0,133 (± 0,02)
L4-3	0,005	0,003	0,006	0,007	0,003	0,011	0,008	0,005	0,022	0,011	0,016	0,015	0,026	0,011 (± 0,01)

¹Desviación estándar entre paréntesis.

²Datos inexistentes, muestras no tomadas al no tener acceso al área (Protocolo CONAF-Comunidades).

Tabla 6-5. Contenido de humedad del suelo (g/g) reportado por los laboratorios SGS² (2016-2017) y Algoritmos (2018-2019). periodo 2016 – 2019.

Parcela de monitoreo	Enero				Abril				Julio				Octubre				
	2017	2018	2019	CHS promedio (g/g)	2017	2018	2019	CHS promedio (g/g)	2017	2018	2019	CHS promedio (g/g)	2016	2017	2018	2019	CHS promedio (g/g)
L7-7	0,328	0,525	0,509	0,454 (± 0,11)	0,375	0,474	-	0,425 (± 0,07)	0,357	0,502	0,521	0,46 (± 0,09)	0,336	0,330	0,529	-	0,398 (± 0,11)
1027	0,439	0,792	0,796	0,676 (± 0,2)	0,418	0,648	-	0,533 (± 0,16)	0,410	0,800	0,717	0,642 (± 0,21)	0,471	0,397	0,893	-	0,587 (± 0,27)
L2-4	0,325	0,532	0,656	0,504 (± 0,17)	0,327	0,520	0,414	0,42 (± 0,1)	0,350	0,499	0,471	0,44 (± 0,08)	0,471	0,319	0,557	0,597	0,486 (± 0,12)
L2-25	0,320	0,457	0,462	0,413 (± 0,08)	0,319	0,437	0,494	0,417 (± 0,09)	0,327	0,486	0,533	0,449 (± 0,11)	0,288	0,290	0,481	0,452	0,378 (± 0,1)
L7-14	0,256	0,321	0,318	0,298 (± 0,04)	0,230	0,251	0,342	0,274 (± 0,06)	0,272	0,345	0,224	0,28 (± 0,06)	0,251	0,239	0,346	0,225	0,265 (± 0,05)
L2-27	0,233	0,496	0,413	0,381 (± 0,13)	0,341	0,273	0,356	0,323 (± 0,04)	0,303	0,416	0,395	0,371 (± 0,06)	0,345	0,187	0,479	0,387	0,35 (± 0,12)
L1-3 ²	0,018	0,031	0,048	0,032 (± 0,02)	0,026	0,008	0,052	0,029 (± 0,02)	0,030	0,023	0,055	0,036 (± 0,02)	0,022	0,029	0,036	0,045	0,033 (± 0,01)
L3-5	0,283	0,415	0,402	0,367 (± 0,07)	0,254	0,195	0,372	0,274 (± 0,09)	0,324	0,457	0,360	0,38 (± 0,07)	0,209	0,325	0,348	0,297	0,295 (± 0,06)
L2-26	0,098	0,121	0,162	0,127 (± 0,03)	0,111	0,104	0,156	0,124 (± 0,03)	0,124	0,167	0,136	0,142 (± 0,02)	0,092	0,111	0,135	0,118	0,114 (± 0,02)
L9-2	0,053	0,085	0,07	0,069 (± 0,02)	0,087	0,061	0,100	0,083 (± 0,02)	0,088	0,078	0,091	0,086 (± 0,01)	0,069	0,084	0,078	0,086	0,079 (± 0,01)
L2-28	0,180	0,134	0,165	0,16 (± 0,02)	0,123	0,111	0,150	0,128 (± 0,02)	0,112	0,108	0,146	0,122 (± 0,02)	0,107	0,120	0,151	0,139	0,129 (± 0,02)
L9-1	0,104	0,096	0,087	0,096 (± 0,01)	0,096	0,066	0,100	0,087 (± 0,02)	0,091	0,097	0,105	0,098 (± 0,01)	0,086	0,094	0,122	0,097	0,1 (± 0,02)
L3-15	0,034	0,059	0,044	0,046 (± 0,01)	0,048	0,047	0,097	0,064 (± 0,03)	0,064	0,061	0,105	0,077 (± 0,02)	0,044	0,049	0,079	0,078	0,063 (± 0,02)
L4-17	0,168	0,184	0,156	0,169 (± 0,01)	0,127	0,123	0,212	0,154 (± 0,05)	0,169	0,177	0,276	0,207 (± 0,06)	0,143	0,131	0,156	0,189	0,155 (± 0,03)
L5-7	0,256	0,302	0,207	0,255 (± 0,05)	0,205	0,231	0,282	0,239 (± 0,04)	0,217	0,281	0,347	0,282 (± 0,07)	0,205	0,211	0,278	0,264	0,24 (± 0,04)
L5-6	0,140	0,143	0,155	0,146 (± 0,01)	0,138	0,127	0,156	0,14 (± 0,01)	0,139	0,159	0,127	0,142 (± 0,02)	0,137	0,128	0,152	0,157	0,144 (± 0,01)
L3-3	0,075	0,124	0,105	0,101 (± 0,02)	0,086	0,099	0,183	0,123 (± 0,05)	0,099	0,107	0,170	0,125 (± 0,04)	0,092	0,099	0,109	0,164	0,116 (± 0,03)
L4-3	0,003	0,012	0,003	0,006 (± 0,01)	0,015	0,009	0,037	0,02 (± 0,01)	0,015	0,006	0,031	0,017 (± 0,01)	0,009	0,014	0,011	0,025	0,015 (± 0,01)

¹Desviación estándar entre paréntesis. ()

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

En la Figura 6-2 se detalla la evolución histórica de los valores promedio anual de contenido de humedad por Parcela de Monitoreo, y en conjunto se señala la variabilidad de los datos expresado a través de la desviación estándar. A continuación, se analizarán los casos cuya amplitud de desviación estándar destacan en la Tabla 6-1 a Tabla 6-5.

- La parcela L7-7: posee tendencia a la estabilidad en el tiempo, la amplitud de la desviación estándar se produce principalmente por los altos valores reportados el año 2009. El contenido de humedad registrado en esta parcela ha tenido una disminución de aproximadamente un 12,8% al 2018⁶. El valor promedio reportado para el 2019 llegó a 0,620 g/g, pero se estimó solamente con las mediciones de enero y julio. En enero del 2008 el valor registrado por SQM alcanzó los 0,798 g/g mientras que en enero 2019 el valor reportado llegó a 0,632 g/g. Cabe mencionar que en los años 2012 y 2018 se registraron los menores valores a la fecha.
- Parcela 1027: se identifica que los valores de contenido de humedad han presentado oscilaciones entre sus valores mínimos y máximos a lo largo de las mediciones, mostrando una tendencia a regularizarse hacia el 2019. Los años donde las variaciones han sido mayores corresponden al 2009, 2015 y 2016. Para el año 2019 se observa un alza respecto a los últimos años.
- Parcela L2-4: se identifica que los valores de contenido de humedad han sido oscilantes en el tiempo, mostrando tendencia a la disminución hasta el año 2014, desde ese año se puede observar una estabilización en los resultados. Para el año 2018 y 2019, los valores reportados por los laboratorios involucrados en los análisis tienden a aproximarse, a diferencia del año 2017 donde la diferencia fue más evidente. Además, se aprecia en las gráficas que los años con mayor variación se dieron a principios del monitoreo, entre los años 2008 y 2012.
- Parcela L2-25: En esta parcela, el contenido de humedad del suelo registra un aumento desde el mínimo promedio evaluado en 2015, donde el CHS alcanzó 0,441 g/g. Respecto al monitoreo inicial (2007), el CHS es menor, dado que este varió entre un promedio de 1,013 g/g en 2007 a 0,515 g/g en 2019. En este punto de monitoreo, las mayores variaciones se dieron entre los años 2008 a 2013.
- Parcela L2-27: Las mayores variaciones en esta parcela fueron registradas en los monitoreos de los años 2009, 2012 y 2013. La tendencia a la fecha es representada por una pendiente negativa cercana a 0 ($\approx -0,0068$). El CHS promedio reportado para el 2019 es el menor a la fecha con 0,432 g/g.
- Parcela L3-5: La amplitud de la desviación estándar del contenido de humedad es producida por los valores reportados entre los años 2009 y 2011, donde se identifican diferencias de hasta 0,2 g/g. En esta parcela actualmente el contenido de humedad se ha mantenido estable respecto a sus variaciones, pero con una leve tendencia a la baja

⁶ No se incluye el valor reportado de enero 2019, ya que generaría un error en la estimación. El pozo L7-7 solo fue medido en esta fecha y la comparación histórica presentada responde al promedio anual de la medición.

en los últimos dos años de monitoreo (0,395 g/g en 2018 y 0,385 g/g en 2019), mostrando valores promedio semejantes a lo reportado en 2008 (0,386 g/g).

En términos generales las mediciones efectuadas en 2019, considerando los análisis realizados por SQM, se encuentran dentro de los rangos observados en periodos previos de monitoreo. Si bien se aprecia una disminución de los niveles al comparar el año inicial de monitoreo versus el actual, se han observado oscilaciones durante los años prospectados. Esto se relaciona directamente con la capacidad de infiltración y retención de agua que poseen los suelos del borde este del Salar de Atacama, que son principalmente de carácter arcilloso. Y los episodios de recarga de estos, los que contemplan: 1) aporte superficial de agua desde precipitaciones locales en temporadas de lluvias y 2) escurrimientos superficiales provenientes del sector altiplánico.

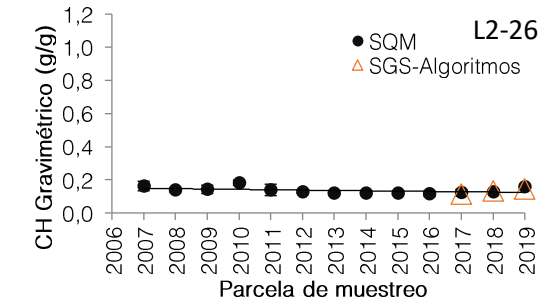
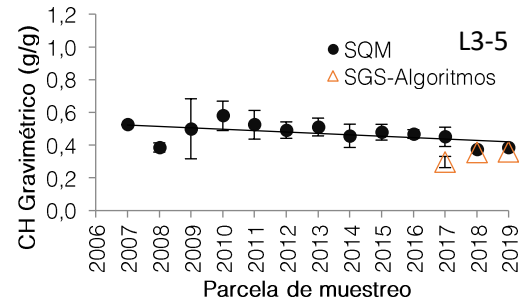
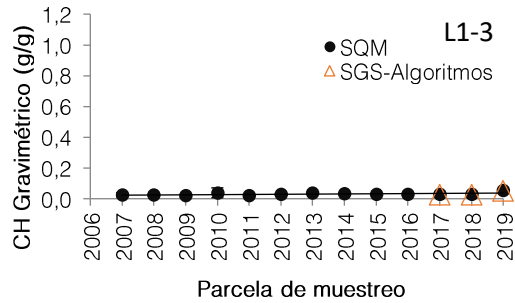
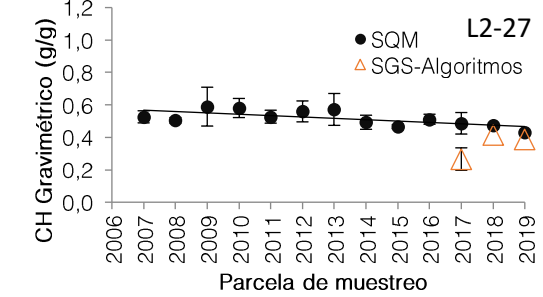
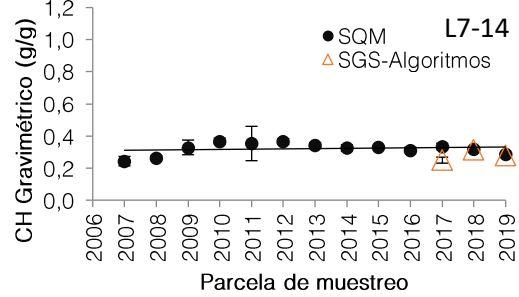
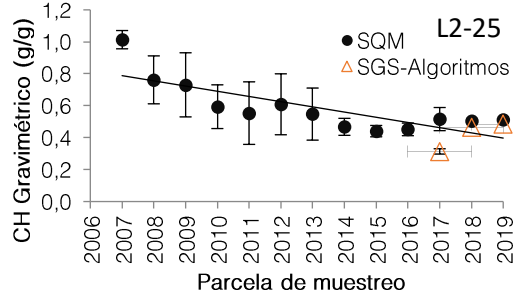
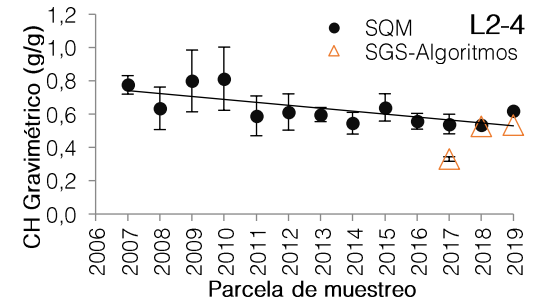
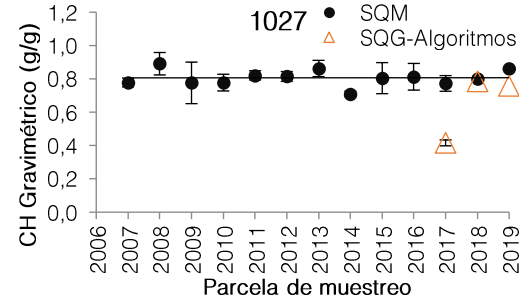
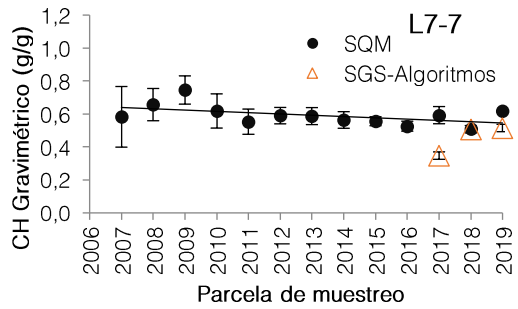


Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2019.

