

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**PROPIEDADES QUÍMICAS DE SUELO EN LÍNEAS DE PIEDRA CON  
*Atriplex nummularia* Lindl. Y APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL DE CAPRINO EN  
UNA LADERA DEGRADADA DE LA REGIÓN DE COQUIMBO**

**CAMILA PAZ GACITÚA FEFER**

**SANTIAGO – CHILE**

**2017**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**Memoria de Título**

**PROPIEDADES QUÍMICAS DE SUELO EN LÍNEAS DE PIEDRA CON  
*Atriplex nummularia* Lindl. Y APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL DE CAPRINO EN  
UNA LADERA DEGRADADA DE LA REGIÓN DE COQUIMBO**

**SOIL CHEMICAL PROPERTIES AT STONE LINES WITH *Atriplex nummularia*  
Lindl. AND GOAT MANURE APPLICATIONS ON A DEGRADED HILLSIDE AT  
THE COQUIMBO REGION**

**CAMILA PAZ GACITÚA FEFER**

**SANTIAGO – CHILE**

**2017**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**PROPIEDADES QUÍMICAS DE SUELO EN LÍNEAS DE PIEDRA CON  
*Atriplex nummularia* Lindl. Y APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL DE CAPRINO EN  
UNA LADERA DEGRADADA DE LA REGIÓN DE COQUIMBO**

**Memoria para optar al Título Profesional de:  
Ingeniera Agrónoma**

**CAMILA PAZ GACITÚA FEFER**

<b>Profesores Guías</b>	<b>Calificaciones</b>
Sr. Manuel Casanova P. Ingeniero Agrónomo, M.S.	7,0
Sra. Yasna Tapia F. Ingeniero Alimentos, Dra.	6,6
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Sr. Ian Homer B. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,5
Sra. Carmen Prieto D. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	6,7
<b>Colaborador</b>	
Osvaldo Salazar G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	

**SANTIAGO – CHILE**

**2017**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco al Departamento de Ingeniería y Suelos, y sus docentes, por las oportunidades y herramientas que contribuyeron a mi formación profesional. A mis profesores guías y colaboradores, por el apoyo constante y preocupación mostrada durante todo el proceso de desarrollo de esta memoria.

Agradezco también a cada una de las personas que conocí durante este largo camino; a quienes estuvieron desde el inicio, amigos y amigas, que fueron fundamentales y estarán para siempre en mi vida; y a quien llegó después, para brindarme su apoyo y amor en todo momento.

Por último, agradezco a mi familia y en especial a mis padres, por su entrega absoluta, amor y consejos que nunca faltaron.

*En especial, para el pequeño ser de luz  
que me acompaña desde ahora y para siempre.*

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
Objetivos .....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos .....	5
MATERIALES Y MÉTODO .....	6
Sitio de estudio .....	6
Tratamientos y diseño del experimento.....	7
Metodología.....	8
Evaluación de suelo y análisis químico .....	8
Caracterización vegetal y contenido de nutrientes en la planta .....	9
Diseño y análisis estadístico.....	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	10
Caracterización inicial del suelo y del estiércol de caprino .....	10
Propiedades químicas del suelo.....	12
Variables alométricas de la planta y análisis químico.....	17
CONCLUSIONES .....	20
BIBLIOGRAFÍA .....	21
APÉNDICE I.....	28
APÉNDICE II .....	29

## RESUMEN

El presente estudio busca evaluar los eventuales cambios en las propiedades químicas de un suelo en condición de ladera con severos signos de degradación, sometido a un sistema de cosecha de agua de lluvia (líneas de piedra). Durante el año 2011, se construyeron 3 líneas de piedra junto con el establecimiento de *Atriplex nummularia* Lindl. y aplicación de estiércol de caprino ( $4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Para dos temporadas, 2014 y 2015, se evaluaron pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y macronutrientes totales (NPK); además se determinó el crecimiento (altura y masa seca total) y NPK tanto en hoja como en tallo de las plantas. El estiércol en general mostró un aumento significativo pero temporal en el pH, el contenido de MO y NPK evaluados en los suelos. Además, se observaron incrementos de CE en la superficie del suelo, siendo asociados a la caída de las hojas de la planta. Se aprecia un menor crecimiento de *A. nummularia* bajo la línea de piedra y, aunque sin diferencias significativas, el crecimiento fue levemente mayor en el tratamiento con estiércol animal, al igual que para los NPK medidos en la planta. El mayor crecimiento vegetal sobre la línea de piedra, contribuye directamente a la protección del suelo contra los procesos de erosión dominantes. Además, la incorporación del estiércol de caprino generó un mejoramiento en las propiedades químicas de suelo evaluadas, pero su efecto al ser temporal determina que es necesario considerar un plan de aplicaciones periódicas para obtener un efecto prolongado en el tiempo.

**Palabras clave:** líneas de piedra, estiércol de caprino, *Atriplex nummularia*.

## ABSTRACT

The present study aims to evaluate the possible changes in soil chemical properties in a hillside condition with severe degradation signs, subjected to a rainwater harvesting system (stone lines). During 2011, 3 stone lines were built together with the establishment of *Atriplex nummularia* Lindl. and goat manure applications ( $4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). For two seasons, 2014 and 2015, pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM) and total macronutrients (NPK); in addition, the plant growth (height and total dry mass) and NPK were determined in leaf and stem. Manure in general showed a significant but temporary increase in pH, MO and NPK content evaluated in soils. In addition, EC increases were observed in the soil surface, being associated with the fall of the leaves of the plant. Lower growth of *A. nummularia* low stone line is appreciated although no significant differences, the growth was slightly higher in the treatment with animal manure, as well as for the NPK measured in the plant. The greater vegetal growth on the stone line, contributes directly to the soil protection against erosion processes dominant. In addition, the incorporation of goat manure generated an improvement in soil chemical properties evaluated, but its effect to be temporary determines that it is necessary to consider a regular plan for a prolonged effect in time applications.

**Key words:** stones lines, goat manure, *Atriplex nummularia*.

## INTRODUCCIÓN

La degradación de suelos es un fenómeno de gran importancia tanto en el ámbito nacional como internacional, definiéndose como un proceso continuo que conlleva al deterioro del suelo para desempeñar sus funciones básicas. Uno de los principales tipos de degradación de suelos es la erosión, destacando la hídrica como la más amenazante a nivel mundial, ya que afecta alrededor de 1.100 millones de hectáreas de superficie productiva del planeta (56%) (Blanco y Lal, 2008). En Chile, debido a la geomorfología compleja y el régimen estacional de lluvias concentradas en invierno, la situación no es muy diferente, estimándose que el área afectada por problemas de erosión es de 36,8 millones de hectáreas, equivalente al 49% de la superficie nacional (CIREN, 2010).

En regiones áridas o semiáridas, los procesos erosivos se intensifican; precipitaciones poco frecuentes, pero de alta intensidad, determinan un alto potencial de escorrentía de agua y sedimentos, especialmente cuando el suelo carece de protección vegetal. De acuerdo a CIREN (2010), la Región de Coquimbo presenta los mayores problemas de erosión a nivel país (84% de su superficie); más aún, si se consideran solo los niveles severos y muy severos, un 65% de la Región estaría erosionada. Si bien la ganadería caprina desarrollada en la zona es uno de los principales factores que inciden en la actual situación de los suelos de la Región, la degradación de sus recursos naturales tiene también origen en un conjunto de eventos históricos y de uso (Morales y Parada, 2005).

En relación a la población rural de la Región de Coquimbo, se estima que el 51% de ella se agrupa en Comunidades Agrícolas de subsistencia (Castillo, 2003). El elevado nivel de pobreza de sus habitantes y la consiguiente falta de tecnología, derivan en una baja productividad y deterioro del suelo y la vegetación. Dicho escenario ha generado durante muchos años un círculo vicioso, donde el bajo ingreso económico determina más pobreza, la que finalmente impide el uso eficiente del sistema y no permite alcanzar el potencial productivo de las explotaciones agrícolas y ganaderas (Ramírez, 2003; INDAP, 2008). Frente a esta situación, resulta imprescindible adoptar medidas de conservación y realizar un uso sustentable de los recursos en conjunto con las Comunidades Agrícolas, a fin de mitigar los efectos de la degradación de suelos y la desertificación de la Región.

Para contrarrestar esta situación, sobre la base de aumentar la cobertura de los suelos, se han establecido especies tolerantes a condiciones adversas en las áreas degradadas, siendo el arbusto forrajero *Atriplex nummularia* Lindl. el más utilizado en la Región (Medina, 2006; Iglesias y Taha, 2010). La adaptabilidad de esta especie a periodos de sequía, resistencia a la defoliación y buena recuperación post-pastoreo son algunas de las características que han llevado al éxito de su establecimiento en la zona (Lailhacar y Torres, 2001). Estudios realizados en África, informan que *A. nummularia* es un arbusto adecuado para la revegetación de áreas salinas, y constituye una buena fuente de forraje para los animales, motivo por el cual también se ha utilizado en proyectos para combatir la desertificación (Aganga *et al.*, 2003; Mulas y Mulas, 2004).

Sin embargo, y a pesar que esta especie es una de las más productivas de su género, la disponibilidad de agua genera fluctuaciones importantes en su productividad (Meneses y Squella, 1996), por cuanto precisa de medidas en este sentido que favorezcan su establecimiento y sustentabilidad en el tiempo, a través de un manejo eficiente del agua, el suelo y el cultivo (Abu-Zanat *et al.*, 2004).