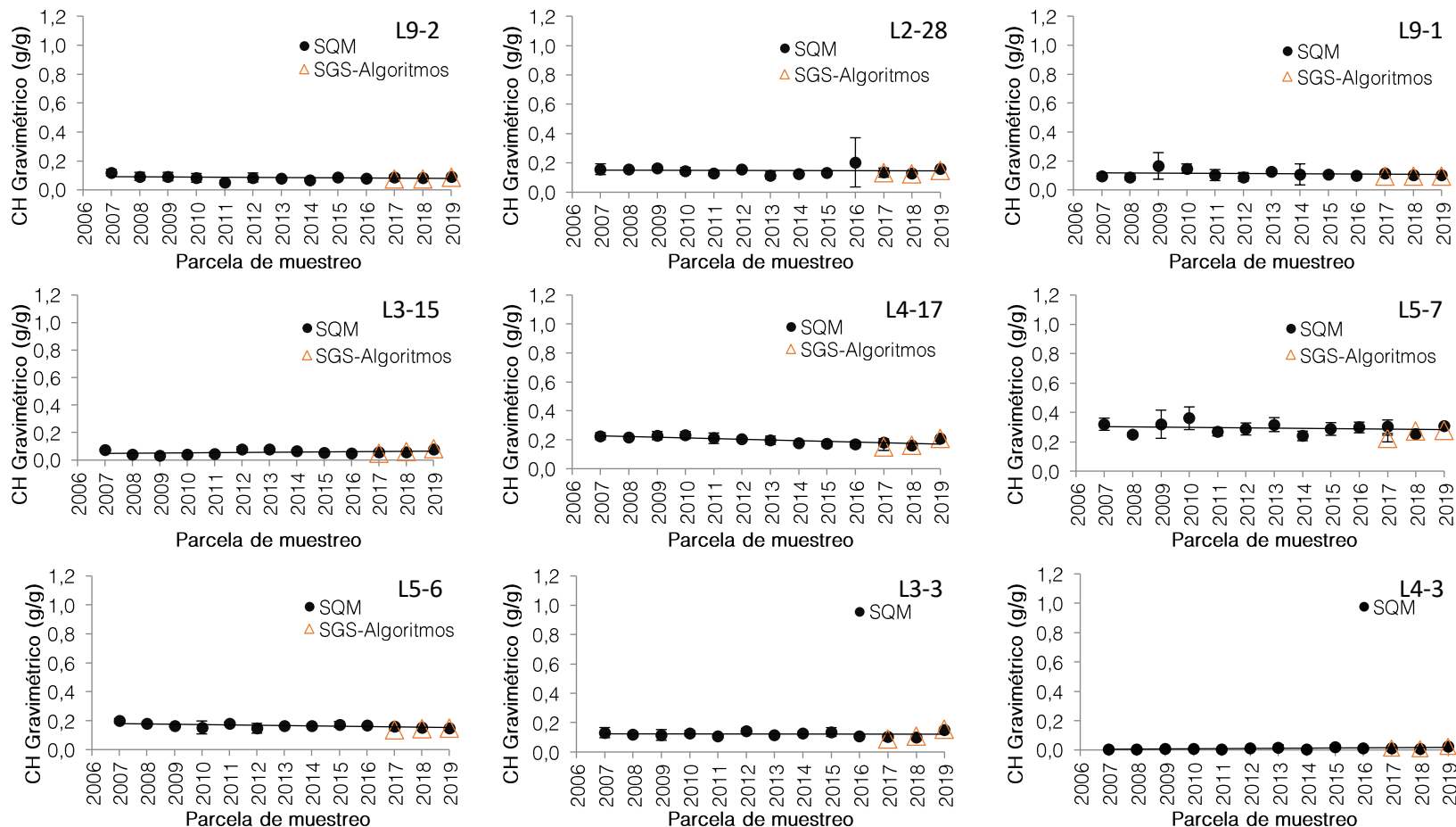


Figura 6-2. Detalle por parcela de monitoreo de la variación del promedio anual de contenido de humedad gravimétrico del suelo, medido desde el año 2007 a 2019.



6.2. Variación de la profundidad de la napa en el tiempo

Los resultados históricos de profundidad de la napa se presentan en la Tabla 6-6 a Tabla 6-9, y son representados gráficamente en la Figura 6-3. La campaña de enero de 2007 no es presentada ya que el monitoreo comenzó en abril de dicho año. Se aclara que el monitoreo inició una vez que los pozos fueron habilitados, comenzando en julio de 2007.

Los resultados demuestran que la variabilidad histórica de los pozos ha sido baja, identificándose a los pozos L1-3, L3-15 y L4-3, como aquellos con mayor desviación estándar en todos los meses de monitoreo. Cabe mencionar que en febrero de 2012 el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones desencadenados por las lluvias acontecidas; razón por la cual el 17 de marzo de 2012 se perforó un nuevo pozo a pocos metros del desaparecido. El evento fue reportado en el primer informe de monitoreo posterior a dicha construcción.

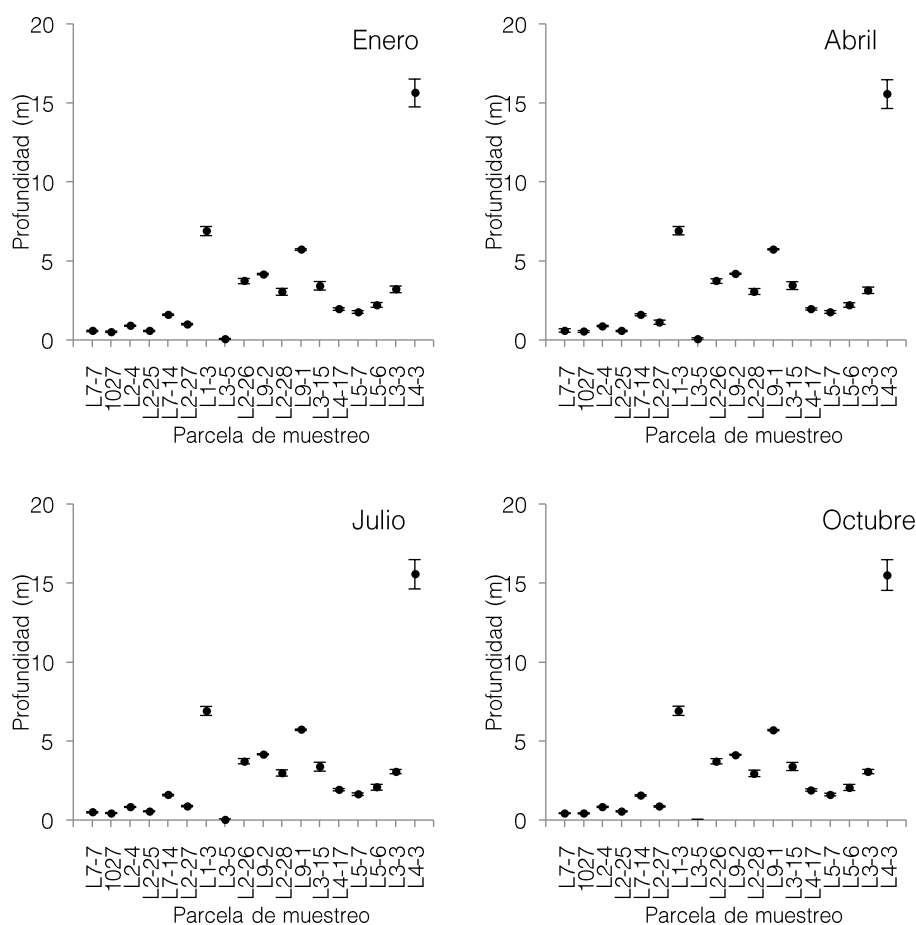


Figura 6-3. Variación promedio histórica de la profundidad de la napa (2007-2019), por parcela de monitoreo para los cuatro trimestres estudiados.

(*) Pozo L7-7 monitoreado solamente en la campaña de enero. La media calculada para los demás periodos no contempla el año 2019.

Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo

Teóricamente dependiendo del tipo de suelo, el CHS puede ser sensible a variaciones en la profundidad de la napa freática. En el caso de los pozos monitoreados, desde el 2007 al 2019, la profundidad del nivel de la napa aumentó en promedio 0,3 m considerando 15 de los 18 pozos objeto de estudio (es decir, el nivel freático disminuyó en estos 15 pozos). Por otra parte, en dos pozos de monitoreo (L7-14 y L4-3) se registra disminución en la profundidad de la napa. El pozo L7-14 en 2007 registró la napa a una profundidad promedio de 1,55 m, al 2019 la napa se ubica en promedio a 1,48 m. En el caso del pozo L4-3, la napa en 2007 se ubicó a 16,4 m de profundidad, y en 2019 a 13,90 m (es decir, el nivel freático aumentó). Además, un pozo de monitoreo (L3-5) se ha mostrado somero en el tiempo y con variaciones esporádicas que sitúan la napa a muy poca profundidad (año 2012 alcanza 0,08 m). De los 15 pozos donde se registró aumento en la profundidad de la napa respecto al año base (2007), el pozo L3-15 tuvo el mayor valor con un aumento de la profundidad promedio de 0,75 m, mientras que el pozo L2-25 el mínimo aumento promedio de la profundidad de la napa con 0,06 m. El CHS en las parcelas asociadas a estos pozos (L3-15 y L2-25) se comportó variable en el tiempo con inclinaciones al alza y baja (CHS en el punto L3-15 con 0,006 g/g promedio anual más que lo registrado en 2007 y punto L2-25 con 0,499 g/g menos que lo registrado en 2007), indicando la independencia entre ambas variables. Si bien se puede observar en estos 15 pozos una disminución, estas corresponderían a situaciones puntuales, relacionadas con la ubicación específica de los mismos. El análisis integral de la evolución de los niveles de la napa se desarrolla en el marco del plan de seguimiento hidrogeológico, donde se observa que los sistemas donde se emplazan los pozos asociados al presente informe no presentan un comportamiento de tendencia en el tiempo, mostrando en algunos casos la ciclicidad de las estaciones de verano e invierno.

Tabla 6-6. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de enero durante el periodo 2008 a 2019.

Parcela de monitoreo	Año													Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ⁴	2019	
L7-7	-	0,521	0,507	0,536	0,491	0,550	0,590	0,577	0,548	0,618	0,572	0,620	0,642	0,564 (± 0,05)
1027	-	0,479	0,475	0,499	0,461	0,490	0,523	0,519	0,532	0,542	0,503	0,588	0,606	0,518 (± 0,04)
L2-4	-	0,855	0,855	0,884	0,868	0,887	0,888	0,883	0,916	0,911	0,920	0,940	0,970	0,898 (± 0,03)
L2-25	-	0,575	0,553	0,564	0,549	0,551	0,549	0,551	0,551	0,542	0,543	0,650	0,654	0,569 (± 0,04)
L7-14	-	1,556	1,558	1,576	1,567	1,589	1,619	1,620	1,655	1,650	1,672	1,543	1,570	1,598 (± 0,04)
L2-27	-	0,972	0,957	0,978	0,948	0,966	0,962	1,003	1,045	0,972	1,033	1,042	1,090	0,997 (± 0,04)
L1-3 ²	-	6,525	6,537	6,553	6,600	6,647	7,000	7,032	7,112	7,171	7,229	7,108	7,172	6,891 (± 0,29)
L3-5	-	0,061	0,074	0,096	0,069	0,083	0,131	0,025	0,063	0,071	0,053	0,034	0,053	0,068 (± 0,03)
L2-26	-	3,515	3,505	3,548	3,580	3,633	3,686	3,745	3,839	3,857	3,925	3,910	3,944	3,724 (± 0,17)
L9-2	-	4,103	4,113	4,151	4,122	4,169	4,166	4,172	4,238	4,133	4,207	4,174	4,239	4,166 (± 0,05)
L2-28	-	2,771	2,787	2,842	2,863	2,942	2,981	3,047	3,142	3,178	3,274	3,356	3,378	3,047 (± 0,22)
L9-1	-	5,639	5,661	5,687	5,657	5,715	5,723	5,717	5,775	5,683	5,751	5,751	5,813	5,714 (± 0,05)
L3-15	-	3,017	3,061	3,152	3,241	3,329	3,417	3,493	3,577	3,607	3,662	3,795	3,779	3,428 (± 0,27)
L4-17	-	1,804	1,835	1,894	1,888	1,943	1,954	1,992	2,022	2,006	2,026	2,035	2,027	1,952 (± 0,08)
L5-7	-	1,646	1,684	1,719	1,707	1,754	1,749	1,785	1,796	1,744	1,803	1,916	1,933	1,77 (± 0,09)
L5-6	-	1,956	2,036	2,111	2,134	2,179	2,204	2,241	2,281	2,274	2,314	2,438	2,456	2,219 (± 0,15)
L3-3	-	2,944	2,967	3,006	3,030	3,074	3,152	3,177	3,283	3,355	3,416	3,507	3,522	3,203 (± 0,21)
L4-3	-	16,022	16,034	16,138	16,254	16,258	16,387	16,390	15,863	15,417	14,687	14,250	13,853	15,629 (± 0,88)

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.

³ sin mediciones debido a las restricciones de acceso del protocolo de la comunidad de Tocona y CONAF.

⁴ Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo.

Tabla 6-7. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de abril durante el periodo 2008 a 2019.

Parcela de monitoreo	Año													Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ⁴	2019	
L7-7	-	0,663	0,628	0,662	0,601	0,516	0,570	0,688	0,447	0,713	0,399	0,716	S/l ³	0,6 (± 0,11)
1027	-	0,527	0,510	0,514	0,504	0,494	0,518	0,604	0,465	0,615	0,504	0,664	0,511	0,536 (± 0,06)
L2-4	-	0,864	0,861	0,879	0,882	0,828	0,874	0,896	0,859	0,958	0,869	0,965	0,829	0,88 (± 0,04)
L2-25	-	0,584	0,621	0,577	0,551	0,522	0,539	0,553	0,530	0,535	0,525	0,661	0,602	0,567 (± 0,04)
L7-14	-	1,601	1,598	1,611	1,603	1,605	1,593	1,644	1,553	1,688	1,614	1,575	1,412	1,591 (± 0,07)
L2-27	-	1,189	1,181	1,225	1,148	0,959	1,037	1,184	0,924	1,273	1,067	1,336	0,944	1,122 (± 0,13)
L1-3 ²	-	6,550	6,554	6,579	6,608	6,945	6,981	7,069	7,128	7,190	7,232	7,131	7,005	6,914 (± 0,27)
L3-5	-	0,087	0,083	0,111	0,088	0,053	0,114	0,092	0,041	0,107	0,055	0,106	-0,125	0,067 (± 0,07)
L2-26	-	3,562	3,554	3,570	3,599	3,594	3,695	3,779	3,812	3,910	3,906	3,919	3,773	3,723 (± 0,14)
L9-2	-	4,180	4,190	4,195	4,200	4,097	4,190	4,228	4,175	4,205	4,191	4,250	4,161	4,189 (± 0,04)
L2-28	-	2,865	2,890	2,914	2,937	2,910	3,006	3,102	3,119	3,281	3,301	3,435	3,040	3,067 (± 0,19)
L9-1	-	5,695	5,704	5,729	5,718	5,683	5,725	5,765	5,729	5,737	5,734	5,813	5,765	5,733 (± 0,04)
L3-15	-	3,045	3,105	3,194	3,264	3,327	3,429	3,529	3,580	3,666	3,672	3,802	3,633	3,437 (± 0,25)
L4-17	-	1,845	1,866	1,927	1,937	1,941	1,973	2,025	1,934	2,039	2,021	2,053	1,951	1,959 (± 0,07)
L5-7	-	1,710	1,728	1,680	1,767	1,759	1,800	1,784	1,596	1,816	1,811	1,939	1,857	1,771 (± 0,09)
L5-6	-	1,994	2,064	2,060	2,151	2,181	2,243	2,254	2,131	2,303	2,307	2,452	2,414	2,213 (± 0,14)
L3-3	-	2,937	2,971	3,018	3,037	3,001	3,170	3,254	2,879	3,411	3,315	3,529	3,181	3,142 (± 0,2)
L4-3	-	15,982	16,055	16,154	16,221	16,299	16,347	16,218	15,705	15,229	14,553	14,136	13,793	15,558 (± 0,91)

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.

³ L7-7 solo pudo medirse en la campaña de enero, en abril no se concedió el acceso, por acción del protocolo CONAF-Comunidades.