En este contexto, diversos autores a nivel mundial han propuesto la incorporación de técnicas de cosecha de aguas de lluvia para resolver los problemas de escasez hídrica (Mupangwa *et al.*, 2006; Vancampenhout *et al.*, 2006; Al-Seekh y Mohammad, 2008; Nagano *et al.*, 2011; Oweis *et al.*, 2012; Zougmore *et al.*, 2014). La cosecha de aguas se define como una técnica de recolección de la precipitación, o en su defecto de la escorrentía generada, para su posterior almacenamiento y uso productivo (Critchley y Siegert, 1991). Tradicionalmente, estas técnicas han sido implementadas y desarrolladas por agricultores de zonas áridas y semiáridas del mundo, con el fin de aumentar la cantidad de agua disponible para la producción de cultivos y crecimiento de árboles (Denison y Wotshela, 2009; Oweis y Hachum, 2009). Reij *et al.* (1988) indican que las principales ventajas de la cosecha de aguas es su sencillez y bajo costo, por lo tanto son más fácilmente replicables y adaptables a diversos lugares.

Entre las técnicas de cosecha de aguas, las líneas de piedra (stone walls/contour stone bunds/stone lines) consisten en pequeños muros de fragmentos de roca que se ubican en laderas, de manera perpendicular a la pendiente y a lo largo de una curva de nivel. Son eficaces en la recuperación de suelos de laderas inclinadas, ya que interceptan de manera directa la escorrentía, reduciendo el gradiente de pendiente y mejorando la infiltración del agua al suelo (Gebremichael *et al.*, 2005). Además, generan terrazas de formación lenta, pues los sedimentos movilizados se acumulan sobre ellas (Vancampenhout *et al.*, 2006). Si bien Gebremichael *et al.* (2005) señalan que la intercepción de suelo movilizado por la erosión fue de un 68%, sería posible aumentar esta cifra aún más, si las características técnicas de las líneas de piedra y los sistemas de mantención fueran mejoradas.

En particular, para el género *Atriplex* numerosos estudios (Abu-Zanat *et al.*, 2004; Saoub *et al.*, 2011; Ali y Yazar, 2007) informan que la utilización de sistemas de cosecha de aguas ha tenido un efecto positivo en la biomasa del arbusto. La mayor cantidad de agua disponible aumenta la tasa de supervivencia y el establecimiento de las plantas, y además potencian la producción del forraje arbóreo en condiciones climáticas semiáridas. No obstante, es posible que la cantidad de agua recolectada sea limitada por la baja capacidad de almacenamiento de agua del suelo (Tubeileh *et al.*, 2009). Debido a esto, es necesario seguir un enfoque integrado que contemple tanto el manejo hídrico como edáfico de los recursos.

En general, los suelos en zonas áridas y semiáridas (Aridisoles, por ejemplo) poseen una limitada estabilidad estructural y una baja capacidad de retención de agua a nivel del perfil, debido básicamente a los bajos niveles de materia orgánica. Según esto, es conveniente la utilización de enmiendas orgánicas como estiércol caprino, frecuentemente disponible en la zona, para mejorar las propiedades del suelo tales como el contenido de materia orgánica, la

estabilidad estructural, la capacidad de retención de agua y la fertilidad, entre otras (Casanova *et al.*, 2013).

En consecuencia, la aplicación conjunta de estas metodologías constituiría una alternativa promisorio para el éxito en el establecimiento de la cobertura vegetal, permitiendo una mayor protección del suelo y otras ventajas más, tales como el mejoramiento de la fertilidad, la acumulación de carbono del suelo y la disminución de la degradación de zonas desérticas (Salazar y Casanova, 2010).

Finalmente, se plantea como hipótesis que la integración de técnicas de cosecha de aguas de lluvia, aumento de cobertura vegetal e incorporación de enmiendas orgánicas al suelo, constituye una alternativa promisorio en laderas de zonas áridas o semiáridas con problemas avanzados de degradación de sus suelos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto de una cobertura vegetal (*Atriplex nummularia* Lindl.) y la aplicación de estiércol de caprino en las propiedades químicas de un suelo sometido a cosecha de agua (líneas de piedra), en una ladera degradada de la Región de Coquimbo.

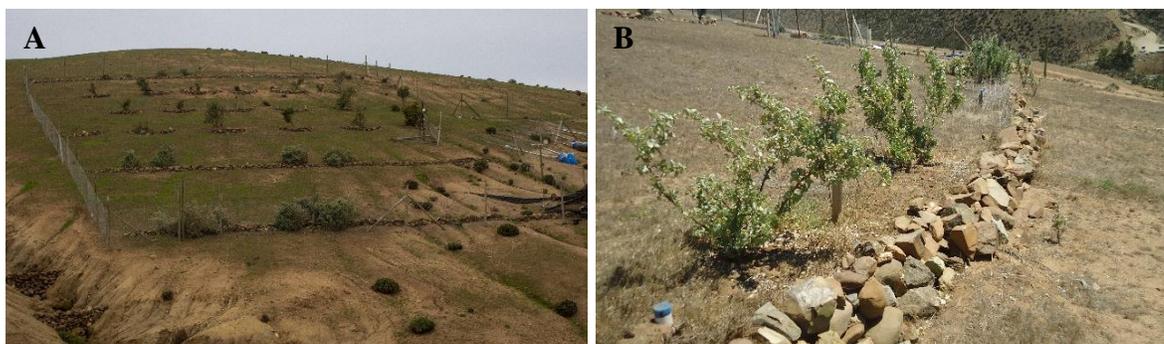
### **Objetivos específicos**

1. Evaluar los cambios en las propiedades químicas del suelo al cabo de una temporada (marzo 2014 y marzo 2015).
2. Evaluar los cambios en variables biométricas y contenido de nutrientes en la biomasa aérea de *A. nummularia* Lindl., al cabo de una temporada (marzo 2014 a marzo 2015).

## MATERIALES Y MÉTODO

### Sitio de estudio

El estudio se desarrolló en la comuna de Canela, Provincia de Choapa, IV Región de Coquimbo ( $31^{\circ}26'S - 71^{\circ}33'O$ ), en un sitio perteneciente a la Comunidad Agrícola Angostura de Gálvez, la cual comprende una superficie total de 1.503 ha, con 30 comuneros adscritos. Este sector corresponde a una unidad demostrativa de prácticas asociadas al Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios, establecida por un convenio entre del Ministerio de Agricultura y la Universidad de Chile (Figura 1).



**Figura 1.** Vista general del ensayo (A) y vista de una línea de piedra con plantas (B).

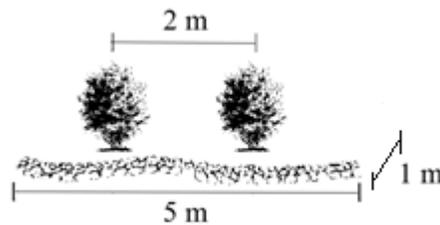
La Comunidad se ubica en el interfluvio costero de las cuencas de los ríos Choapa y Limarí, entre cerros y serranías situados a menos de 1.500 msnm, con gradientes de pendiente que varían entre 30 y 50% (Casanova *et al.*, 2011). El suelo es de origen coluvial de composición granítica. Se define como un suelo no arable, con limitaciones muy severas producto de la erosión, cubierto por cárcavas profundas, con exposición de subsuelo e incluso del material de origen (granito meteorizado). No se encuentra asociado a una Serie de suelos en particular, sino que se incluye dentro de un Misceláneo Cerro, localizado en el extremo norte del Estudio de suelos del Valle del Río Choapa y sus Tributarios (CNR, 1993).

El clima de la zona es semiárido, con alta frecuencia de nublados y neblinas (Uribe *et al.*, 2012). De acuerdo a datos registrados por una estación meteorológica ubicada en el sitio de estudio, durante los años 2013-2014, la precipitación media anual fue de 92 mm, concentrada principalmente en los meses de mayo y junio; además, la temperatura media anual fue de  $13,7^{\circ}\text{C}$ , donde la temperatura máxima del mes de enero fue de  $20,1^{\circ}\text{C}$  y la mínima en el mes de junio fue de  $8,5^{\circ}\text{C}$ .

## Tratamientos y diseño del experimento

Durante el año 2011, se trazaron 3 curvas de nivel con una equidistancia de 2 m y separadas a una distancia inclinada aproximada de 12 m, en la zona media y baja de una ladera con evidencias de degradación de suelos. Sobre las curvas trazadas, se realizaron zanjas de 10 cm de profundidad y 20 cm de ancho, las que posteriormente fueron llenadas con fragmentos de roca recolectados del lugar, para lograr una línea continua de piedras de altura aproximada de 30 cm sobre el suelo. Además, en la parte superior del sitio del ensayo, también a una distancia inclinada de 12 m se construyó una zanja de desviación con el fin de interceptar el escurrimiento superficial y así homogeneizar las zonas de aporte a cada línea de piedra.

Se delimitaron las unidades experimentales, las que comprenden una superficie rectangular de 5 m<sup>2</sup> con dos plantas de *Atriplex nummularia* Lindl., distanciadas a 2 m entre sí (Figura 2). Al momento del establecimiento de la planta y de acuerdo a los tratamientos, se incorporó al suelo de manera manual estiércol de caprino en dosis de 4 Mg ha<sup>-1</sup> en los primeros 15 cm de profundidad, el cual fue obtenido en el sector. Las plantas solo recibieron un riego inicial para su establecimiento, quedando desde entonces en condiciones de secano y sin aporte de nutrientes.

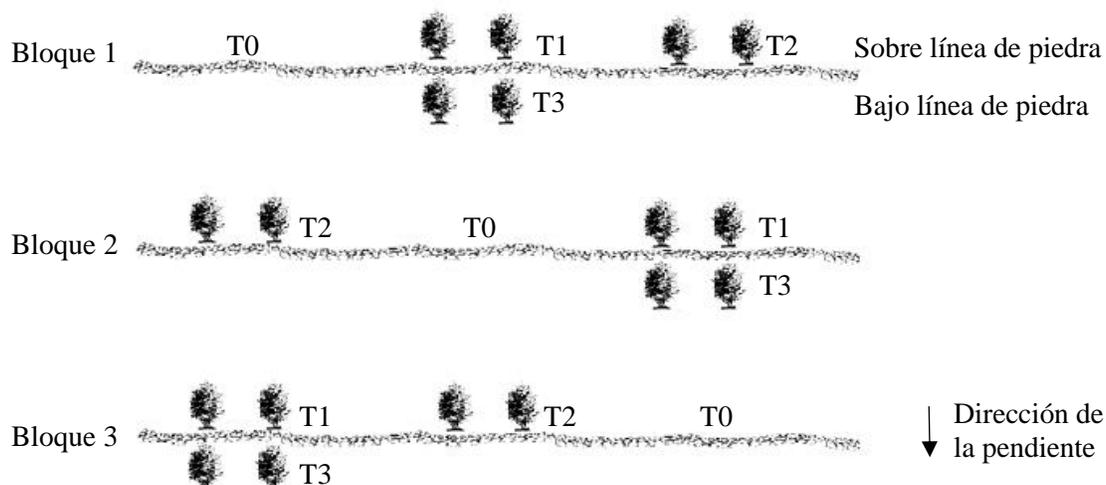


**Figura 2.** Dimensiones de la unidad experimental.

Se evaluaron 3 tratamientos y un testigo (Cuadro 1) con 3 repeticiones cada uno, en un diseño en bloque completamente aleatorizado, determinando un total de 12 unidades experimentales (Figura 3).

**Cuadro 1.** Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Descripción
T0	Testigo, suelo sobre la línea de piedra
T1	Suelo sobre la línea de piedra con <i>Atriplex nummularia</i>
T2	Suelo sobre la línea de piedra con <i>A. nummularia</i> y estiércol de caprino
T3	Suelo bajo la línea de piedra con <i>A. nummularia</i>



**Figura 3.** Distribución espacial de los tratamientos.

El testigo (T0) no incluye plantas ni aplicación de estiércol de caprino, mientras que los tratamientos T1 y T2 ambos poseen 2 plantas de *A. nummularia* y se ubican en la parte superior de la línea de piedra, sin y con aplicación de estiércol, respectivamente. El tratamiento T3 se ubica específicamente bajo el tratamiento T1 y se utilizó únicamente para ver el efecto que se genera bajo la línea de piedra.

## Metodología

### Evaluación de suelo y análisis químico

Se realizó una caracterización física del suelo, de acuerdo a las metodologías descritas por Sandoval *et al.* (2012) y contempló las siguientes evaluaciones: textura por el método de Bouyoucos, densidad aparente por método del cilindro y densidad de partículas por el método del picnómetro. Se determinó el contenido de agua del suelo (33 y 1500 kPa), por cama de arena, olla y plato de presión. Además, se determinó el contenido inicial de materia orgánica por calcinación, de acuerdo a Sadzawka *et al.* (2006).

El análisis químico se realizó para los meses de marzo de 2014 y marzo de 2015. En este período se extrajeron muestras compuestas de suelo de los primeros 15 cm de profundidad, por cada unidad experimental.

Las propiedades evaluadas en el suelo fueron pH en agua (suspensión 1:2,5 (p/v)) mediante potenciometría, conductividad eléctrica en extracto saturado (CE<sub>e</sub>) por conductivimetría, contenido de materia orgánica (MO) mediante calcinación (360°C), macronutrientes totales

(N, P, K) mediante titulación, colorimetría con azul de molibdeno y espectrofotometría de absorción atómica (EAA), respectivamente, previa digestión ácida con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Los métodos utilizados se encuentran descritos en Sadzawka *et al.* (2006).

### **Caracterización vegetal y contenido de nutrientes en la planta**

Para el análisis del tejido vegetal, en marzo 2014 y marzo 2015, se extrajeron tres muestras compuestas de hoja y tallo de cada planta, en las que se determinó el contenido total de N, P y K de acuerdo a los métodos descritos en Sadzawka *et al.* (2007), previa digestión ácida con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Además, se midió una temporada de crecimiento (marzo 2014 - marzo 2015) de *A. nummularia* (altura y diámetro de copa), a fin de estimar la biomasa aérea total (materia seca). Para esto, Meza (1997) probó distintos modelos alométricos de tipo lineal, logarítmico, exponencial y potencial en *Atriplex canescens*, de los cuales eligió el modelo potencial utilizando como variable independiente el diámetro de copa promedio para la predicción de biomasa aérea. Otros autores han determinado distintos modelos de estimación (Castañuela, 2013), pero el ajuste calculado es inferior al obtenido por Meza (1997) ( $R^2=0,95$ ), por lo que se consideró pertinente la utilización de este modelo y se presenta a continuación.

$$MST = 0,0375 \times (DP)^{2,21993} \quad (1)$$

donde *MST* es la masa seca total (g) y *DP* es el diámetro promedio de la copa (cm).

Los análisis de suelo, estiércol de caprino y tejido vegetal se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos y el Laboratorio de Química de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

### **Diseño y análisis estadístico**

El estudio se realizó de acuerdo a un diseño en bloques completamente aleatorizado con estructura factorial. Se consideraron dos factores: el factor tiempo de muestreo con dos niveles (año 2014 y 2015); y el factor tratamiento con cuatro niveles (T0, T1, T2 y T3). Para efectos del procesamiento de los datos, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan ( $\alpha \leq 5\%$ ) para la determinación de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y ambas fechas de medición. También se realizó un análisis de componentes principales mediante un gráfico bliplot para suelo y planta, y la asociación entre variables mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson ( $\alpha \leq 0,05$ ). El análisis fue desarrollado a través del software para análisis estadístico Infostat.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización inicial del suelo y del estiércol de caprino

Las características geomorfológicas y climáticas del sitio estudiado, evidencian una baja intensidad en los procesos de formación del suelo. El escaso desarrollo del perfil y el alto índice de erosión actual y potencial del suelo han incidido en la escasa vegetación que es posible encontrar en la zona. En el Cuadro 2 se indican algunas propiedades físicas y el contenido de materia orgánica inicial del suelo.

**Cuadro 2.** Propiedades físicas y contenido de materia orgánica del suelo superficial. (Carrasco, 2017)

arcilla	limo	arena	$W_{33kPa}$	$W_{1500kPa}$	Da	Dr	MO
----- (%) -----					--- ( $Mg\ m^{-3}$ ) ---		(%)
11,8	16,7	71,5	14,64	5,91	1,61	2,72	1,39

$W_{33kPa}$ : retención de agua a capacidad de campo;  $W_{1500kPa}$ : retención de agua a punto de marchitez permanente; Da: Densidad aparente; Dr: Densidad real; MO: materia orgánica.

La textura del suelo superficial del ensayo es bastante homogénea y gruesa, correspondiendo a una clase textural franco arenosa. Navarro (2014) indica que en general la estructura del suelo es bastante débil, y por debajo de los 40 cm tiende a ser masiva. La cantidad de agua retenida por el suelo (8,73%) es correspondiente con los valores sugeridos por Warrick (2002), sin embargo, siendo valores tan bajos, se presenta como una limitante seria para el desarrollo de cobertura vegetal.

La densidad aparente (Da), como una propiedad que al considerar el volumen total del suelo se relaciona directamente con el espacio poroso, depende de algunas otras propiedades tales como la textura y estructura del suelo. Esto implica mayor sensibilidad a cambios en el contenido de materia orgánica (MO) y al manejo del suelo, siendo usualmente utilizada como parámetro para evaluar la calidad del mismo (Warrick, 2002). Si bien, la Da calculada se encuentra dentro de los rangos esperados (Sandoval *et al.*, 2012) para horizontes franco arenosos (1,4 y 1,8  $Mg\ m^{-3}$ ) sigue siendo un valor elevado, pudiendo presentar restricciones para el crecimiento de las raíces de las plantas (Casanova *et al.*, 2006). Si se compara con valores representativos de la zona de estudio (Casanova *et al.*, 2010), los resultados obtenidos (1,61  $Mg\ m^{-3}$ ) son mayores a los consultados (1,43  $Mg\ m^{-3}$ ).

En cuanto a la densidad real (Dr) o de partículas al ser una propiedad no dependiente del espacio poroso, se atribuye fundamentalmente a la composición mineralógica del material parental. Conforme a Tenzer *et al.* (2011), para suelos de origen graníticos, el valor se encuentra dentro de los rangos esperados (2,33-2,94  $Mg\ m^{-3}$ ).

En el Cuadro 3, se presentan las propiedades químicas evaluadas en la enmienda orgánica utilizada.

**Cuadro 3.** Propiedades químicas del estiércol de caprino (Navarro, 2014).

pH <sub>agua</sub> (1:2,5)	CE <sub>e</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	MO (%)	N <sub>disponible</sub>	P <sub>disponible</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	K <sub>disponible</sub>
8,7	6,38	16,5	23	368	5214 *

\*En base a materia seca. CE<sub>e</sub>: conductividad eléctrica.

Según los datos obtenidos por Navarro (2014), el pH del estiércol se encuentra dentro de un rango muy alcalino y con conductividad eléctrica elevada. Al respecto, si bien no existen cifras estandarizadas de acuerdo a los valores que debería presentar una enmienda, valores indeseables de algunas de sus propiedades deberían evitarse. Las variaciones de estas cifras se deben principalmente a que son propiedades dependientes de diversos factores que comprometen, por ejemplo, la edad del animal, las características de su dieta o el sistema de manejo, así como también el procesamiento del material (MAFRD, 2013). En cuanto a la alimentación, si la dieta del ganado corresponde en su mayoría a vegetación halófila, es probable que el contenido de sales disueltas en sus deposiciones sea mucho mayor. De acuerdo a esto, en suelos con problemas de salinidad la aplicación de esta enmienda podría acrecentar esta característica y restringir el crecimiento de especies no tolerantes. Sin embargo, MAFRD (2015) relacionan la variabilidad de la CE en estiércol de cerdo con el contenido de N inorgánico de la muestra, mostrando una baja correlación de la CE con Na y Cl, por lo tanto, la CE del estiércol podría no ser una buena medida de evaluación del efecto de la enmienda en la salinidad del suelo.