⁴ Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo.

Tabla 6-8. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de julio durante el periodo 2007 a 2019.

Parcela de monitoreo	Año													Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ⁴	2019	
L7-7	0,545	0,480	0,475	0,487	0,475	0,451	0,439	0,516	0,434	0,550	0,468	0,539	S/I ³	0,488 (± 0,04)
1027	0,442	0,420	0,416	0,420	0,424	0,416	0,421	0,464	0,426	0,491	0,453	0,514	0,449	0,443 (± 0,03)
L2-4	0,798	0,784	0,798	0,819	0,819	0,809	0,809	0,829	0,834	0,852	0,840	0,888	0,871	0,827 (± 0,03)
L2-25	0,563	0,548	0,544	0,544	0,545	0,529	0,532	0,538	0,524	0,537	0,527	0,640	0,619	0,553 (± 0,04)
L7-14	1,565	1,560	1,557	1,573	1,583	1,587	1,588	1,617	1,604	1,654	1,645	1,534	1,464	1,579 (± 0,05)
L2-27	0,864	0,855	0,854	0,866	0,869	0,858	0,842	0,875	0,861	0,905	0,878	1,002	0,922	0,881 (± 0,04)
L1-3 ²	6,527	6,547	6,550	6,590	6,647	6,976	6,988	7,090	7,137	7,209	7,251	7,148	7,094	6,904 (± 0,28)
L3-5	0,012	0,056	0,057	0,058	0,058	0,097	0,010	0,003	0,016	0,001	0,060	-0,018	-0,135	0,008 (± 0,06)
L2-26	3,517	3,524	3,509	3,562	3,635	3,656	3,694	3,799	3,835	3,909	3,962	3,920	3,866	3,722 (± 0,17)
L9-2	4,120	4,140	4,151	4,173	4,177	4,112	4,149	4,206	4,108	4,207	4,163	4,237	4,142	4,16 (± 0,04)
L2-28	2,733	2,737	2,757	2,812	2,871	2,897	2,955	3,031	3,092	3,181	3,215	3,324	3,116	2,979 (± 0,2)
L9-1	5,645	5,678	5,689	5,708	5,709	5,685	5,702	5,749	5,666	5,751	5,716	5,814	5,736	5,711 (± 0,04)
L3-15	2,863	3,013	3,070	3,182	3,272	3,337	3,401	3,497	3,571	3,635	3,659	3,754	3,634	3,376 (± 0,28)
L4-17	1,769	1,820	1,835	1,897	1,918	1,917	1,928	1,975	1,951	1,997	1,995	2,005	1,948	1,92 (± 0,07)
L5-7	1,520	1,542	1,565	1,583	1,602	1,625	1,626	1,631	1,623	1,675	1,673	1,787	1,773	1,633 (± 0,08)
L5-6	1,735	1,852	1,900	1,976	2,007	2,054	2,082	2,131	2,137	2,198	2,211	2,346	2,349	2,075 (± 0,18)
L3-3	2,893	2,913	2,921	2,953	2,996	3,001	3,068	3,057	3,128	3,194	3,201	3,301	3,231	3,066 (± 0,13)
L4-3	16,089	15,987	16,047	16,158	16,264	16,306	16,413	16,073	15,627	15,034	14,418	14,044	13,725	15,553 (± 0,93)

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.

³ L7-7 solo pudo medirse en la campaña de enero, en julio no se concedió el acceso, por acción del protocolo CONAF-Comunidades.

⁴ Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo.

Tabla 6-9. Profundidad de la napa (m) por parcela para el monitoreo de octubre durante el periodo 2007 a 2019.

Parcela de monitoreo	Año													Profundidad promedio (m)
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ⁴	2019	
L7-7	0,405	0,408	0,408	0,404	0,419	0,414	0,441	0,420	0,438	0,451	0,475	0,461	S/ ³	0,429 (± 0,02)
1027	0,394	0,371	0,395	0,385	0,394	0,407	0,428	0,425	0,425	0,446	0,443	0,487	0,478	0,421 (± 0,04)
L2-4	0,785	0,781	0,795	0,802	0,813	0,820	0,825	0,836	0,832	0,853	0,852	0,896	0,894	0,83 (± 0,04)
L2-25	0,561	0,544	0,538	0,532	0,532	0,523	0,526	0,522	0,529	0,529	0,527	0,641	0,621	0,548 (± 0,04)
L7-14	1,540	1,527	1,526	1,534	1,545	1,564	1,580	1,584	1,596	1,621	1,632	1,498	1,472	1,555 (± 0,05)
L2-27	0,850	0,842	0,832	0,833	0,846	0,839	0,847	0,839	0,843	0,852	0,857	0,920	0,960	0,858 (± 0,04)
L1-3 ²	6,525	6,543	6,541	6,594	6,634	6,976	7,021	7,085	7,149	7,217	7,264	7,153	7,146	6,911 (± 0,29)
L3-5	0,000	0,049	0,052	0,036	0,037	0,070	0,008	0,013	0,044	0,042	0,067	-0,035	-0,154	-0,009 (± 0,06)
L2-26	3,523	3,512	3,521	3,553	3,601	3,650	3,707	3,777	3,837	3,896	3,939	3,912	3,899	3,717 (± 0,17)
L9-2	4,087	4,111	4,117	4,131	4,127	4,113	4,126	4,165	4,083	4,166	4,133	4,201	4,121	4,129 (± 0,03)
L2-28	2,655	2,707	2,729	2,784	2,838	2,895	2,944	3,013	3,075	3,153	3,191	3,286	3,149	2,955 (± 0,21)
L9-1	5,620	5,659	5,673	5,677	5,675	5,688	5,678	5,732	5,643	5,723	5,684	5,785	5,714	5,689 (± 0,04)
L3-15	2,980	3,019	3,094	3,188	3,269	3,357	3,433	3,505	3,582	3,615	3,669	3,726	3,632	3,39 (± 0,26)
L4-17	1,758	1,795	1,825	1,868	1,879	1,897	1,929	1,946	1,989	1,968	1,971	1,971	1,917	1,901 (± 0,07)
L5-7	1,486	1,522	1,539	1,557	1,582	1,593	1,614	1,614	1,615	1,650	1,657	1,777	1,759	1,613 (± 0,08)
L5-6	1,700	1,832	1,879	1,950	1,989	2,044	2,071	2,125	2,136	2,189	2,201	2,346	2,345	2,062 (± 0,19)
L3-3	2,895	2,909	2,914	2,949	2,973	3,011	3,076	3,084	3,130	3,192	3,212	3,292	3,241	3,068 (± 0,14)
L4-3	15,992	16,007	16,113	16,197	16,237	16,342	16,398	16,012	15,522	14,830	14,317	13,938	13,667	15,506 (± 0,97)

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.

³ Sin mediciones debido a las restricciones de acceso del protocolo de la comunidad de Toconao y CONAF.

⁴ Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo.

La variación histórica de la profundidad de la napa por pozo de monitoreo se ilustra en la Figura 6-4, donde se aprecia que la mayoría de los pozos estudiados presentan napas ubicadas a mayor profundidad respecto del monitoreo inicial, con excepción de los pozos L4-3 y L2-28 que registran un aumento en el nivel freático y por lo tanto una disminución en la profundidad de la napa.

De los 18 pozos objeto de estudio, 15 han registrado un aumento en la profundidad de la napa respecto al año base (2007). Los pozos donde este incremento superó los 50 cm de profundidad promedio anual fueron los pozos L5-6, L3-15 y L1-3. Los que se analizan a continuación:

- Pozo L5-6: Tal como se observa en la Figura 4-1 este pozo de monitoreo se ubica en las cercanías del pozo de bombeo Socarire 5. Actualmente los registros indican que napa en este punto se ubica a 2,39 m de profundidad, correspondiente a 0,67 m bajo lo reportado en 2007 donde la napa se ubicó a 1,72 m.
- Pozo L3-15: Se ubica en la línea de pozos de monitoreo al bombeo del pozo Camar 2 (detenido permanentemente desde 2018). A inicios del monitoreo (2007) la profundidad de la napa en este punto fue de 3,43 m, paulatinamente en el tiempo esta medida fue aumentando, llegando en la actualidad a 3,67 m de profundidad. De esta forma, desde el 2007 a la fecha, la profundidad de la napa aumento en 0,75 m con variaciones estándar entre los trimestres de cada año que llegaron a 0,03 m anuales.
- Pozo L1-3: Se ubica diagonal a los pozos de extracción Mullay 1 y Allana, cercano a la ruta B-355. En el monitoreo del 2007 la profundidad de la napa registrada en este pozo fue de 6,53 m y para el actual monitoreo llegó a 7,10 m; aumentando en 0,57 m en 13 años de monitoreo.

Los 12 pozos restantes, registraron una profundidad de la napa que aumentó a una tasa menor que los antes descritos, no superando los 0,05 m al año, de acuerdo con lo esperado.

Cabe destacar que la profundidad de la ubicación de la napa, para el periodo 2019, fue menor que la registrada el año anterior en aproximadamente 8 cm promedio, indicando un aumento del nivel del agua, lo que es concordante con el importante aporte hídrico registrado en la zona durante la época estival.

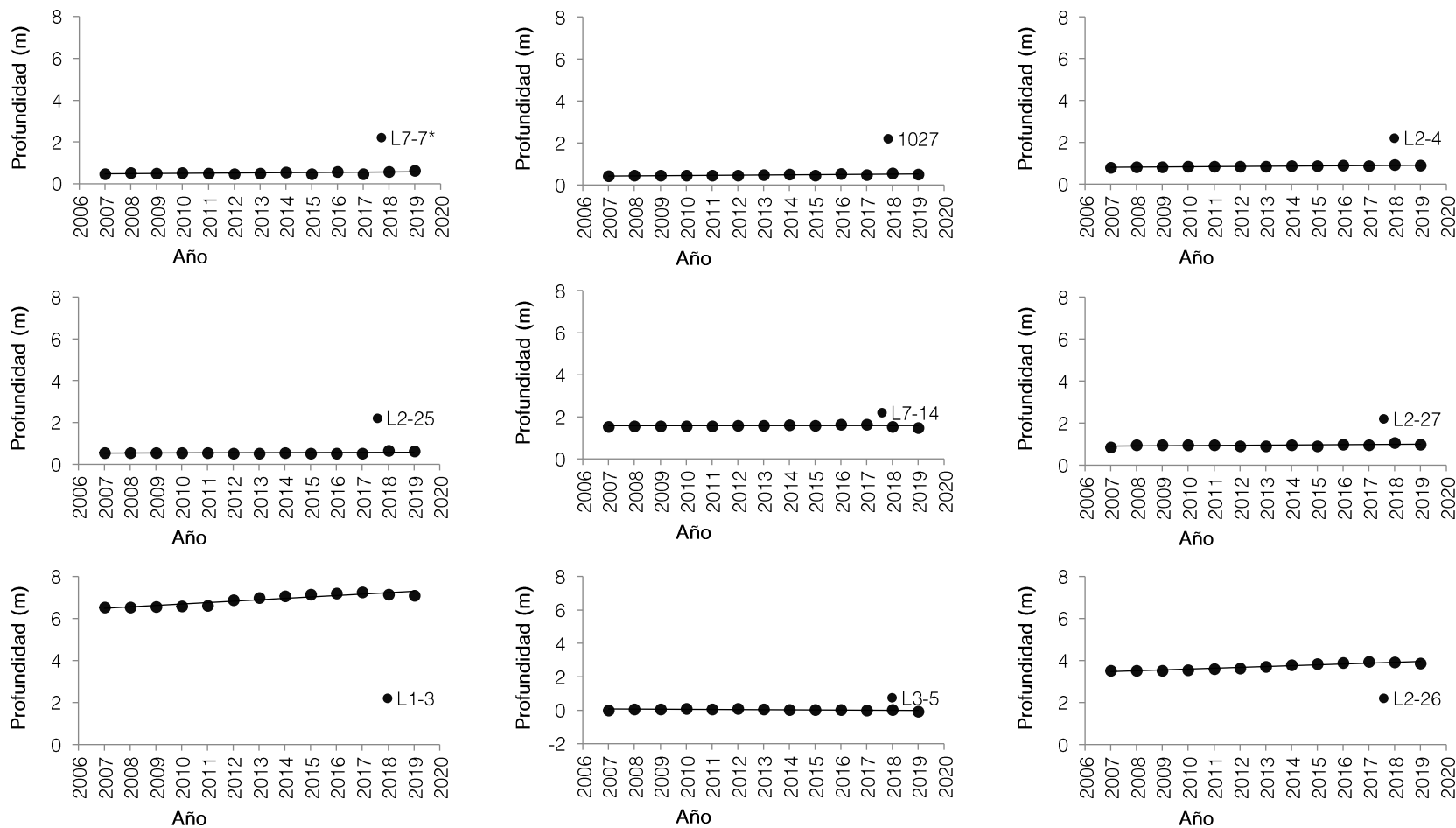


Figura 6-4. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2019.

*Pozo L7-7 medido únicamente en la campaña de enero de 2019 (dada restricción por el protocolo CONAF-Comunidades, en las campañas posteriores), valor representado en el gráfico corresponde a esa medición.

Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo.

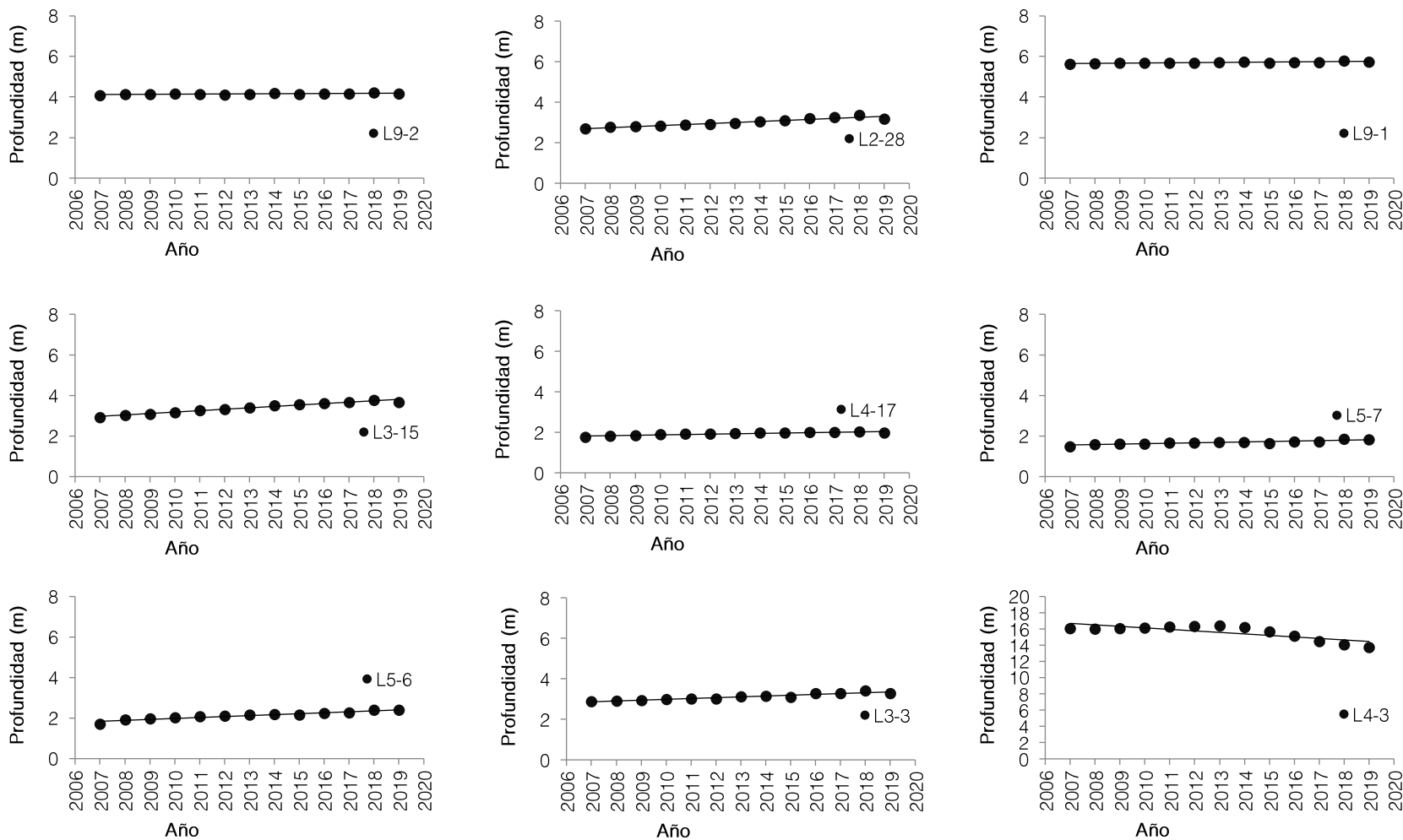


Figura 6-4. Variación del promedio anual de profundidad de la napa del suelo, medido desde el año 2007 a 2019.