Respecto al contenido de materia orgánica (MO), es bastante bajo en comparación con los datos obtenidos por otros autores (Moral *et al.*, 2005; Azeez *et al.*, 2010; Akhtar *et al.*, 2013). Según esto, es posible que las condiciones de almacenamiento de la enmienda y altas temperaturas del sector, hayan favorecido la acción de los microorganismos. Este ambiente sugiere la descomposición del estiércol, implicando pérdidas de MO producto de la descomposición y liberación de C lábil a la atmósfera como CO<sub>2</sub>. Por otro lado, de acuerdo al lugar de almacenamiento, existe una probabilidad de que la enmienda incluyera partículas de suelo sobre el cual se acumuló.

Los valores de N, P y K disponibles en el estiércol también están muy por debajo de los resultados expuestos en otras investigaciones (Maerere *et al.*, 2001; Odedina *et al.*, 2011; Uwah *et al.*, 2014). MAFRD (2015) indica que entre el 50-90% de los nutrientes consumidos en la alimentación del animal son eliminados por las excretas, por ende, es probable que la dieta utilizada implique el menor contenido nutritivo de la enmienda. Además, cabe señalar que las condiciones de almacenamiento también podrían afectar el contenido de nutrientes del estiércol. En el caso del N, al ser un elemento bastante móvil, si estuvo expuesto a cantidades de agua excesivas o sometido a altas temperaturas, parte de este elemento pudo haber sido lixiviado y/o volatilizado, respectivamente.

### Propiedades químicas del suelo

Al evaluar las propiedades químicas del suelo y la interacción entre sus factores, se observó que sólo el pH mostró una acción conjunta entre ellos (Cuadro 4), siendo las demás propiedades independientes entre sí.

**Cuadro 4.** Valores de pH del suelo de acuerdo a la interacción de los factores tiempo y tratamiento.

Tiempo*Tratamiento	pH
2014 T0	7,08 ±0,00 cd
2015 T0	6,79 ±0,00 abc
2014 T1	6,47 ±0,00 a
2015 T1	6,66 ±0,00 ab
2014 T2	6,64 ±0,00 ab
2015 T2	7,33 ±0,00 d
2014 T3	7,26 ±0,00 d
2015 T3	6,97 ±0,00 bcd

Valores medios (±desviación estándar). Medias con una letra común no difieren estadísticamente ( $p>0,05$ ).

No existe una tendencia clara de los resultados en cuanto al factor tiempo o tratamiento, ya que, a excepción del T2, en general los datos se mantuvieron dentro de pH neutros para los dos años sin grandes variaciones entre ellos. Debido a que T2 es el único tratamiento que aumenta su pH significativamente ( $p>0,05$ ) en el tiempo, este resultado se atribuye principalmente a la aplicación del estiércol caprino, el cual fue considerado muy alcalino. Mucheru-Muna *et al.* (2013) reportaron también un incremento en el pH luego de 13 temporadas de cultivo (2004-2011), e indican que podría deberse al efecto amortiguador de los abonos orgánicos, ya que disminuye la actividad de los iones de  $Al^{3+}$  intercambiables en la solución del suelo, por el efecto quelante de las moléculas orgánicas. Subehia *et al.* (2013) observaron el mismo efecto en sus tratamientos con estiércol, sin embargo, Uwah *et al.* (2014) indican que a pesar de que los abonos utilizados fueron alcalinos, durante la descomposición microbiana la liberación de ácidos orgánicos generó la neutralización del estiércol, reduciendo el pH por debajo de los valores iniciales. Por otro lado, varios autores (MAFRD, 2013; Ano y Ubochi, 2007; Akanni y Ojeniyi, 2008; Irshad *et al.*, 2013) agregan que algunos estiércoles poseen altas concentraciones de Ca, Mg y  $CaCO_3$  lo que sumado al aporte de materia orgánica, compensan la acidez producida en el proceso de nitrificación.

Para las demás interacciones, no se encontraron diferencias significativas entre ellas, y sólo el T1 cambió de pH ligeramente ácido a neutro para el año 2015. Por otro lado, en el caso de las otras propiedades de suelo, no se encontró interacción entre los factores tiempo y tratamiento, por este motivo, se evaluó cada uno de los factores de manera independiente (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Propiedades químicas de suelo evaluadas de acuerdo a los factores tiempo y tratamiento.

	CE <sub>e</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	MO ----- (%) -----	N <sub>tot</sub> -----	P <sub>tot</sub> ----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -----	K <sub>tot</sub> -----
<b>Factor tiempo</b>					
2014	6,22 ±3,53 a	1,32 ±0,30 b	0,07 ±0,01 a	27,05 ±3,15 b	200,04 ±2,49 a
2015	6,41 ±3,59 a	1,12 ±0,21 a	0,07 ±0,02 a	19,96 ±3,86 a	200,10 ±2,44 a
<b>Factor tratamiento</b>					
T0	2,68 ±2,54 a	1,12 ±0,30 a	0,06 ±0,02 a	20,97 ±5,20 a	199,44 ±1,68 a
T1	9,74 ±2,82 b	1,13 ±0,20 a	0,07 ±0,01 ab	22,54 ±4,28 a	199,33 ±2,32 a
T2	8,05 ±1,94 b	1,47 ±0,22 b	0,08 ±0,01 c	26,62 ±4,80 b	202,71 ±1,96 b
T3	4,79 ±1,19 a	1,17 ±0,26 a	0,07 ±0,01 bc	23,88 ±5,10 ab	198,79 ±1,82 a

Valores medios (±desviación estándar). Medias con una letra común en sentido vertical no difieren estadísticamente ( $p>0,05$ ).

En relación a la conductividad eléctrica (CE<sub>e</sub>), no hubo variación estadísticamente significativa para el factor tiempo ( $p>0,05$ ), considerándose el suelo para ambos periodos de medición ligeramente salino. En el caso del factor tratamiento, si se encontraron diferencias, donde los valores más elevados se observan en T1 y T2 he indican una condición de suelo fuertemente salino. Por ende, no es posible atribuir este comportamiento a la enmienda orgánica, sino más bien podría vincularse al efecto de la misma planta. Sayed-Hussin (2007) caracterizó los tricomas de las hojas de *A. nummularia*, indicando altas concentraciones de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>, lo que también se ha observado en diferentes especies del genero *Atriplex* (Jáuregui *et al.*, 2014). Asimismo, una proporcionalmente mayor acumulación de sales fue observada por Silva *et al.* (2016) en hojas de *A. nummularia*. Por este motivo, se estima que la caída de las hojas podría generar un efecto salinizante en la superficie del suelo, lugar de donde se extrae la muestra para el análisis químico (Figura 4A). En el caso del T3, este efecto se ve atenuado, y sólo aumenta a moderadamente salino. A pesar de que este tratamiento también posee especie vegetal, el crecimiento de la planta es mucho menor en comparación a las especies ubicadas sobre la línea de piedra (Figura 4B), lo cual podría explicar que a pesar de ser un poco más salino que el testigo, no llegue a los niveles de salinidad de los tratamientos T1 y T2.



**Figura 4.** (A) Hojas de *Atriplex nummularia* acumuladas en la superficie del suelo; (B) De izquierda a derecha, T3 bajo la línea de piedra y T1 respectivamente.

El aumento en el contenido de sales disueltas podría implicar una problemática mayor al considerar la elevada relación de absorción de sodio presente ( $RAS = 13,4$ ) informada por Navarro durante el año 2012 (Navarro, 2014). Conductividades eléctricas del extracto saturado por sobre  $4 \text{ dS m}^{-1}$  y  $RAS$  mayor a 13, clasifican al suelo como salino-sódico, lo que podría implicar un deterioro en las propiedades físicas y químicas del suelo, debido al efecto dispersante del sodio sobre los coloides del mismo. De acuerdo a lo anterior, es necesario monitorear los cationes solubles del suelo, para evaluar si esta condición se mantiene o se ha aminorado producto de la cosecha de agua de lluvia, que eventualmente podría haber tenido un efecto de lavado de sales en el tiempo.

Los resultados obtenidos para el nivel de materia orgánica (MO), revelaron que hubo una tendencia general a la baja en el tiempo, y que en ambas fechas de medición el contenido de MO fue inferior al inicial (1,39%). Por otro lado, la incorporación del estiércol de caprino generó una diferencia significativa en el factor tratamiento ( $p > 0,05$ ), donde T2 es el único que se encuentra por sobre el contenido inicial de MO (1,47%). De acuerdo a esto, diversos autores han investigado el comportamiento del estiércol caprino en el suelo y reportan que a tasas más altas de aplicación ( $15\text{-}20 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) se produce un incremento significativo del pool de carbono orgánico (CO) del suelo (Akanni y Ojeniyi, 2008; Uwah y Eyo, 2014). Sin embargo, otros autores reportaron que dosis de  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  no aportaron más CO que la dosis de  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , similar a la utilizada en el ensayo (Kihanda y Warren, 2012). Asimismo, Kihanda y Warren (2012) evaluaron el comportamiento del suelo durante 9 años, y determinaron que hubo un efecto residual en el CO de hasta 8 años, luego de la última aplicación de estiércol de caprino, mostrando una tendencia decreciente durante el periodo de evaluación, como ocurre en el T2.

La capacidad de los suelos para almacenar la MO está fuertemente relacionada con su contenido de arcilla y limo, por lo tanto, el potencial para su desarrollo en suelos arenosos es bastante limitado (Mucheru-Muna *et al.*, 2013; Doetterl *et al.*, 2015). De esta manera, debido a la relación estrecha entre la textura del suelo y el contenido de MO, la disminución en el factor tiempo podría atribuirse al bajo contenido de arcilla del suelo (11,8%). Algunos

estudios (Mucheru-Muna *et al.*, 2013) indican que la tasa de pérdida anual de CO en suelos arenosos se encuentra en un rango de 5-10% a diferencia de 0,5-2% en suelos arcillosos. En condiciones naturales, el CO del suelo resulta del balance entre la incorporación de material orgánico y la salida de C del suelo en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, erosión y lixiviación (Doetterl *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2008). Por lo tanto, en el caso de los tratamientos, una parte importante del C que ingresó al suelo se pudo mineralizar rápidamente (altas temperaturas y buena aireación) y sólo una pequeña fracción se acumuló como humus estable, sin considerar además la liberación de CO<sub>2</sub> por acción del metabolismo de las raíces de las plantas, lo que llevó a una pérdida de MO en todos los tratamientos (factor tiempo).

En el caso del N<sub>tot</sub>, no se observó variación significativa para el factor tiempo, manteniéndose cifras similares en ambos años de muestreo. No obstante, en el caso de los tratamientos, T2 y T3 se mostraron significativamente mayores que T1 y T0, siendo el testigo inferior a todos los demás. El mayor contenido de N<sub>tot</sub> encontrado en T2 se podría atribuir a la aplicación del estiércol de caprino. De acuerdo a esto, el aporte realizado por la enmienda en el momento de su aplicación (2011) sugiere una rápida liberación del N mineral que quedaría disponible para las plantas y microorganismos, mientras que la fracción orgánica estaría sujeta a la tasa de mineralización del N. En este sentido, uno de los principales factores que afecta la tasa de mineralización es la relación C/N del estiércol, que según varios autores (Maerere *et al.*, 2001; Moral *et al.*, 2005; Watts y Torbert, 2014; Uwah y Eyo, 2014), los valores son bastante variables y fluctúan entre 9 y 18. Bajo estas condiciones, se estima que la incorporación de la enmienda produjo entonces la mineralización de una parte del N, hasta alcanzar un nuevo equilibrio el cual se ve reflejado en el factor tiempo.

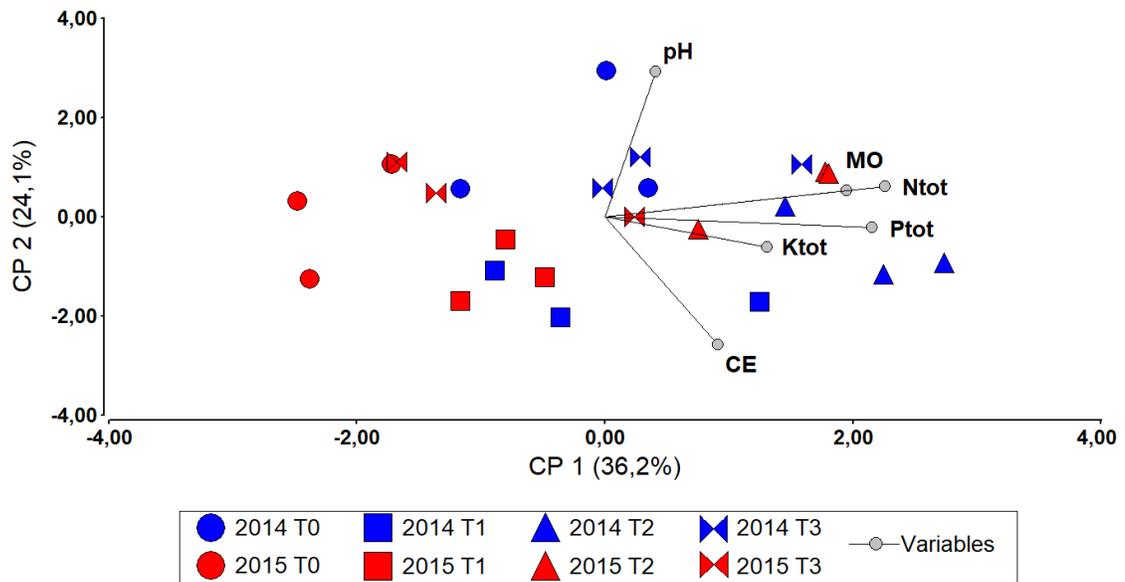
En el caso de los tratamientos T1 y T3, su diferenciación podría estar asociada con la menor cantidad de MO observada en T1 (estadísticamente no significativa). Debido a que la relación C/N es relativamente constante en el suelo, la cantidad de N orgánico depende en gran medida de la cantidad de CO presente, por lo tanto, de la cantidad de MO del suelo (Mucheru-Muna *et al.*, 2013). Consiguientemente, el hecho de que el T3 tuviera mayor contenido de MO podría explicar la diferenciación con T1. Por otro lado, ya que el N es un elemento bastante móvil en el suelo, al no haber cobertura vegetal, ni aplicaciones que contribuyan a elevar el contenido de MO, es de esperar una menor cantidad del elemento en el testigo (T0).

Los resultados de P<sub>tot</sub> sugieren una estrecha relación con el contenido de MO. Como se observa en el factor tiempo, ocurre una disminución significativa al año 2015; en cambio para el factor tratamiento, T2 y T3 presentan mayor contenido de P<sub>tot</sub> que T0 y T1 ( $p > 0,05$ ). Los principales procesos que contribuyen a la dinámica de P en el suelo involucran la absorción por las plantas y su retorno a través de los residuos vegetales y animales, fijación a las superficies de arcillas y óxidos, y el recambio biológico dado por la actividad microbiana (Stevenson y Cole, 1999). Dentro de ellos, la principal contribución a esta dinámica se genera por el recambio de los procesos de mineralización-inmovilización microbianos (Richardson y Simpson, 2011). La MO en el suelo favorece la actividad de los microorganismos en la rizósfera, que a su vez incrementan la solubilidad del P y la acción de enzimas que hidrolizan el fosfato, por lo tanto, contribuye al incremento del P disponible (Uwah *et al.*, 2014). De acuerdo a esto, los resultados obtenidos para el P<sub>tot</sub> se entienden

como una relación directa con el contenido de MO, donde los tratamientos con mayor contenido mostraron mayores concentraciones del elemento, de la misma forma que para el factor tiempo, donde se observó una disminución significativa de la MO al igual que del  $P_{tot}$ .

El contenido de  $K_{tot}$ , al igual que para el N, no presenta variaciones significativas de un año a otro y de acuerdo al factor tratamiento, sólo el T2 mostró un incremento en comparación a los demás ( $p>0,05$ ). En general, en suelos de origen graníticos, no se presentan problemas de disponibilidad de K dada la naturaleza del material parental, por lo que como se muestra en los resultados, los valores son normales y relativamente similares, salvo el T2. Los autores consultados concuerdan que la aplicación del estiércol de caprino incrementa los niveles de K del suelo (Akanni y Ojeniyi, 2008; Mucheru-Muna, 2013; Uwah *et al.*, 2014), y además, Azeez y Van Averbek (2010) informan mayor contenido de K comparado a otras enmiendas de origen animal. Por lo tanto, la incorporación de la enmienda orgánica contribuyó al incremento significativo del  $K_{tot}$  del T2.

En la Figura 5 se observa la variabilidad de los datos a partir de los resultados obtenidos (año y tratamiento) y las variables medidas en el suelo (pH, CE, MO y  $NPK_{tot}$ ).



**Figura 5.** Variabilidad de las propiedades químicas de suelo evaluadas para 4 tratamientos y 2 fechas de medición.

Las componentes principales 1 y 2 (CP 1 y CP 2) explican casi el 60% de la variación de los datos obtenidos en el estudio (36,2% y 24,1%, respectivamente). Las variables observadas, representadas mediante vectores, indican que existe una relación fuerte y directa entre el contenido de MO y los macronutrientes totales del suelo ( $NPK_{tot}$ ), principalmente con  $N_{tot}$ , y que además estas variables no se correlacionan con el pH ni la CE.

En términos generales, en el año 2014 (símbolos azules) se observó mayor asociación de los datos con las variables, en contraste al año 2015 (símbolos rojos). En el caso del T2, los datos tienden a situarse más cercanos a las variables MO y  $NPK_{tot}$ , coincidente con lo presentado anteriormente en el Cuadro 5, que se atribuye principalmente a la incorporación del estiércol de caprino al suelo. No obstante, el comportamiento de los demás tratamientos es más heterogéneo, aunque en el caso de T1 es posible notar mayor cercanía con la variable CE y del T3 con la variable MO.

Por otra parte, en el año 2015 sólo el T2 mantiene una asociación positiva con las variables, y se observa a los demás tratamientos menos correlacionados. El testigo (T0) se mantuvo más alejado durante este periodo que coincidente con los datos analizados en el Cuadro 4, fue el tratamiento que mostró menos desarrollo de las variables, en comparación a los demás tratamientos.

En el Apéndice I se incluyen los coeficientes de correlación lineal ( $r$ ) de Pearson entre las variables medidas en suelo, para ambas fechas de medición.

### Variabes alométricas de la planta y análisis químico

En el Cuadro 6 se presentan las variables altura, masa seca total de la planta (MST) y NPK total medidos en tallo y hoja. No se encontró diferencia significativa para la interacción de los factores tiempo y tratamiento, por lo cual, se presentan de manera independiente.