Valores reportados en el informe 2018 corresponden a nivel y no profundidad, en esta tabla se actualiza el dato para ese periodo.

6.3. Variación interanual de la vitalidad de la vegetación

La variación de la vitalidad de la vegetación presente en las parcelas prospectadas se muestra en la Figura 6-5, donde se caracteriza esta variable respecto a las categorías establecidas: senescente, muy débil, débil, normal y excepcionalmente vigoroso para todos aquellos individuos presentes en el área de estudio. Durante el actual año de monitoreo se han producido dos fenómenos que impactan en el análisis de este capítulo, el primero asociado a las fuertes lluvias registradas en la zona durante la época estival, las que produjeron un aluvión que descendió desde la quebrada de Camar y afectó la parcela asociada al pozo de monitoreo L3-15, L3-3 y L3-5, perdiendo parte de los ejemplares existentes a ellas. El segundo, asociado al protocolo de ingreso a áreas de la Reserva Nacional Los Flamencos⁷, cuyo efecto impidió el monitoreo de las parcelas asociadas a los pozos de monitoreo L7-7 y 1027 en los meses de abril y octubre. El efecto del aluvión y el protocolo se analizarán desde la perspectiva de cada especie afectada en los acápités siguientes.

A la fecha, las categorías muy débil, débil y excepcionalmente vigoroso presentan variaciones menores, las rectas de los gráficos representativos del periodo 2007 – 2019 tienden a tener pendientes cercanas a 0, por lo que no se observa una tendencia a la alza o baja de individuos dentro de estas características. Por otra parte, la categoría senescente muestra una pendiente positiva (incremento de observaciones), con oscilaciones temporales como la observada entre el 2016 y 2019. Por su parte, la categoría de Vitalidad Normal está representada por una recta de pendiente negativa (reducción de observaciones).

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

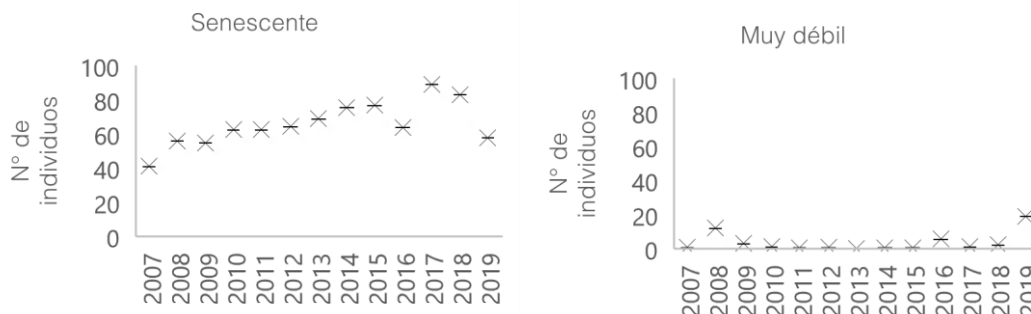


Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vitalidad, desde el año 2007 a 2019.

⁷ Resolución 56/2019 Aprueba el Protocolo de Ingreso en Sectores N°4, 5 y 7 de la RN Los Flamencos.

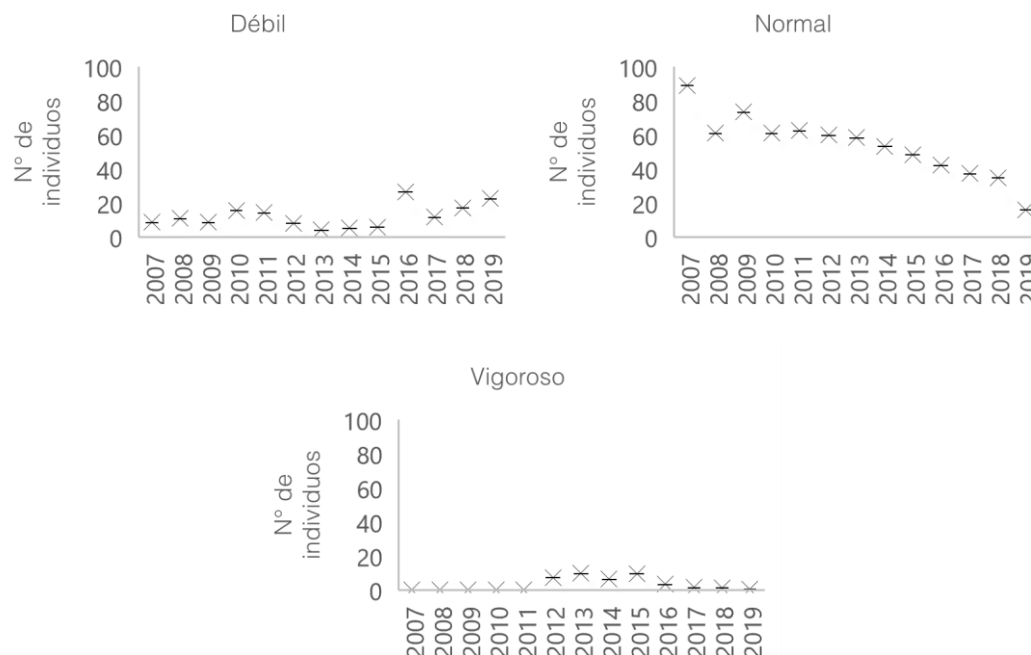


Figura 6-5. Variación del número de individuos por categoría de vitalidad, desde el año 2007 a 2019.

A continuación, se analizan los resultados de vitalidad, porcentaje de copa viva y fenología por especie monitoreada.

6.3.1. *Atriplex atacamensis*

La Figura 6-6 (A) representa el comportamiento de la Copa viva de *Atriplex atacamensis* en la serie de tiempo 2007-2019. De la figura se destaca lo siguiente:

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

demuestra una tendencia al detrimento de las plantas, sino que se relaciona a cambios fenológicos.

- Respecto de la categoría 75-100%, el mayor número de ejemplares en esta categoría se reporta en el monitoreo de abril y octubre, los que tienden a reducirse en el primer y tercer trimestre. En el presente año, la expresión de copa viva se mantuvo constante con respecto al año 2018, exceptuando el cuarto trimestre donde alcanza un máximo de 4 individuos para esta categoría.

La Figura 6-6 (B) muestra la vitalidad de *A. atacamensis* para todos los monitoreos. Al respecto se puede mencionar:

- Los ejemplares secos no muestran una tendencia temporal ni estacional y sus máximos fueron registrados entre el 2013 y 2017.
- Las categorías muy débil tienden a mantenerse alrededor de tres individuos, sin embargo, el monitoreo de julio del 2009 y 2010 registraron el máximo de ejemplares observados a la fecha, con 9 individuos muy débiles.
- Los individuos débiles son registrados en mayor proporción en los trimestres 2 y 3 (de los meses de abril y julio). Coincidiendo con periodo recesivo de las plantas.
- En todos los periodos de monitoreo predominan los individuos con crecimiento normal. La variación de esta categoría en el tiempo fluctúa entre 1 a 10 individuos, donde el máximo se alcanza en los primeros años del monitoreo.
- Los ejemplares excepcionalmente vigorosos comienzan a identificarse a partir del año 2012, cuyo máximo se registró abril del 2014, con 5 individuos. En el monitoreo actual, no se registran individuos para esta categoría.

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

- En el primer, segundo y tercer trimestre (monitoreo de enero, abril y julio), se identifica la mayor cantidad de individuos en floración y crecimiento vegetativo. Luego, durante el cuarto trimestre (octubre) las plantas se encuentran mayoritariamente en el periodo recesivo de crecimiento, a excepción de años aislados donde se presentan algunos individuos.
- Durante los años de monitoreo se aprecian variaciones de la dinámica antes descrita. Por ejemplo, durante el año 2017 se aprecia un adelantamiento del periodo de fructificación (enero) y una posterior aparición de flores en abril. Dando pie al periodo recesivo de crecimiento durante julio y octubre. En 2018 esta mecánica continua, sin embargo, el periodo de fructificación solo alcanza 4 individuos en octubre. Estas variaciones pueden reflejar decaimiento⁸ o fortalecimiento⁹ de la vegetación. Es probable

⁸ Floración y fructificación como estrategia reproductiva con el fin de la supervivencia de la especie

⁹Dada una mayor disponibilidad de recursos en el entorno, lo que permite a la planta mejorar sus estrategias reproductivas.

que episodios de condiciones climáticas adversas expliquen dicho comportamiento para el presente monitoreo.

-

Un ejemplar de esta especie se vio afectado por el aluvión que descendió de la quebrada de Camar durante la época estival del 2019, reflejándose en los trimestres 2, 3 y 4. Los individuos de *Atriplex atacamensis* perdidos en el evento, no podrán volver a incorporarse al monitoreo ya que estos se encontraban marcados y etiquetados desde el inicio de este (2007). Además, un ejemplar diferente se presenta en la categoría no aplica en los cuatro periodos prospectados.

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

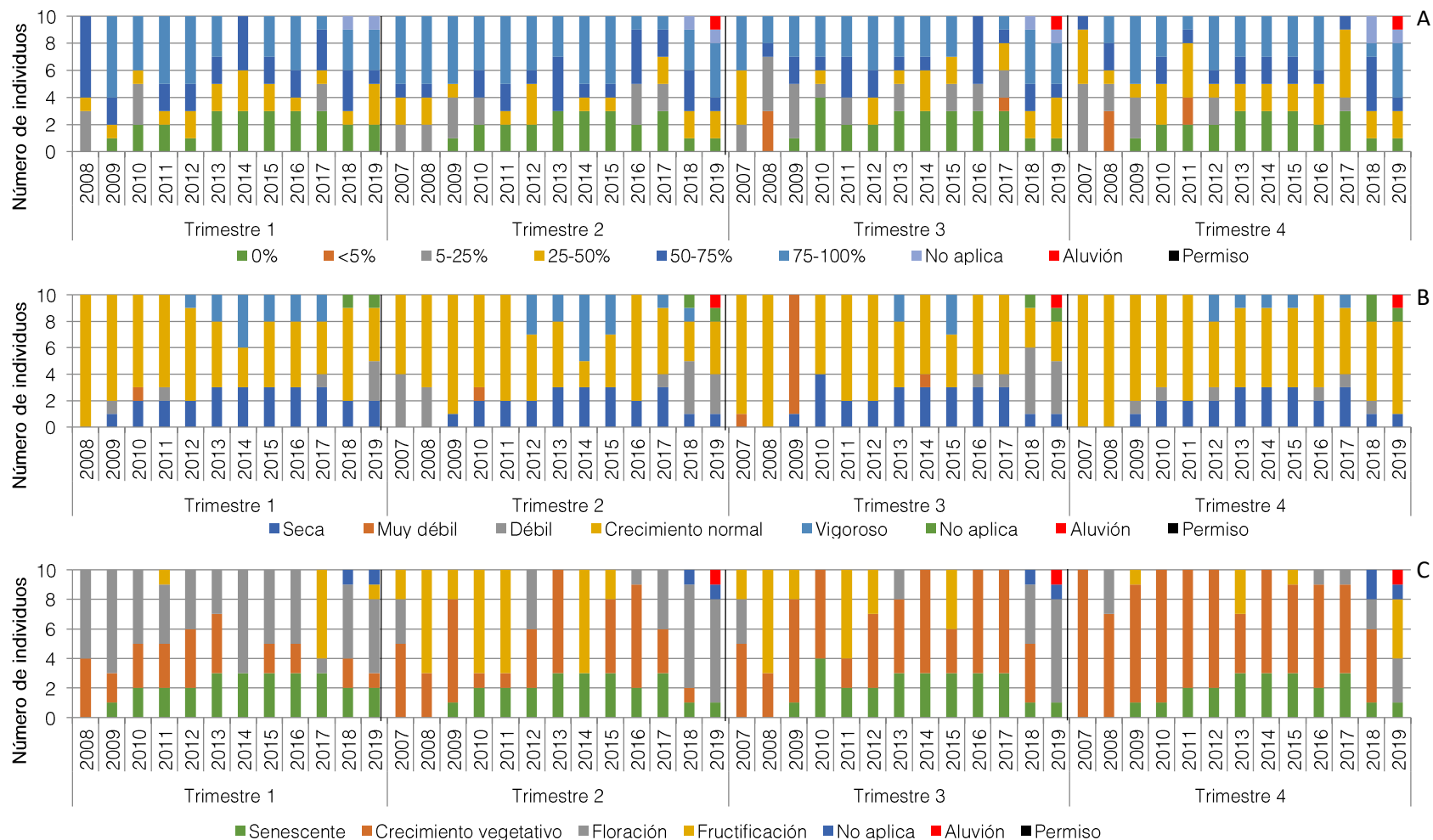


Figura 6-6. *Atriplex atacamensis*: Número de individuos por clase de copa viva (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por categoría de fenológica (C). Campañas 2007 a 2019.

6.3.2. *Distichlis spicata*

El estado vital de *Distichlis spicata* tiene variaciones respecto al número total de individuos registrados en terreno, debido principalmente a la dificultad de prospectar esta especie. Las características fisiológicas de *D. spicata* permiten el rebrote desde su raíz rastrera, por lo que en terreno estos individuos no se encuentran etiquetados ya que tienden a aparecer y desaparecer debido a su capacidad de eliminar biomasa aérea en distintos periodos. Sin embargo, históricamente se han encontrado entre 4 a 6 individuos de esta especie en las parcelas prospectadas.

El comportamiento y evolución histórica de la Copa viva de *D. spicata* se presenta en la Figura 6-7 (A), en la cual se aprecia que:

- Si bien es variable el número de individuos prospectados en el tiempo, en el mes de enero se observa una mayor cantidad de registros entre las categorías de copa viva mayores a 25%. Este mes se caracteriza también por poseer históricamente registros variables, pudiendo ubicar ejemplares en todas las categorías de copa viva evaluadas (desde 0% a 100%).
- Durante abril, se observa el primer indicio del comienzo del periodo recesivo de las plantas disminuyendo la cantidad de registros en las categorías mejores de copa viva (>50%) y aumentando los registros de individuos con porcentajes de copa viva menores al 50%.
- En contraste al segundo trimestre, en julio aumentan los individuos dentro de la categoría de copa viva 0% en todos los años de monitoreo. Y aproximadamente desde el 2014 los individuos registrados con copa viva tuvieron porcentajes mayores a lo reportado años anteriores. Del mismo modo, desde esa fecha el número de individuos registrados aumentó.
- En octubre se observa una disminución de individuos con copa viva de bajo porcentaje; por una parte, se presentan aumentan aquellos con copa viva <5% y disminuyen aquellos con 0% (respecto al trimestre anterior). También se ve un aumento en la cantidad de individuos entre 25-50% de copa viva. Desde 2007 a 2013 los registros son mayoritariamente de individuos con <5% de copa viva; hacia la actualidad los ejemplares tienden a presentar 0% de copa viva o en su defecto porcentajes mayores a 5%.

Respecto a la vitalidad se observa en la Figura 6-7 (B) lo siguiente:

- La categoría seca se presenta como una variable constante en el monitoreo la cual ha alcanzado su máximo dentro del tercer trimestre (julio) de medición con un máximo de 5 individuos.
- Los individuos muy débiles y débiles se presentan de forma aislada y sin una tendencia clara dentro de todas las fechas de monitoreo.
- Aquellos individuos con crecimiento normal representan la máxima expresión dentro de la fecha casi de forma constante y con una tendencia que no varía a lo largo del tiempo, variando generalmente entre 3 y 6 individuos

- Los individuos excepcionalmente vigorosos, al igual que los secos, se presentan de forma puntual y aislada en el área de monitoreo sin responder a una tendencia clara en el tiempo.

La fenología de *D. spicata* se presenta en la Figura 6-7 (C).

- Los monitoreos trimestrales muestran diferencias que evidencian las etapas de desarrollo la especie a nivel anual. Así, durante la prospección de enero y abril, los individuos se presentan mayoritariamente con crecimiento vegetativo, y en menor número ejemplares senescentes (en toda la serie temporal). También, en menor cantidad se registran individuos con floración y fructificación.
- El crecimiento vegetativo de las plantas disminuye en julio, dando pie al periodo recesivo donde se aprecia un elevado número de individuos senescentes.
- En octubre los ejemplares recuperan vitalidad, aumentando los registros de individuos con crecimiento vegetativo.
- A nivel general, la especie se comporta según lo esperado en cada trimestre, no observándose tendencias aparentes en el tiempo.
- En el segundo y cuarto trimestre se observa un ejemplar no medido al no tener acceso a la parcela de monitoreo (dado el protocolo CONAF-Comunidades). Además, en el segundo trimestre también se evidenció la desaparición temporal de un individuo debido al aluvión que descendió por la quebrada de Camar, el que luego se registró en los monitoreos siguientes.

Distichlis spicata se comporta según lo esperado históricamente y no se observan tendencias respecto a su copa viva, vitalidad o fenología, además, del comportamiento esperado para un año de monitoreo.

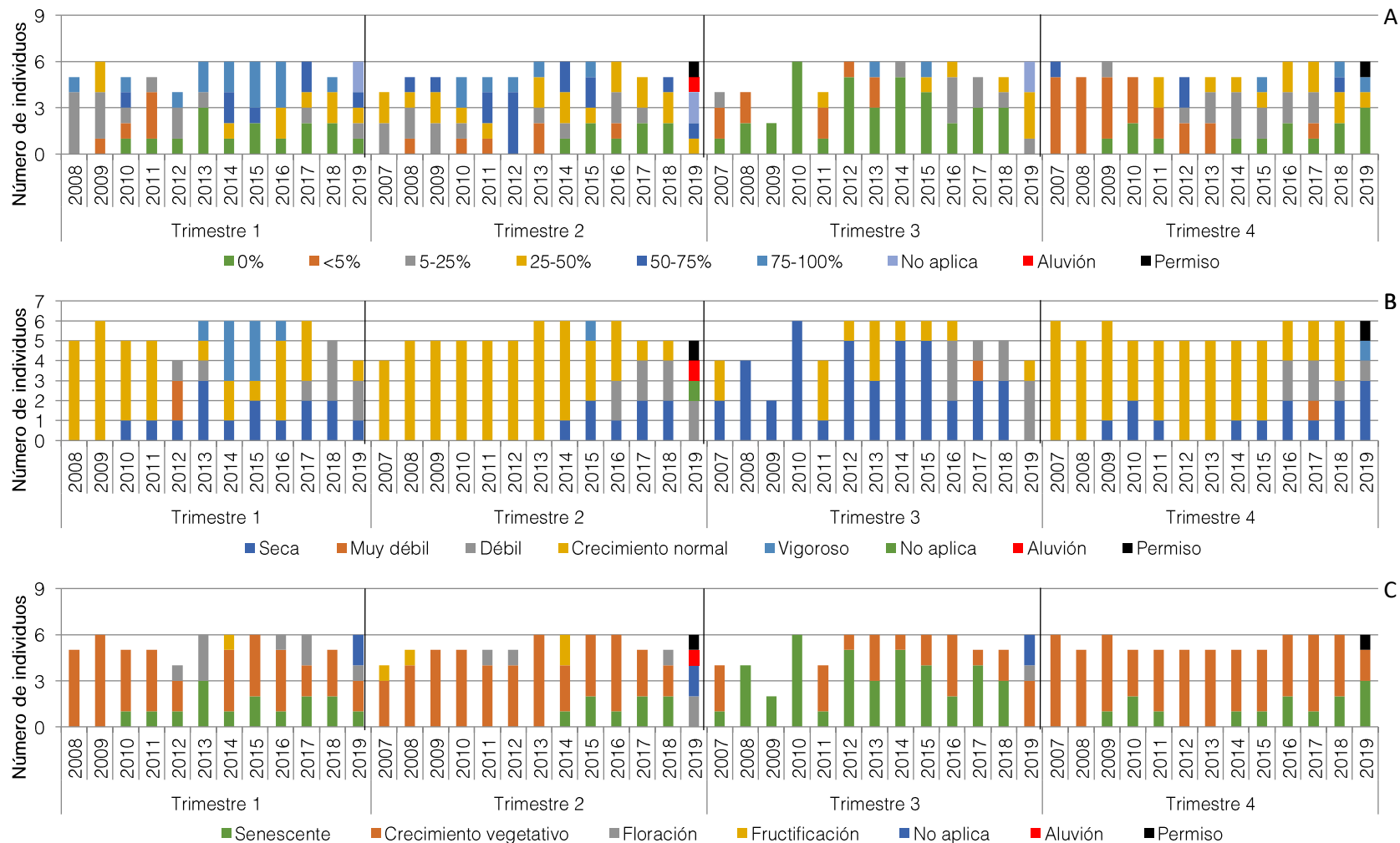


Figura 6-7. *Distichlis spicata*: Número de individuos por categoría de porcentaje de copa viva (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2019.

6.3.3. Nitrophila atacamensis

El estado vital de *Nitrophila atacamensis* tiene variaciones respecto al número total de individuos ya que los ejemplares no se encuentran etiquetados, y estos tienden a eliminar la biomasa aérea rebrotando en otro lugar en la temporada siguiente. Cabe destacar que durante las prospecciones de abril y octubre no se contó con la autorización de ingreso a áreas de la RN, por lo que las parcelas asociadas a los pozos antes mencionados no fueron monitoreadas.

Los resultados del monitoreo de Copa viva se presentan en la Figura 6-8 (A) y se comentan a continuación:

- Durante todos los años prospectados se observa una marcada tendencia de *N. atacamensis* a descartar toda su biomasa aérea en el periodo invernal. Dando pie al rebrote durante octubre. La especie alcanza su máxima expresión de copa viva en torno a los monitoreos de enero y abril, lo cual se hace evidente en el primer trimestre del 2019. Se descarta una tendencia al alza o baja del follaje 0% en el tiempo.

De los resultados del vitalidad de la especie que se muestran en la Figura 6-8 (B), se extrae:

- En las épocas de verano y otoño se observan individuos principalmente con crecimiento normal, en verano también hubo años donde se registraron individuos excepcionalmente vigorosos. En el tercer trimestre del año (monitoreo de julio) los ejemplares se aprecian bajo la categoría seco, rebrotando hacia un crecimiento normal hacia el mes de octubre.
- La vitalidad responde a patrones estacionales que se evidencian al observar la Figura 6-8 (B) dada la distribución dentro de todos los años de monitoreo.
- Dada la baja cantidad de individuos monitoreados históricamente, no es posible identificar alguna relación o tendencia de la vitalidad en el tiempo.

Respecto a las observaciones del monitoreo de la fenología (Figura 6-8 C), se extrae lo siguiente:

- El comportamiento estacional de la planta se demuestra al observar los periodos de crecimiento vegetativo y senescencia a lo largo de los años, en donde en los meses previos al invierno los ejemplares presentan mayoritariamente crecimiento vegetativo y luego entran en fase de senescencia.

No es posible establecer relación entre el año 2019 con la serie de tiempo completa, esto principalmente por que en los meses de abril y octubre no se contó con permiso de ingreso a las parcelas donde *Nitrophila atacamensis* crece, teniendo una falta de información para esos periodos.

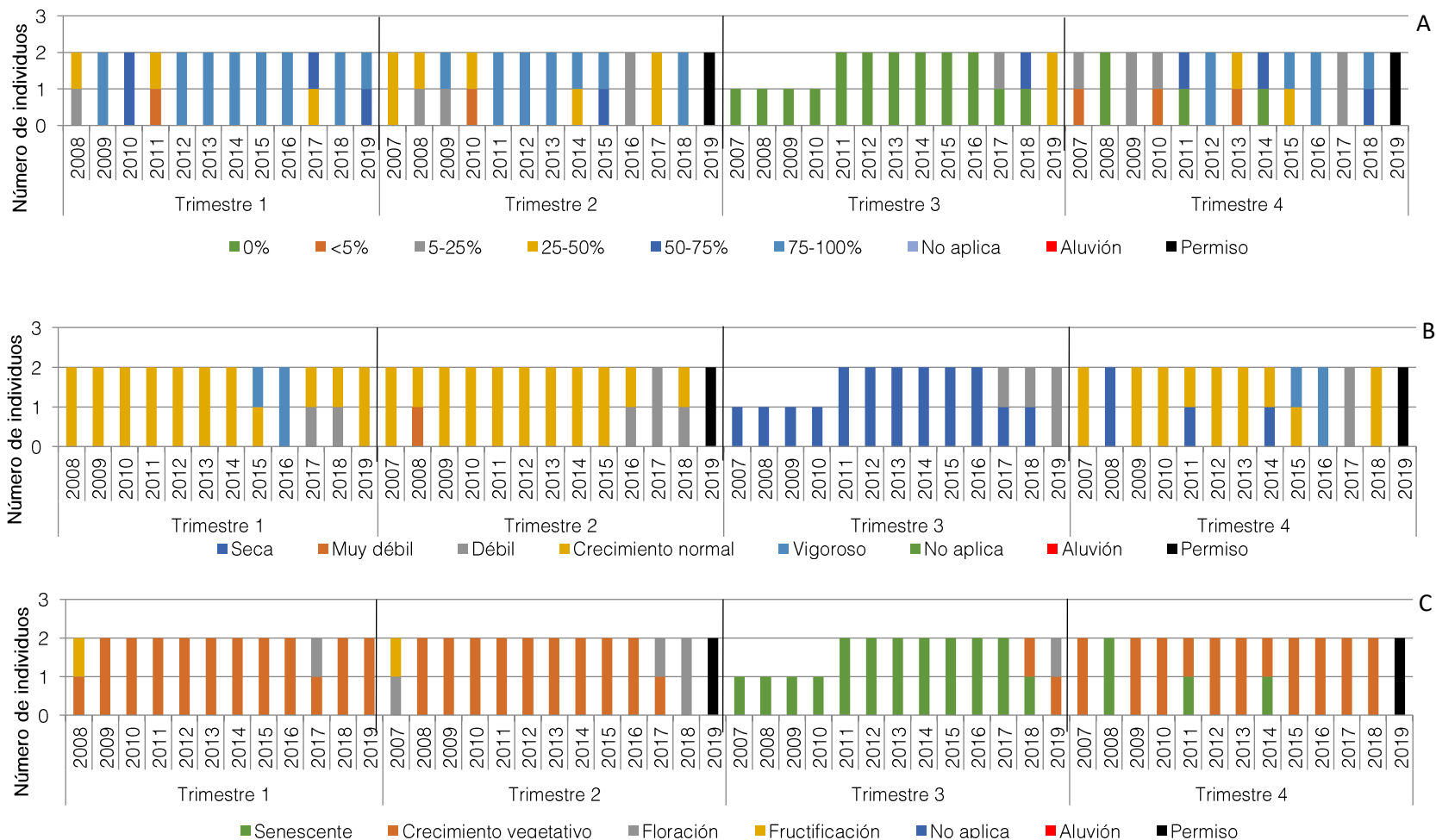


Figura 6-8. Nitrophila atacamensis: Número de individuos por categoría de porcentaje de copa viva (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2019.

6.3.4. Tessaria absinthioides

La Figura 6-9 (A) representa el comportamiento de la Copa viva de en *Tessaria absinthioides*. De la figura se destaca lo siguiente:

- La copa viva de *T. absinthioides* tiene un comportamiento cíclico anual, siendo el monitoreo de julio el periodo de recesión vegetativa y donde se observa menor follaje. En octubre comienza a recuperarse y luego en los monitoreos de enero y abril aumenta el porcentaje de copa viva. Los datos del 2019 siguen la misma tendencia observada, sin embargo, se observa mayor número de ejemplares con copa viva entre 5-25%.
- En los monitoreos de enero y abril se aprecia la mayor expresión de copa viva de *T. absinthioides*.
- La serie de tiempo completa presenta una tendencia al alza de individuos con copa 0% durante el monitoreo de enero. Esto puede relacionarse al tipo de muestreo implementado para el monitoreo de *T. absinthioides*, el cual contempla 123 individuos identificados y etiquetados.

La Figura 6-9 (B) muestra la vitalidad de la especie para todos los monitoreos, se extrae:

- La vitalidad de los individuos es predominantemente seco o normal durante gran parte del año, en todos los años de monitoreo, a excepción del tercer trimestre (época invernal) donde esta última categoría se encuentra prácticamente ausente.
- Se observa en el primer y segundo trimestres una disminución en el tiempo de la cantidad de individuos bajo crecimiento normal y un aumento de ejemplares secos. En abril se aprecia también el comienzo del periodo recesivo, registrándose una mayor cantidad de ejemplares débiles.
- *T. absinthioides* presenta un notorio periodo recesivo respecto a la vitalidad durante el monitoreo histórico del tercer trimestre, donde predominan los individuos secos, sin embargo, el último año presenta variaciones atípicas al comportamiento histórico reduciéndose el periodo recesivo y dando paso a ejemplares en categoría muy débil y débil, saliendo de la tendencia estacional que se ha presentado anteriormente.
- Se identifican pocos individuos excepcionalmente vigorosos a lo largo del periodo 2007-2019. Estos se registraron por primera vez en enero del 2012 y continúan apareciendo hasta el actual monitoreo (1 ejemplar en octubre) de forma aislada y sin una tendencia que pueda establecerse.