**Cuadro 6.** Propiedades de *Atriplex nummularia* Lindl. evaluadas de acuerdo a los factores tiempo y tratamiento.

	Altura (cm)	MST (g)	$N_{tot}$ (%)	$P_{tot}$ ----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -----	$K_{tot}$
<b>Factor tiempo</b>					
2014	86,94±32,3 a	657,65±508,9 a	1,69±0,3 a	127,06±24,4 a	615,30±99,3 a
2015	106,33±30,3 a	927,36±701,6 a	1,31±0,5 a	103,57±40,1 a	507,07±198,1 a
<b>Factor tratamiento</b>					
T1	110,50±12,9 b	1099,42±674,1 b	1,58±0,3 a	119,04±19,7 a	556,64±61,9 a
T2	117,17±11,8 b	1123,43±247,3 b	1,61±0,3 a	121,33±11,2 a	607,82±57,4 a
T3	62,25±31,8 a	154,67±138,8 a	1,31±0,7 a	105,58±57,8 a	519,82±277,8 a

Valores medios (±desviación estándar). Medias con una letra común en sentido vertical no difieren estadísticamente ( $p>0,05$ ). MST, masa seca total estimada de la ecuación definida por Meza (1997).

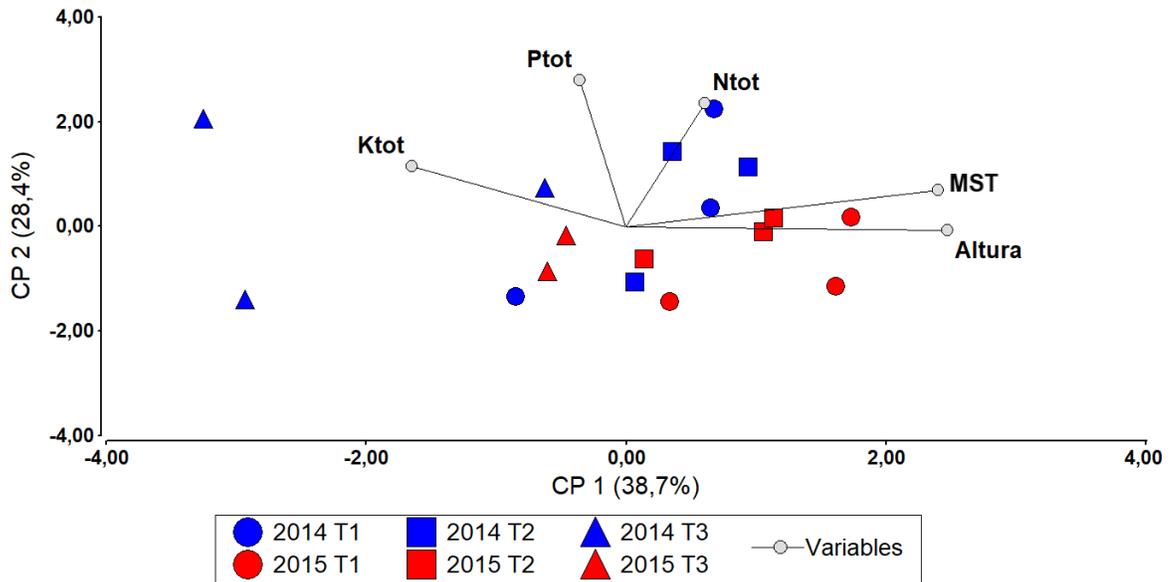
En general, para todas las propiedades evaluadas, no se evidencia variación significativa en el tiempo. No obstante, pese a los resultados de la prueba estadística, se infiere un claro crecimiento de la especie vegetal después de un año, de acuerdo a la altura y MST. Por otro lado, también se observa que existe una disminución para todos los macronutrientes evaluados.

Para el caso de los tratamientos, las especies con menor crecimiento se encuentran en el T3, por su ubicación bajo la línea de piedra y con 33% de mortalidad de plantas (2 plantas menos el año 2015). La mayor disponibilidad de agua sobre la línea de piedra, habría influenciado el mayor crecimiento de los tratamientos T1 y T2 (Oweis y Hatchum, 2009; Vancampenhout *et al.*, 2006; Vargas, 2017). Los resultados expuestos por Rodrigues de Souza *et al.* (2012) muestran que la altura, el diámetro y la biomasa de *A. nummularia*, fueron sensibles a los niveles de humedad del suelo, donde los mejores resultados fueron a 75% y 95% de la capacidad de campo. Por otro lado, el T2 a pesar de tener incorporado estiércol de caprino, sólo muestra un leve aumento en la altura y MST en comparación al T1 que no tiene ningún tipo de aportes. Para los macronutrientes la tendencia sigue siendo la misma, donde los valores más bajos se observan en el T3, seguidos por T1 y por último el T2, aunque la prueba estadística no arrojó diferencias entre ellos.

Ciertamente que el uso de técnicas de cosecha de agua ha permitido el desarrollo de cultivos en condiciones limitantes, lo que es documentado por diversos autores de todas partes del mundo (Mupangwa *et al.*, 2006; Vancampenhout *et al.*, 2006; Tubeileh *et al.*, 2009; Nagano *et al.*, 2011; Oweis *et al.*, 2012; Zougmore *et al.*, 2014). La acción conjunta de las líneas de piedras y la aplicación de estiércol animal, si bien debería generar un sinergismo en las propiedades evaluadas, no se observaron diferencias significativas en los resultados obtenidos. Nweke *et al.* (2013) observaron que la incorporación de estiércol de caprino al suelo generó un aumento significativo en la altura de la planta de okra (*Abelmoschus esculentus*) y su crecimiento de flores, ramas y hojas, además también aumentó la cantidad de frutos por planta, diámetro y su masa. De acuerdo a esto, se infiere que la poca diferenciación del T2, podría ser resultado de la baja tasa de descomposición de la enmienda, ya que al momento de la toma de muestras aún era posible encontrar restos del estiércol en el suelo; por lo tanto, la liberación pasiva de los nutrientes al medio, no reflejaría un crecimiento significativo del T2. De esta misma forma, no se observa diferencia entre los tratamientos para los macronutrientes medidos en las hojas y tallos de la planta, ni variaciones entre los años de muestreo. No obstante, Akanni y Ojeniyi (2008) informan que a mayores dosis de estiércol de caprino (15-20 Mg ha<sup>-1</sup>) hubo un aumento significativo en los contenidos de N, P, K, Ca y Mg de la hoja de amaranto. Estos resultados están en conformidad con los hallazgos de Odedina *et al.* (2011) que también observaron un aumento significativo en el contenido de N en tallo y hoja de yuca (*Manihot esculenta*), aunque a menor dosis de abono (10 Mg ha<sup>-1</sup>).

A pesar de los resultados observados, cabe destacar que la fórmula utilizada para medir el MST de los arbustos, sólo considera las mediciones de altura de la planta y diámetro en dos dimensiones (N-S y E-O). Conforme a esto, es posible que la enmienda al generar mayor disponibilidad de macro y micronutrientes y aumentar la retención de agua del suelo, genere un crecimiento más vigoroso de la planta y potencie el rendimiento de la misma, lo cual no se vería reflejado en la altura y MST medidos. Esta relación fue observada por Uwah y Eyo (2014), quienes señalan además que debido a que los nutrientes son liberados más lentamente, las plantas de maíz dulce (*Zea mays* L.) evaluadas obtuvieron un mayor índice de área foliar (IAF), potenciando la producción de materia seca y acelerando el período de floración y maduración.

En la Figura 6 permite observar la variabilidad de los datos, a partir de los resultados obtenidos (año y tratamiento) y las variables medidas en el arbusto forrajero *Atriplex nummularia* Lindl. (altura, MST y  $NPK_{tot}$ ).



**Figura 6.** Variabilidad de las propiedades evaluadas en *Atriplex nummularia* Lindl. para 4 tratamientos y 2 fechas de medición.

Las componentes principales del gráfico (CP 1 y CP 2) explican casi el 67% de la variabilidad total de la muestra (38,7% y 28,4% respectivamente). En términos generales se observa una correlación positiva entre las variables altura y MST (vectores), mientras que los macronutrientes medidos en la hoja de la planta no se correlacionaron entre sí ( $NPK_{tot}$ ). En el caso del tiempo de medición, se distingue mayor homogeneidad en el comportamiento de los datos del año 2015 (símbolos rojos) que se sitúan cercanos a las variables relacionadas al crecimiento de la planta (altura y MST), lo cual es esperable ya que todas las especies aumentaron su crecimiento (Cuadro 6).

En el Apéndice II se incluyen los valores de coeficiente de correlación lineal de Pearson ( $r$ ) entre las variables medidas en la planta (*A. nummularia* Lindl.) para ambas fechas de medición.

## CONCLUSIONES

Para todas las propiedades evaluadas (suelo y planta) se observa independencia entre los factores (tiempo y tratamiento), excepto para el pH en suelo.

Los valores de pH obtenidos en general no mostraron una tendencia clara, pero si se observó que la aplicación de estiércol de caprino generó la alcalinización del suelo. En relación a la conductividad eléctrica, la acumulación de sales en la hoja de la planta y su posterior caída, habría generado la salinización del suelo en los tratamientos con especies vegetales, donde las plantas más pequeñas ubicadas bajo la línea de piedra, presentaron menor salinización que las ubicadas sobre ésta.

El uso del estiércol de caprino, a pesar de haber incrementado el contenido de materia orgánica en el suelo, tendió a disminuir en el tiempo. Esta condición también se observó en los demás tratamientos y se asoció al bajo contenido de arcilla del suelo. En el caso de los macronutrientes totales (N, P, K), se observó una estrecha relación con el contenido de materia orgánica, donde la aplicación de la enmienda resultó en el incremento significativo de los elementos evaluados.

Para las variables alométricas, las plantas de menor altura y masa seca total se localizan bajo la línea de piedra (T3), posiblemente por la menor cantidad de agua disponible. Las plantas posicionadas sobre la línea de piedra (T1 y T2) no presentaron diferencias significativas entre ellas, aunque se advierte que la aplicación de estiércol de caprino (T2) generó plantas más vigorosas.

Los macronutrientes (N, P, K) medidos en hoja y tallo de *Atriplex nummularia* no presentaron diferencias para los factores (tiempo y tratamiento), por lo que no habría un efecto de la línea de piedra o el estiércol de caprino en la planta, en el período evaluado (2014-2015).