En la Figura 6-9 (C) presenta el comportamiento de la fenología en los ejemplares monitoreados. Al respecto:

- Principalmente se observan individuos con crecimiento vegetativo y senescente. La cantidad de individuos bajo cada categoría varía durante el transcurso del año, los ejemplares de *T. absinthioides* tienden a presentar fenología senescente mayoritariamente en el mes de julio. Coincidiendo con el periodo recesivo de crecimiento de las plantas del sector, situación que sigue presentándose en el presente monitoreo.

- El periodo reproductivo de la vegetación se identifica entre los monitoreos de enero y abril (asociado a los estados de floración y fructificación).
- Por tercer año consecutivo se reporta la producción de flores en abril, mes que ha sido variable a lo largo del tiempo, sin embargo, su aparición responde a fechas y situaciones puntuales sin poder establecer un seguimiento o continuidad.

Los efectos del aluvión que descendió desde la quebrada de Camar se evidencia en los meses posteriores al evento (segundo, tercer y cuarto trimestre), donde 24 ejemplares de *Tessaria absinthioides* desaparecieron. Los individuos de *Tessaria absinthioides* perdidos en el evento, no podrán volver a incorporarse al monitoreo ya que estos se encontraban marcados y etiquetados desde el inicio de este (2007).

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

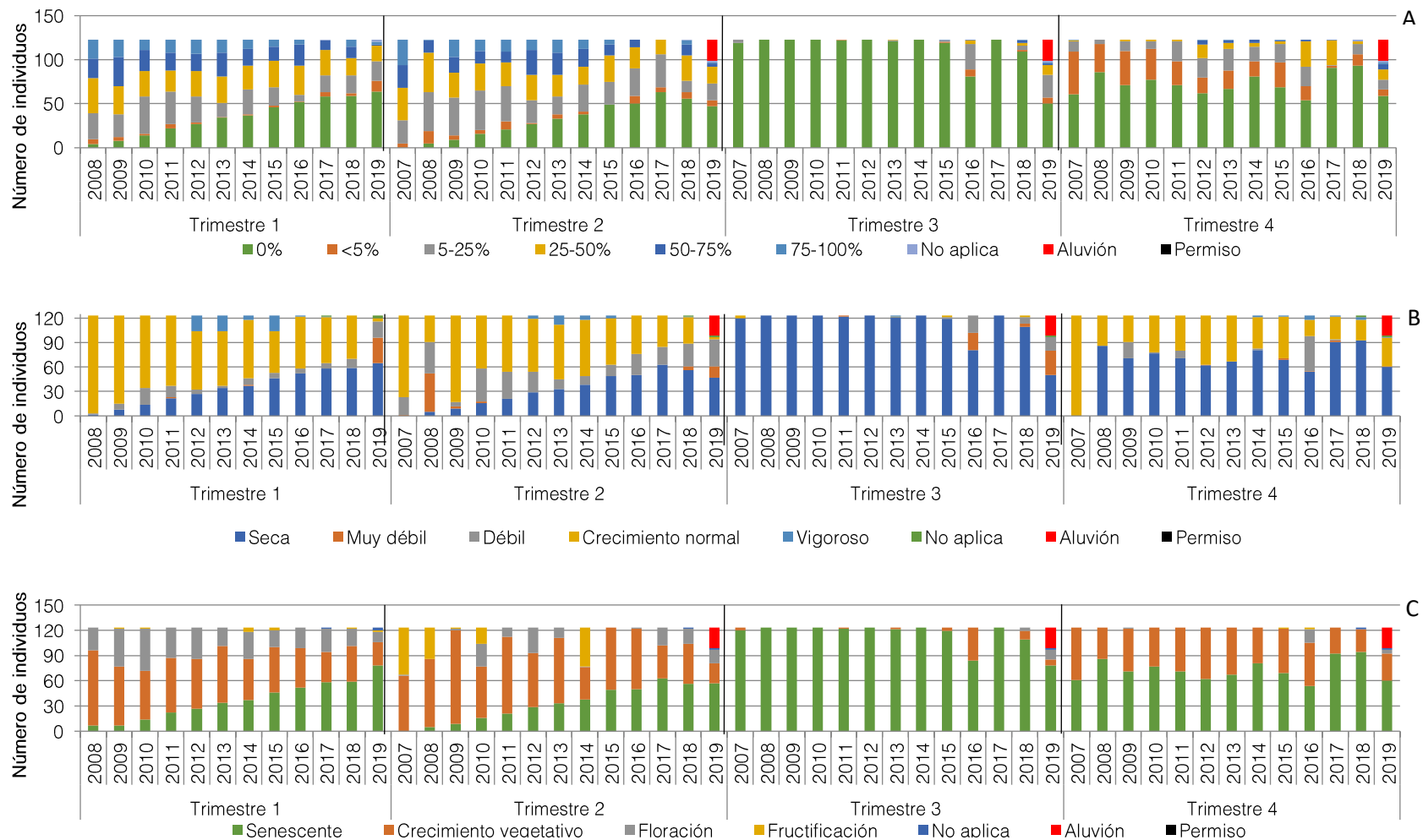


Figura 6-9. *Tessaria absinthioides*: Número de individuos por categoría de porcentaje de copa viva (A), número de individuos por categoría de vitalidad (B) y número de individuos por categoría de fenología (C). Campañas 2007 a 2019.

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

La Tabla 6-10 representa los estadígrafos asociados a la relación entre el contenido de humedad del suelo y la vitalidad de la vegetación presente en cada parcela de monitoreo. La información del CHS proviene de los análisis del Laboratorio Metalúrgico de SQM Salar en faena, junto con resultados de las ETFA SGS (2017) y Algoritmos SpA (2018-2019).

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

Tabla 6-10. Resumen de la variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad para el periodo 2007-2019.

Vitalidad	N	Media	D.E	Min	Max	Mediana	Q1	Q3
0	3.368	0,24	0,18	0,00	1,00	0,17	0,11	0,34
1	150	0,22	0,19	0,02	1,00	0,15	0,10	0,27
2	621	0,21	0,20	0,02	1,00	0,18	0,11	0,47
3	2.719	0,27	0,21	0,00	1,08	0,17	0,11	0,41
4	158	0,32	0,23	0,03	0,92	0,34	0,11	0,49

En la Figura 6-10, se puede apreciar una tendencia al incremento del valor promedio del contenido de humedad en la medida que la vitalidad de las plantas aumenta. Por lo que, es probable que las parcelas con mayor disponibilidad del recurso posean un mejor estado de vitalidad de sus individuos (normales o excepcionalmente vigorosos).

Los valores máximos (saturación) corresponden a mediciones de los años 2007, 2009 y 2010 en las parcelas L2-25 y L2-4. Las que presentan profundidad de napa menores a 0,88 m. En estas parcelas se registró vegetación en las categorías 0, 1, 2 y 3.

Respecto a las medias, se observan valores que varían entre las categorías de vitalidad senescente (0), muy débil (1), débil (2) y normal (3) entre 0,21 g/g y 0,27 g/g promedio; mientras que la categoría excepcionalmente vigoroso (4) alcanza un valor medio de 0,32 g/g.

Además, se aprecia que los datos del tercer cuartil del gráfico se encuentran más dispersos (estos comprenden el 75% de la muestra), lo que indica que en las parcelas donde se ubicaron individuos con vitalidad entre las categorías senescente a normal, el contenido de humedad del suelo fue más variable y cuando se registraron valores superiores a la media. Caso contrario a lo visualizado en la categoría 4 de vitalidad (excepcionalmente vigoroso), donde el CHS es más disperso cuando se registran valores por debajo de la media (0,32 g/g).

Las categorías de vitalidad 0, 1, 2 y 3 poseen valores atípicos de contenido de humedad, esto porque se realiza una medición de CHS por parcela y en cada parcela se registran individuos que no poseen necesariamente igual característica de vitalidad, además este análisis contempla toda la vegetación, sin diferenciar especie. No se observan valores atípicos para la categoría de vitalidad 4.

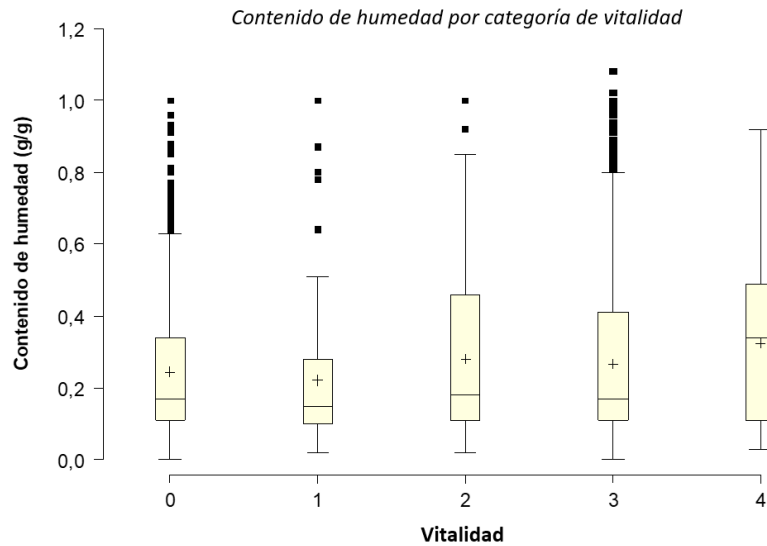
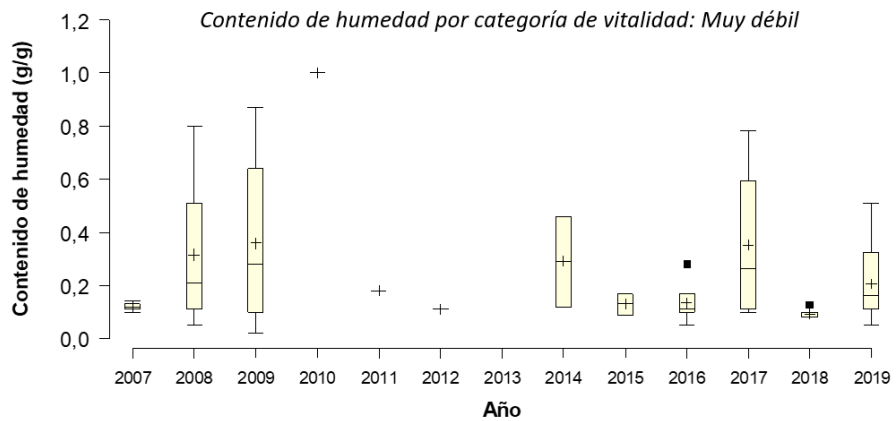


Figura 6-10. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad.

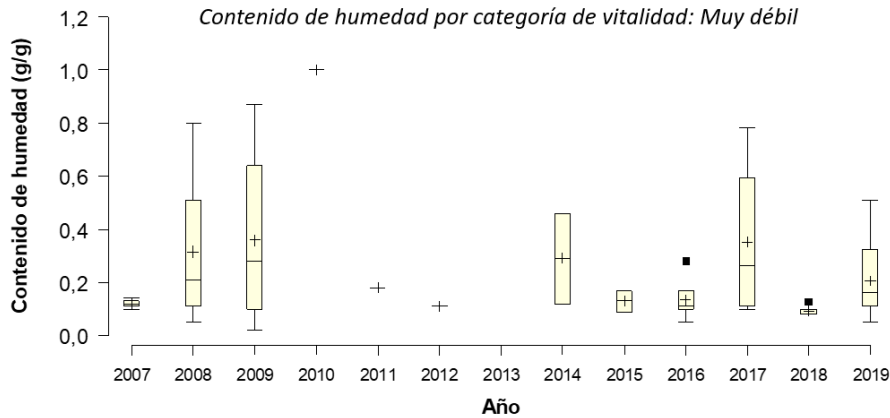
Categoría de vitalidad: 0=Senescente; 1=Muy débil; 2=Débil; 3=Normal; 4=Excepcionalmente vigoroso.



Por lo demás, la

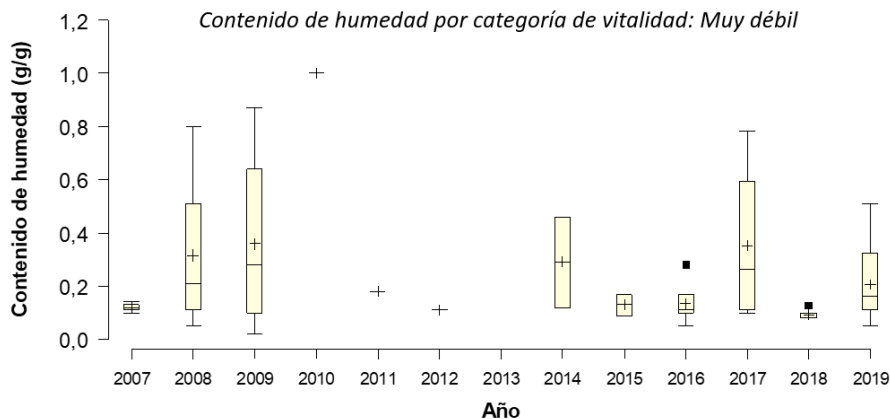
Figura 6-11 ilustra el comportamiento de la vitalidad de las plantas y el contenido de humedad asociado a las parcelas donde se ubicó cada una de ellas, para el periodo 2007-2019. Estos análisis son complementados con un Análisis Multinivel (ver anexo V) realizado con el fin de identificar el nivel de correlación de la variable vitalidad de la vegetación con el contenido de humedad del suelo donde se establecen las plantas. Al respecto se puede señalar:

- Categoría senescente (Figura 6-11 (



A)): Desde el año 2007 se han reportado plantas bajo esta categoría de vitalidad. Para el actual monitoreo, existe presencia de individuos en categoría senescente en suelos con alto contenido de humedad, reportándose valores de CHS promedio de 0,24 g/g; mediana 0,17 g/g y valor máximo 1,00 g/g para la serie de tiempo completa. Los valores de CHS tienden a ser más dispersos en el primer cuartil hacia los monitoreos iniciales (25% de los datos), mientras que desde el año 2012 se observa mayor dispersión del CHS hacia el tercer cuartil (75% de los datos). También se observan menos valores atípicos a partir del año 2012. Lo que guarda relación con el cambio metodológico en la categorización de la vegetación de ese año. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre el contenido de humedad y esta categoría de vitalidad.

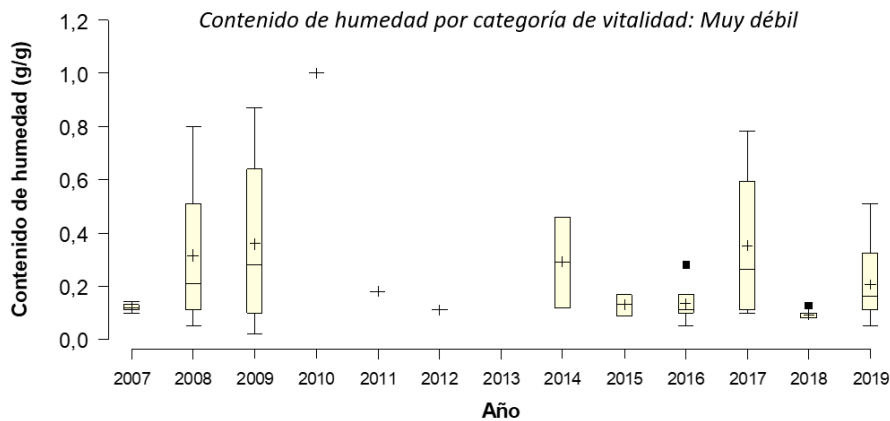
- Categoría muy débil (Figura 6-11 (



B)): La presencia de individuos bajo esta categoría es ocasional en el tiempo, se destaca la presencia de 11,5 ejemplares en promedio reportados por año, con observaciones particularmente altas en 2008, 2009, 2016 y 2019. En el año

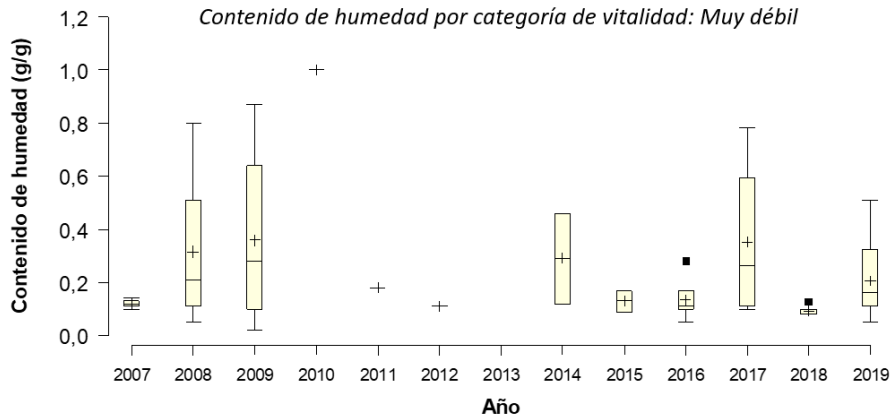
base se reporta un valor de contenido de humedad promedio de 0,11 g/g, para el periodo siguiente (2008) el valor promedio incrementa a 0,32 g/g con una mediana de 0,21 g/g y valor máximo de 0,80 g/g, aumentando la ocurrencia de plantas en esta categoría. Para el 2019 se observa una alza en la presencia de plantas bajo esta categoría. El contenido de humedad promedio (2007-2019) de las parcelas donde se ubican estos ejemplares alcanza los 0,22 g/g, mediana de 0,15 g/g y máximo de 1,00 g/g. En 2019 también se observa que los datos no están tan dispersos como el año anterior, y no se registran valores atípicos. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre el contenido de humedad y esta categoría de vitalidad.

- Categoría débil (Figura 6-11)



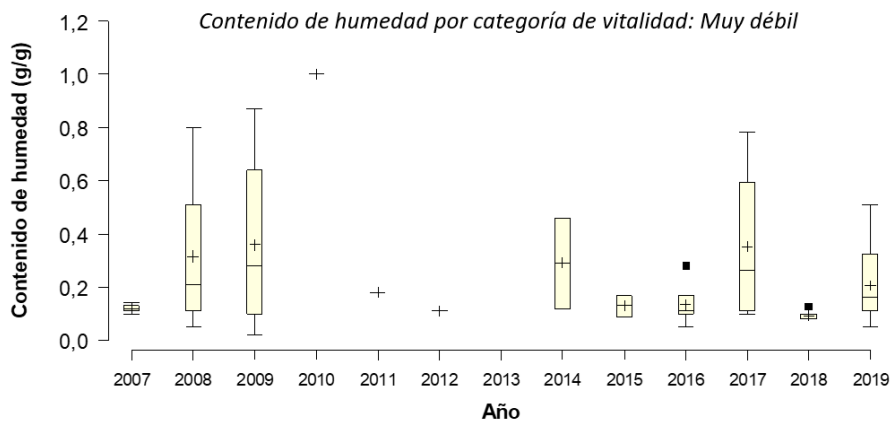
(C): Al igual que lo reconocido en los análisis de las categorías previas, el número de plantas clasificadas en esta categoría es independiente del contenido de humedad medido en el suelo donde se establecen. En el monitoreo del 2007 el valor promedio de contenido de humedad fue de 0,45 g/g, mediana de 0,5 g/g con un máximo de 0,84 g/g. El contenido de humedad para el periodo 2007-2019 reporta un promedio de 0,21 g/g, mediana de 0,18 g/g y un máximo de 1,00 g/g. En 2019 se observa mayor dispersión hacia el tercer cuartil de los datos (75% de la muestra), esta dispersión es menor a la registrada en 2018. No se observan valores atípicos. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre el contenido de humedad y esta categoría de vitalidad.

- Categoría normal (Figura 6-11 (



D)): En general, esta categoría se ha mantenido estable en el tiempo respecto al contenido de humedad del suelo. Durante el año base (2007) el valor promedio del CHS alcanzó 0,28 g/g, mediana de 0,20 g/g con un máximo de 1,08 g/g. Considerando el periodo de monitoreo 2007-2019, estos valores alcanzaron 0,27 g/g de promedio, mediana 0,17 g/g y máximo 1,08 g/g. Los datos del 2019 muestran que el primer cuartil (25% de los datos) representan mayor dispersión que en años anteriores, indicando la existencia de individuos normales en condiciones de humedad de suelo variables bajo la media (<0,26 g/g). Sin embargo, el tercer cuartil se comporta como lo observado en años anteriores, es decir con gran dispersión sobre la media (>0,26 g/g). No se observan valores de CHS atípicos para esta categoría de vitalidad. El análisis multinivel para la serie de datos 2007-2019 muestran una relación estadísticamente significativa y positiva entre esta categoría de vitalidad y el CHS.

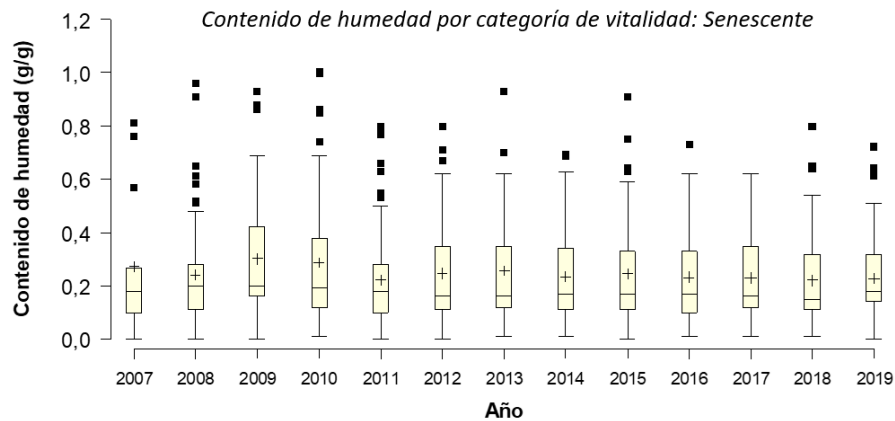
- Categoría excepcionalmente vigoroso (Figura 6-11 (



E)): Los individuos caracterizados bajo esta categoría han sido escasos en el tiempo y reportados a partir del año 2012

(Ver sección 6.3). El valor del contenido de humedad del suelo donde se establecen estos individuos también es variado en el tiempo, específicamente para el periodo 2019 este valor fluctuó entre 0,41 g/g y 0,09 g/g. En el año 2012 se describió un contenido de humedad promedio de 0,28 g/g, mediana 0,17 g/g y valor máximo de 0,85 g/g; para el periodo 2012-2019 se describe un promedio de 0,32 g/g, mediana de 0,34 g/g y máximo de 0,92 g/g. El año 2019 está representado por una igual dispersión de los datos en torno a la media entre el primer y tercer cuartil (25% y 75% de los datos respectivamente). Al darse este escenario no se observan límites (Bigotes), ni valores atípicos, esto por la baja cantidad de individuos registrados en esta categoría. Del análisis multinivel, se desprende que las plantas en esta categoría tienen relación estadísticamente significativa con el contenido de humedad en la parcela. La correlación es positiva.

A



B

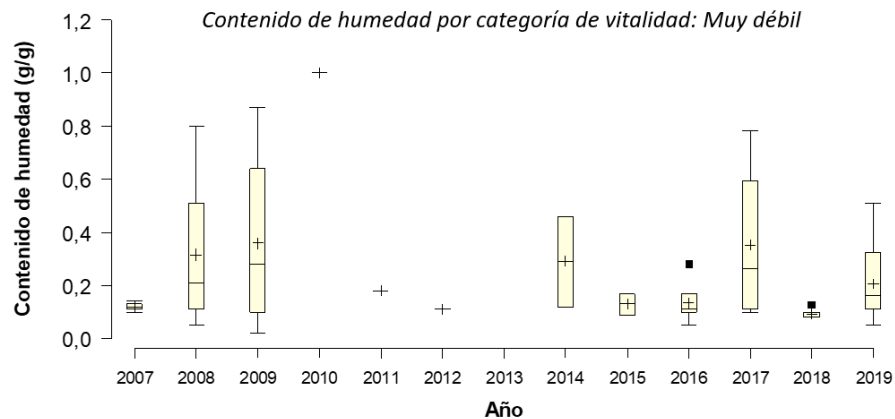
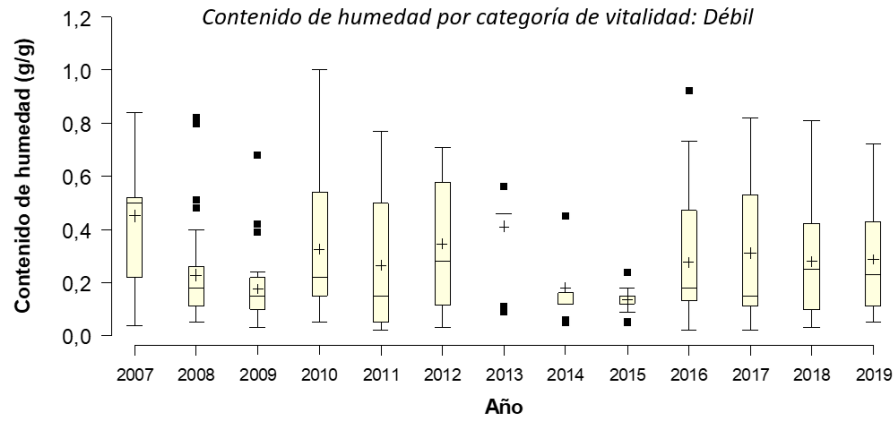


Figura 6-11. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad, desde el año 2007 al 2019.

C



D

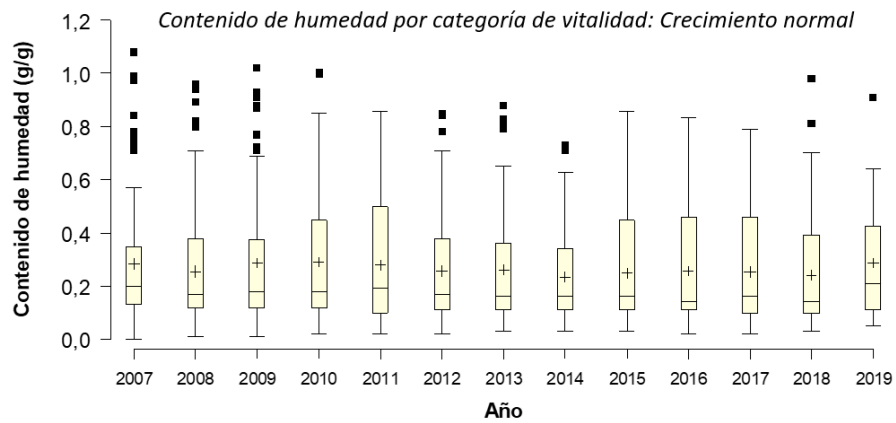


Figura 6-11. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad, desde el año 2007 al 2019.

E

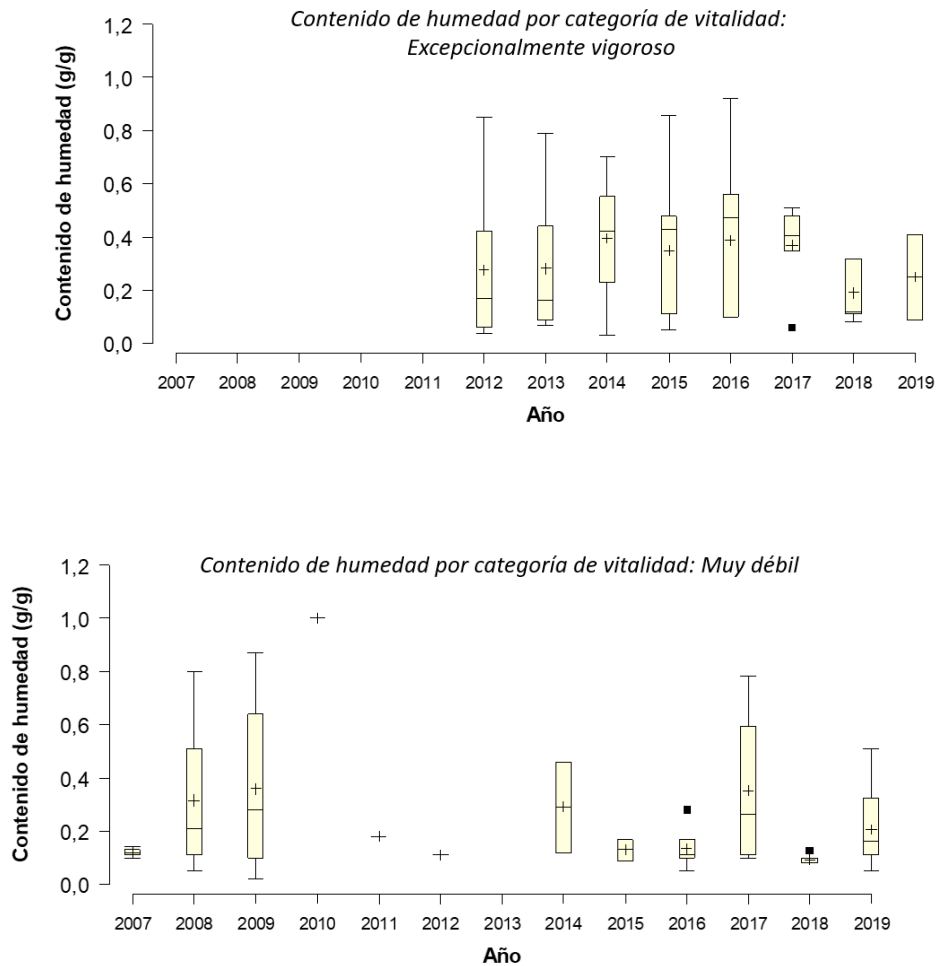


Figura 6-11. Variación del contenido de humedad gravimétrico del suelo por categoría de vitalidad, desde el año 2007 al 2019.