Se estima que el mayor crecimiento vegetal observado sobre las líneas de piedra, contribuiría directamente a la protección del suelo contra los procesos de erosión dominantes. Además, para que la incorporación del estiércol de caprino genere un mejoramiento duradero en las propiedades químicas de suelo evaluadas, es necesario considerar un plan de aplicaciones periódicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Zanat M.B.; G.B. Ruyle and N.F. Abdel-Hamid. 2004. Increasing Range Production from Fodder Shrubs in Low Rainfall Areas. *Journal of Arid Environments*, 59: 205-216.
- Aganga, A.A.; J.K. Mthetho and S. Tshwenyane. 2003. *Atriplex nummularia* (Old Man Saltbush): A Potential Forage Crop for Arid Regions of Botswana. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2(2): 72-75.
- Akanni, D.I. and S.O. Ojeniyi. 2008. Residual Effect of Goat and Poultry Manures on Soil Properties Nutrient Content and Yield of Amaranthus in Southwest Nigeria. *Research Journal of Agronomy*, 2(2): 44-47.
- Akhtar, S.; S. Shakeel; A. Mehmood; A. Hamid and S. Saif. 2013. Comparative analysis of animal manure for soil conditioning. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(12): 3360-3365.
- Al-Seekh, S. and A. Mohammad. 2008. The Effect of Water Harvesting Techniques on Runoff, Sedimentation, and Soil Properties. *Environmental Management*, 44: 37-45.
- Ali A. and A. Yazar. 2007. Effect of Micro-catchment Water Harvesting on Soil-water Storage and Shrub Establishment in the Arid Environment. *International Journal of Agriculture & Biology*, 9(2): 302-306.
- Ano, A.O. and C.I. Ubochi. 2007. Neutralization of soil acidity by animal manures: mechanism of reaction. *African Journal of Biotechnology*, 6(4): 364-368.
- Azeez. L.O. and W. Van Averbek. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bioresource Technology*, 101: 5645-5651.
- Azeez J.O.; W. Van Averbek and A.O.M. Okorogbona. 2010. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. *Bioresource Technology*, 101: 2499-2505.
- Blanco, H. and R. Lal. 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Dordrecht, Netherlands: Springer Science+Business Media. 617 p.
- Carrasco, C. 2017. Evaluación de las propiedades físicas e hidráulicas de suelo en líneas de piedras con aplicación de estiércol de caprino. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 30 h.
- Casanova, M.; C. Leiva; O. Seguel; O. Salazar y W. Luzio. 2006. Degradación de suelos y desertificación. (cap. 10, pp. 353-383). En: Luzio, W. y M. Casanova (Eds.). Avances en

- el Conocimiento de los Suelos de Chile. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 393 p.
- Casanova, M.; O. Seguel y W. Luzio. 2010. Suelos de la Zona Árida y Semiárida. (cap. 3, pp. 81-123). En: Luzio, W (Ed.). Suelos de Chile. Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 364 p.
- Casanova, M.; O. Seguel; O. Salazar e I. Homer. 2011. Informe: Convenio de ejecución entre la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile y el Servicio Agrícola y Ganadero, para el establecimiento de una unidad demostrativa de prácticas asociadas al “Sistema de incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de suelos Agropecuarios”. Santiago, Chile: Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 27 p.
- Casanova, M.; O. Salazar; O. Seguel and W. Luzio. 2013. The Soils of Chile. Santiago, Chile: Department of Soil and Engineering, University of Chile; Dordrecht, Netherlands: Springer Science+Business Media. 183 p.
- Castañuela, Y. 2013. Estimación de la biomasa aérea y captura de carbono en *Yucca filifera* (Chaubad) y *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. usando ecuaciones alométricas en Mazapil, Zacatecas. Tesis Ingeniero Forestal. Saltillo, Coahuila, México: Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 29 h.
- Castillo, G. 2003. “La vuelta de los años”: Reseñas y perspectivas sobre las comunidades, el pastoreo y la trashumancia en la región semiárida de Chile. (pp. 65-119). En: Livenais, P y X. Aranda (Eds.). Dinámicas de los sistemas agrarios en Chile árido: La Región de Coquimbo. Santiago, Chile: Universidad de Chile; Institut de Recherche pour le Développement; Universidad de La Serena. LOM Ediciones. 502 p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile: Santiago, Chile. 290 p.
- CNR (Comisión Nacional de Riego). 1993. Estudio de Suelos del Valle del Río Choapa y sus Tributarios (sector Illapel - terrazas litorales). Santiago, Chile. 209 p.
- Critchley, W. and K. Siegert. 1991. Water Harvesting: a manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. Roma, Italia: FAO. 154 p.
- Denison, J.A. and L. Wotshela. 2009. An overview of indigenous, indigenised and contemporary water harvesting and conservation practices in South Africa. *Irrigation and Drainage*, 61(Suppl. 2): 7-23.
- Doetterl, S.; A. Stevens; J. Six; R. Merckx; K. Van Oost; M. Casanova *et al.* 2015. Soil carbon storage controlled by interactions between geochemistry and climate. *Nature Geoscience*, 8(10): 780-783.

- Doetterl, S.; A.A. Berhe; E. Nadeuc; Z. Wang; M. Sommer and P. Fiener. 2016. Erosion, deposition and soil carbon: A review of process-level controls, experimental tools and models to address C cycling in dynamic landscapes. *Earth-Science Reviews*, 154: 102-122.
- Gebremichael, D.; J. Nyssen; J. Poesen; J. Deckers; G. Govers; J. Moeyersons *et al.* 2005. Effectiveness of Stone bunds in controlling soil erosion on cropland in the Tigray highlands, Northern Ethiopia. *Soil Use and Management*, 21(3): 287-297.
- Iglesias, R. y E. Taha. 2010. Monografías de especies anuales, arbustivas y acuícolas con potencial energético en Chile. Publicación de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Ministerio de Agricultura. 42 p.
- INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 2008. Programa Agropecuario para el Desarrollo Integral de los pequeños productores campesinos del secano de la Región de Coquimbo (PADIS). La Serena, Chile. 212 p.
- Irshad, M.; A.E. Eneji; Z. Hussain and M. Ashraf. 2013. Chemical characterization of fresh and composted livestock manures. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(1): 115-121.
- Jáuregui, D.; M. Castro; T. Ruiz-Zapata y M. Lapp. 2014. Anatomía de los órganos vegetativos de dos especies de *Atriplex* (Chenopodiaceae) de Venezuela. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 62(4): 1625-1636.
- Kihanda, F.M. and G.P. Warren. 2012. Management of Soil Fertility in a Long-Term Field Trial of Semi-arid Kenya. (chap. 5, pp. 85-103) In: Bationo, A.; B. Waswa; J. Kihara; I. Adolwa; B. Vanlauwe and K. Saidou (Eds.). *Lessons learned from Long-term Soil Fertility Management Experiments in Africa*. Dordrecht, Netherlands: Springer. 204 p.
- Lailhacar, S y C. Torres. 2001. Influencia de los arbustos del género *Atriplex* L. con y sin corte de rebaje, en el comportamiento del estrato herbáceo del secano árido. I. Efecto del arbusto promedio de género sobre las características cuantitativas del Estrato Herbáceo total. *Avances en Producción Animal*, 26(1 y 2): 79-96.
- Maerere A.P.; G.G. Kimbi and D.L.M. Nonga. 2001. Comparative effectiveness of animal manures on soil chemical properties, yield and root growth of amaranthus (*Amaranthus cruentus* L.). *African Journal of Science and Technology*, 1(4): 14-21.
- MAFRD (Manitoba Agriculture, Food and Rural Development). 2013. Effects of manure and fertilizer on soil fertility and soil Quality. Manitoba, Canada: MAFRD. 68 p.
- MAFRD (Manitoba Agriculture, Food and Rural Development). 2015. Properties of Manure. Manitoba, Canada: MAFRD. 37 p.

- Martínez, E.; J.P. Fuentes y E. Acevedo. 2008. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal, 8(1): 68-96.
- Medina, A. 2006. Alternativas de desarrollo rural sustentable para una comunidad agrícola tradicional en proceso de desertificación: El Divisadero, Comuna de Punitaqui, IV Región de Coquimbo. Memoria Geógrafo. Santiago, Chile: Facultad de Arquitectura y Urbanismo; Universidad de Chile. 168 h.
- Meneses, R. y N. Squella. 1996. Los arbustos forrajeros. pp. 150-170. En: Ruiz, I. (Ed.). Praderas para Chile. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 734 p.
- Meza, R. 1997. Ecuaciones para estimar la fitomasa de *Atriplex canescens*. Revista Ciencia Forestal en México, 22(81): 27-40.
- Moral, R.; J. Moreno-Caselles; M. Pérez-Murcia; A. Pérez-Espinosa; B. Rufete and C. Paredes. 2005. Characterization of the organic matter pool in manures. Bioresource Technology, 96: 153-158.
- Morales, C. y S. Parada, 2005. Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 267 p.
- Mucheru-Muna, M.W.; F. Ngetich; D.N. Mugendi; J.N. Mugwe; B. Vanlauwe; J. Diels *et al.* 2013. Soil chemical properties as influenced by organic inputs and mineral fertilizer in Mbeere District, Kenya. (pp. 328 - 340) In: Joint Proceedings of the 27<sup>th</sup> Soil Science Society of East Africa and the 6<sup>th</sup> African Soil Science Society Conference. (27<sup>a</sup>, 20 - 25 October, 2013, Nakuru, Kenya). Transforming rural livelihoods in Africa: How can land and water management contribute to enhanced food security and address climate change adaptation and mitigation? Esilaba A.; C. Githunguri; S. Kimani; P. Njeru; J. Lekasi; F. Maina *et al.* Nairobi, Kenya. 1127 p.
- Mulas, M. and G. Mulas. 2004. The strategic use of *Atriplex* and *Opuntia* to combat desertification. Sassari, Italy: University of Sassari; Desertification Research Group. 101 p.
- Mupangwa, W.; D. Love and S. Twomlow. 2006. Soil–water conservation and rainwater harvesting strategies in the semi-arid Mzingwane Catchment, Limpopo Basin, Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth, 31: 893-900.
- Nagano, T.; H. Horino and T. Kume. 2011. Re-evaluating Indigenous Technologies for Sustainable Soil and Water Management in the Sahel: A Case Study from Niger. (pp. 351-362). In: Kapur, S.; H. Eswaran and W. Blum (Eds.). Sustainable Land Management. New York, USA: Springer. 415 p.