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

La Tabla 6-11 representa los estadígrafos generales para la relación entre la profundidad de la napa freática y los individuos por grado de vitalidad (seco (0), muy débil (1), débil (2), crecimiento normal (3) y excepcionalmente vigoroso (4)). La Figura 6-12 ilustra estos resultados, se puede apreciar que las profundidades promedio de la napa reportada para cada categoría de vitalidad varía entre 2,05 m a 3,05 m, siendo similares los promedios entre las categorías de vitalidad seco, débil y normal. Una mayor diferencia se aprecia al comparar las medianas, donde la categoría excepcionalmente vigoroso (4) presenta los valores más cercanos a la superficie (1,59 m) y la categoría muy débil (1) presenta los valores de mayor profundidad (3,05 m).

El promedio de la profundidad de la napa se mantiene relativamente constante respecto a las categorías de vitalidad estudiadas. Siendo mayor en la categoría muy débil. Los datos suelen estar más dispersos hacia el primer cuartil (25% de los datos), en las categorías 0, 1, 2 y 3, es en estas también, donde se observan valores atípicos de profundidad de napa.

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

Vitalidad	N	Media	D.E.	Min	Max	Mediana	Q1	Q2
0	3.427	2,63	2,11	-0,07	16,41	2,13	1,58	3,58
1	149	3,03	1,76	0,00	6,55	3,05	1,19	5,36
2	621	2,63	1,80	-0,04	7,26	2,04	1,34	4,12
3	2.618	2,63	1,83	-0,07	7,26	2,13	1,18	3,58
4	158	2,05	1,97	-0,07	7,07	1,59	0,83	4,26

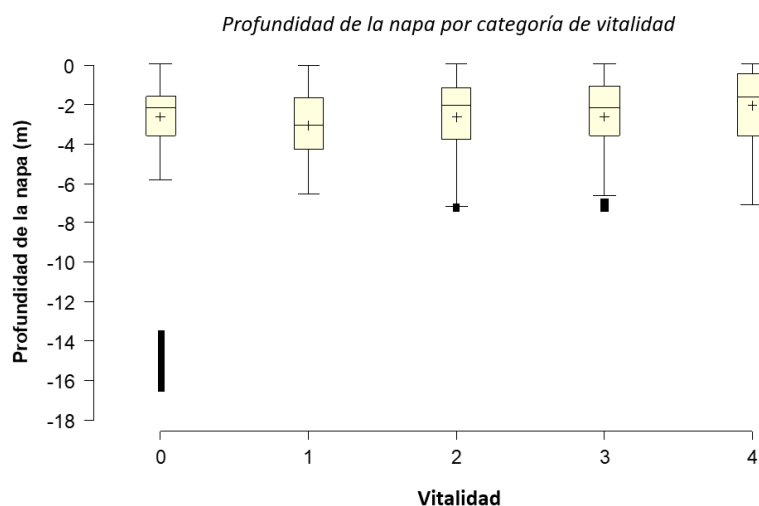


Figura 6-12. Variación de la profundidad de la napa por categoría de Vitalidad.

Categoría de vitalidad: 0=Seco; 1=Muy débil; 2=Débil; 3=Normal; 4=Excepcionalmente vigoroso.

Por otra parte, la Figura 6-13 ilustra el comportamiento histórico de la profundidad de la napa por cada categoría de vitalidad. El Análisis Multinivel presentado en el Anexo V también relaciona estas variables. Tanto el modelo como los estadígrafos (representados por los boxplots) se analizan a continuación:

- Categoría Seco (Figura 6-13 (A)): Como se mencionó anteriormente, la categoría de vitalidad seco se ha registrado desde el año base (2007) donde la napa tuvo un valor promedio de 2,57 m; mediana de 1,77 m y valor máximo de 16,09 m. En la serie de tiempo 2007-2019 se registraron individuos en esta categoría de vitalidad con una profundidad de napa promedio 2,63 m; mediana 2,13 m y valor máximo reportado de 16,41 m. La profundidad de napa suele ser más dispersa el primer cuartil de datos (25% de la muestra) respecto a la media (<2,63 m). Se observan valores atípicos en todos los periodos, estos corresponden a la medición del

pozo L4-3 que históricamente ha registrado esos niveles. El análisis multinivel indica que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad de la napa y esta categoría de vitalidad.

- Categoría muy débil (Figura 6-13(B)): Al igual que el caso del CHS, no es posible establecer una relación entre la profundidad de la napa freática y esta categoría de vitalidad. Ya que la ocurrencia en el tiempo de individuos bajo esta categoría es baja (Ver sección 6.3). Para el año 2007 se reportó un valor promedio de 4,12 m de profundidad de la napa; posteriormente, en el año 2008 el valor promedio de profundidad se reduce a 2,21 m con una mediana de 1,85 m y valor máximo de 5,70 m. Para la serie temporal 2007-2019 se registra una profundidad promedio de 3,03 m, mediana de 3,05 m y máximo de 6,55 m.

El análisis multinivel muestra que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad de napa y esta categoría de vitalidad.

- Categoría débil (Figura 6-13(C)): Las plantas clasificadas bajo esta categoría comienzan a reportarse desde el año 2007, sin embargo, no se cuenta con datos de profundidad de napa para ese periodo, por lo que el gráfico analizado comienza el año 2008, donde se registró una profundidad promedio de 2,68 m; mediana de 1,99 m y máximo de 5,70 m. La profundidad de la napa para el periodo 2008-2019 tiene en promedio 2,63 m; mediana de 2,04 m y un valor máximo de 7,26 m. El análisis multinivel muestra que no existe relación estadísticamente significativa entre las variables.

- Categoría normal (Figura 6-13(D)): En 2007 esta categoría presentó un valor promedio de profundidad de la napa de 2,33 m; mediana de 1,76 m y un máximo de 6,53 m. La profundidad de la napa para el periodo 2007-2019 reporta un promedio de 2,63 m; mediana de 2,13 m y un máximo de 7,26 m. El análisis multinivel concluye que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad y esta categoría de vitalidad.

- Categoría excepcionalmente vigoroso (Figura 6-13 (E)): Como se mencionó anteriormente esta categoría ha sido descrita en las parcelas desde el año 2012 (ver sección 6.3). La profundidad de la napa para el año 2012 reportó un promedio de 2,16 m, mediana 2,18 m y valor máximo de 5,72 m; para el periodo 2012-2019, los ejemplares en esta categoría no coinciden con aquellos lugares donde se ha reducido la profundidad de la napa, más bien la profundidad se mantiene variable entre las observaciones, describiéndose un promedio de 2,05 m; mediana de 1,59 m y máximo de 7,07 m. Del análisis multinivel realizado, se identifica que no existe relación estadísticamente significativa entre la profundidad y esta categoría de vitalidad.

A

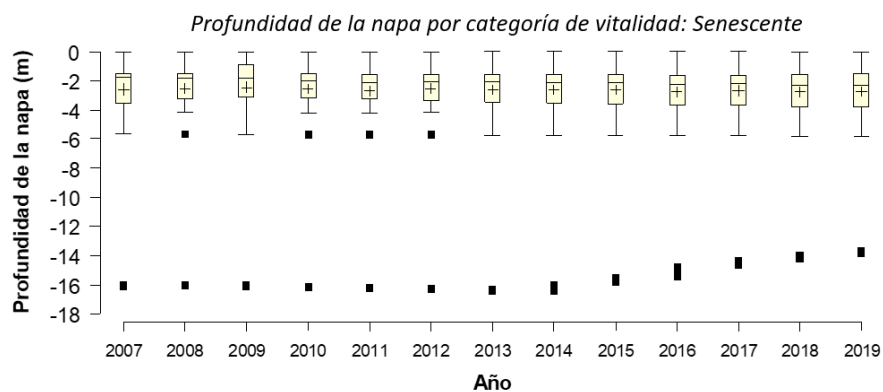


Figura 6-13. Variación de la profundidad de la napa por categoría de vitalidad, desde el año 2007 al 2019.

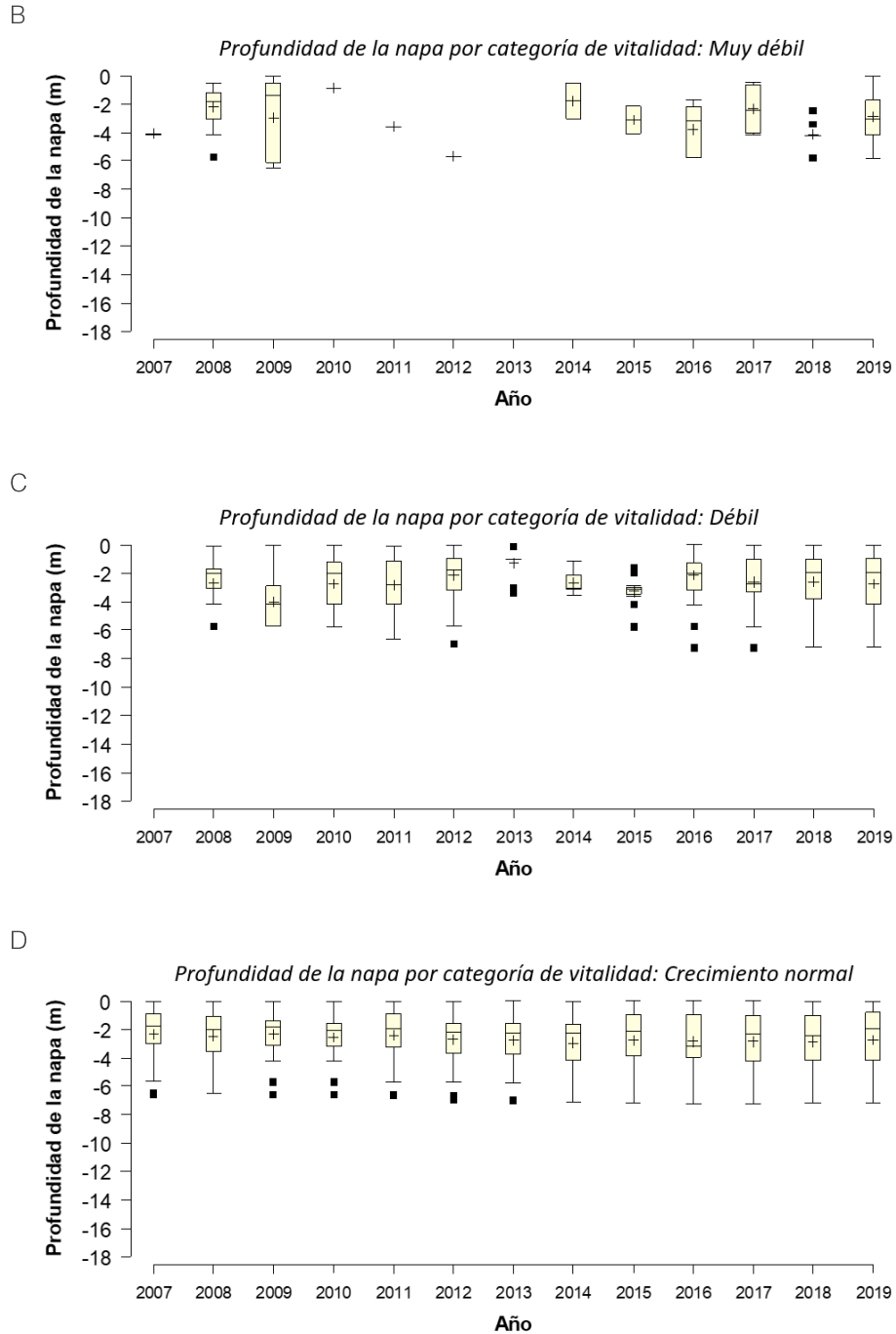


Figura 6-13. Variación de la profundidad de la napa por categoría de vitalidad, desde el año 2007 al 2019.

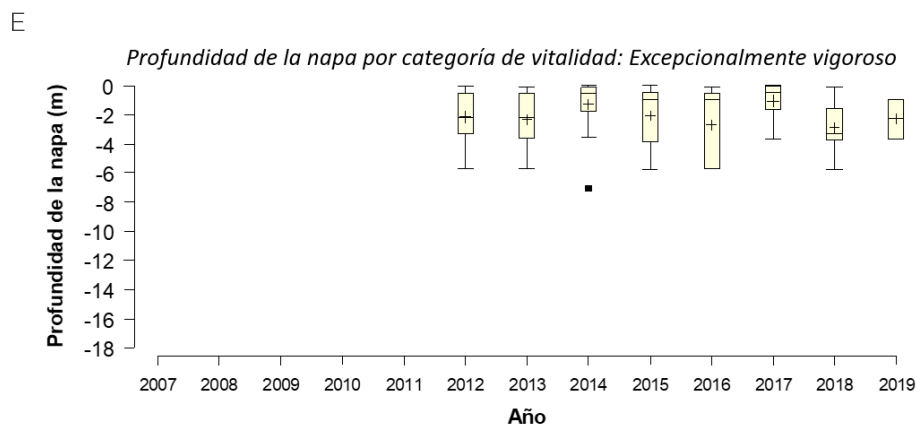


Figura 6-13. Variación de la profundidad de la napa por categoría de vitalidad, desde el año 2007 al 2019.

7. CONCLUSIONES

El monitoreo de contenido de humedad gravimétrico en muestras de suelo, durante el 2019 se vio afectado por la acción protocolo de ingreso a los sectores 4, 5 y 7 de la Reserva Nacional Los Flamencos, el que impidió el acceso a las parcelas asociadas a los pozos de monitoreo L7-7 y 1027 durante las prospecciones de abril y octubre, quedando sin datos estos periodos. La medición de la profundidad de ubicación de la napa freática también se vio afectada por el protocolo, no pudiendo ingresar a medir el pozo L7-7 en los meses de abril, julio y octubre.

Considerando lo antes mencionado, en el 50% de las parcelas muestreadas durante la temporada 2019 registró una disminución promedio del contenido de humedad del suelo del orden de 0,028 g/g respecto del año base (2007). El 50% de las parcelas mostraron variaciones positivas del orden de 0,113 g/g.

La profundidad de ubicación de la napa aumento en 15 de los 18 pozos monitoreados, salvo en los pozos L4-3 y L7-14 donde la profundidad disminuyó respecto al año base (2007). Además, se observó que la napa en el pozo L3-5 se muestra somero este año (hecho frecuente en los 13 años de monitoreo). En promedio, el aumento de la profundidad de la napa y resultante disminución del nivel freático alcanzó 0,28 m. El máximo y mínimo aumento de profundidad de napa se registró en el pozo L3-15 y pozo L2-25 respectivamente.

Tanto el CHS como profundidad de la napa freática, no presentan relaciones aparentes, dado que el aumento o disminución del nivel freático no se ve reflejado en el contenido de humedad de las muestras de suelo. Los puntos de muestreo cuyas napas se ubican a menos de dos metros de profundidad registraron comportamiento variable (aumento y disminución) del CHS respecto al año base.

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

Respecto a la vegetación, este año de monitoreo se vio afectado por el aluvión que descendió de la quebrada de Camar, afectando la totalidad de la parcela asociada al pozo de monitoreo L3-3 y parcialmente las parcelas L3-5 y L3-15 (en total 24 individuos de *Tessaria absinthioides* y un ejemplar de *Atriplex atacamensis* dañados permanentemente). Y el Protocolo de Ingreso a los Sectores 4, 5 y 7 de la Reserva Nacional Los Flamencos, que impidió el monitoreo de las parcelas adyacentes a los pozos L7-7 y 1027, durante el segundo y cuarto trimestre del año (abril y octubre).

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

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

8. REFERENCIAS

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