- Navarro, A. 2014. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en un sistema de cosecha de agua con *Acacia saligna* en laderas degradadas de la Región de Coquimbo. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 31 h.
- Nweke, I.A.; S.I. Ijeraru and D.N. Igili. 2013. Effect of Different Sources of Animal Manure on the Growth and Yield of Okra (*Abelmoschus Esculentus* L. Moench) in Ustoxic Dystropept at Enugu South Eastern, Nigeria. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2(3): 135-137.
- Odedina, J.; S. Odedina and S. Ojeniyi. 2011. Effect of Types of Manure on Growth and Yield of Cassava (*Manihot esculenta*, Crantz). *Researcher*, 3(5): 1-8.
- Oweis, T. and A. Hachum. 2009. Water Harvesting for Improved Rainfed Agriculture in the Dry Environments. (pp.164-181). In: Wani, S.P.; J, Rockström and T. Oweis (Eds.). Rainfed agriculture: unlocking the potential. Andhra Pradesh, India. 328 p.
- Oweis, T.; D. Prinz and A. Hachum. 2012. Water Harvesting for Agriculture in the Dry Areas. Taylor & Francis Group, London, UK. 262 p.
- Ramírez, I. 2003. Evolución y perspectivas de la producción caprina en la Cuarta Región de Coquimbo. (pp. 179-188). En: Livenais, P y X. Aranda (Eds.). Dinámicas de los sistemas agrarios en Chile árido: La Región de Coquimbo. Santiago, Chile: Universidad de Chile; Institut de Recherche pour le Développement; Universidad de La Serena. LOM Ediciones. 502 p.
- Reij, C.; P. Mulder and L. Begemann. 1988. Water Harvesting for Plant Production. World Bank Technical Paper (91). Washington: USA. 123 p.
- Richardson A.E. and R.J. Simpson 2011. Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant Physiology*, 156(3): 989-996.
- Rodrigues de Souza, E.; M. Galvao dos Santos; K. Vieira da Cunha; C. Araújo do Nascimento; H.A. Ruiz and C. Teixeira. 2012. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. *Environmental and Experimental Botany*, 82: 20-27.
- Sadzawka, A.; M.A. Carrasco; R. Grez; M. Mora; H. Flores y A. Neaman. 2006. Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago, Chile: INIA. 150 p.
- Sadzawka, A.; M.A. Carrasco; R. Demanet; H. Flores; R. Grez; M. Mora *et al.* 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago, Chile: INIA. 140 p.

- Salazar, O. and M. Casanova. 2010. Runoff Water Harvesting as a Strategy for Increasing Agricultural Production on Hillslope Areas in Arid and Semiarid Zones. (pp. 1-39). In: Water Recycling and Water Management. Carrey, D.M. (Ed.). Nova Publishers. 280 p.
- Sandoval, M.; J. Dörner; O. Seguel; J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de Análisis Físicos de Suelos. Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Universidad de Concepción. Publicación N° 5. Chillán, Chile. 80 p.
- Saoub H.M.; R. Al Tabini; K. Al Khalidi and J.Y. Ayad. 2011. Effect of Three Water Harvesting Techniques on Forage Shrub and Natural Vegetation in the Badia of Jordan. *International Journal of Botany*, 7(3): 230-236.
- Sayed-Hussin, S. 2007. Mechanisms of salt tolerance in the halophytes *Atriplex nummularia* Lindl. and *Atriplex leucoclada* Boiss. PhD thesis in natural resources. Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Niedersachsen, Germany. 167 h.
- SAG (Servicio Agrícola y Ganadero). 2013. Agricultura orgánica nacional: Bases técnicas y situación actual. Santiago, Chile: Ministerio de Agricultura. 156 p.
- Silva Y.; Y. Silva; M. Freire; E. Lopes and M. Santos. 2016. *Atriplex nummularia* Lindl. as alternative for improving salt-affected soils conditions in semiarid environments: a field experiment. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(3): 343-348.
- Stevenson F.J. and M.A Cole. 1999. Phosphorous (pp. 279-329). In: Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorous, Sulfur, Micronutrients. John Wiley & Sons, Inc: New York, USA. 427 p.
- Subehia S.K.; S. Sepehya; S.S. Rana; S.G. Negi and S.K. Sharma. 2013. Long-term effect of organic and inorganic fertilizers on rice (*Oryza sativa* L.) - wheat (*Triticum aestivum* L.) yield, and chemical properties of an acidic soil in the western Himalayas. *Experimental Agriculture*, 49(3): 382-394.
- Tenzer, R.; P. Sirguy; M. Rattenbury and J. Nicolson. 2011. A digital rock density map of New Zealand. *Computers & Geosciences*, 37(8): 1181-1191.
- Tubeileh, A.; A. Bruggeman and F. Turkelboom. (2009). Effect of water harvesting on growth of young olive trees in degraded Syrian dryland. *Environment, Development and Sustainability*, 11(5): 1073-1090.
- Uribe, J.M., R. Cabrera, A. De la Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas Bioclimático de Chile. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Ministerio de Bienes Nacionales. 232 p.
- Usman, M. 2015. Cow Dung, Goat and Poultry Manure and Their Effects on the Average Yields and Growth Parameters of Tomato Crop. *Journal of Biology, Agriculture and*

*Healthcare*, 3(5): 7-11.

- Uwah, D.F. and V.E. Eyo. 2014. Effects of Number and Rate of Goat Manure Application on Soil Properties, Growth and Yield of Sweet Maize (*Zea mays* L. *saccharata* Strut). *Sustainable Agriculture Research*, 3(4): 75-83.
- Uwah, D.F.; U.L. Undie and N.M. John. 2014. Comparative evaluation of animal manures on soil properties, growth and yield of sweet maize (*Zea mays* L. *saccharata* Strut.). *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 3(2): 315-331.
- Vancampenhout, K; J. Nyssen; D. Gebremichael; J. Deckers; J. Poesen; M. Haile and J. Moeyersons. 2006. Stone bunds for soil conservation in the northern Ethiopian highlands: Impacts on soil fertility and crop yield. *Soil & Tillage Research*, 90: 1-15.
- Vargas, E. 2017. Contenido de agua y erosión de suelo en una ladera degradada de la Región de Coquimbo sujeta a prácticas de conservación. Tesis de Magíster en Manejo de Suelos y Aguas. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 105 h.
- Warrick, A. (Ed.). 2002. *Soil Physics Companion*. CRC Press. Boca Raton. USA. 109 p.
- Watts, D.B. and H.A. Tobert. 2014. Nitrogen Mineralization in Soils Amended with Manure as Affected by Environmental Conditions. (chap. 5, pp. 83-98). In: He, Z. and H. Zhang (Eds.). *Applied Manure and Nutrient Chemistry for Sustainable Agriculture and Environment*. Dordrecht, Netherlands: Springer Science+Business Media. 379 p.
- Zougmoré, R.; A. Jalloh and A. Tioro. 2014. Climate-smart soil water and nutrient management options in semiarid West Africa: a review of evidence and analysis of stone bunds and zaï techniques. *Agriculture & Food Security*, 3(16): 1-8.

## APÉNDICE I

## Valores de coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) para propiedades químicas del suelo.

	pH	CE <sub>e</sub>	MO	N <sub>tot</sub>	P <sub>tot</sub>	K <sub>tot</sub>
<b>Año 2014</b>						
pH	1,00					
CE <sub>e</sub>	-0,70 *	1,00				
MO	-0,07	0,31	1,00			
N <sub>tot</sub>	0,05	0,21	0,88 *	1,00		
P <sub>tot</sub>	-0,37	0,14	0,28	0,24	1,00	
K <sub>tot</sub>	-0,36	0,01	-0,05	-0,28	0,69 *	1,00
<b>Año 2015</b>						
pH	1,00					
CE <sub>e</sub>	-0,08	1,00				
MO	0,61 *	-0,00	1,00			
N <sub>tot</sub>	0,52	0,26	0,32	1,00		
P <sub>tot</sub>	0,56	0,22	0,03	0,69 *	1,00	
K <sub>tot</sub>	0,62 *	0,28	0,09	0,45	0,78 *	1,00

\*: valor significativo (p&lt;0,05).

## APÉNDICE II

**Valores de coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) para variables alométricas de *Atriplex nummularia* Lindl. y macronutrientes totales.**

	Altura	MST	N <sub>tot</sub>	P <sub>tot</sub>	K <sub>tot</sub>
<b>Año 2014</b>					
Altura	1,00				
MST	0,77 *	1,00			
N <sub>tot</sub>	0,46	0,75 *	1,00		
P <sub>tot</sub>	0,11	0,16	0,33	1,00	
K <sub>tot</sub>	-0,38	-0,40	-0,24	0,26	1,00
<b>Año 2015</b>					
Altura	1,00				
MST	0,72 *	1,00			
N <sub>tot</sub>	-0,56	0,01	1,00		
P <sub>tot</sub>	0,18	0,11	-0,07	1,00	
K <sub>tot</sub>	0,26	0,25	-0,31	0,18	1,00

\*: valor significativo (p<0,05).